

## TRATAMENTOS PRÉ-GERMINATIVOS, VOLUME DE TUBETES E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NA PROPAGAÇÃO DE SABONETEIRA<sup>1</sup>

Gleiciane Santos Souza  
Bruno Oliveira Lafetá<sup>2</sup>  
Luilla Lemes Alves  
Acálima Godinho de Oliveira  
Natália Risso Fonseca  
Rafael Carlos dos Santos

### RESUMO

Pesquisas que relacionam a propagação de plantas e o uso de inteligência artificial permitem melhor planejamento de técnicas silviculturais e aspectos logísticos em viveiros florestais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes volumes de tubetes e de pré-tratamentos na germinação e crescimento de *Sapindus saponaria*, além da possibilidade de aplicação de redes neurais artificiais (RNA) na estimativa da biomassa de mudas. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial  $3 \times 2$ , sendo estudado três volumes de tubetes e dois tratamentos pré-germinativos. Realizaram-se análise de variância, teste Tukey e modelagem por RNA. Os tubetes de  $53 \text{ cm}^3$  foram os mais operacionalmente apropriados para a produção de mudas até os 250 dias de idade. A escarificação mecânica favoreceu a velocidade de germinação ( $\text{IVG} = 1,47$ ), embora tenha apresentado estatisticamente o mesmo percentual de sementes germinadas da testemunha na contagem final. A rede de múltiplas camadas (MLP) forneceu as estimativas mais precisas da massa seca de parte aérea, com perda de qualidade preditiva para o componente radicular. Concluiu-se que a escarificação de sementes com esmeril elétrico e tubetes de  $53 \text{ cm}^3$  podem ser recomendados para maximizar a homogeneidade, velocidade da germinação e produção de mudas da espécie. A arquitetura MLP de RNA pode ser recomendada para estimar de forma simultânea as massas secas de parte aérea e do sistema radicular de mudas de *S. saponaria*.

**Palavras-chave:** Germinação. Inteligência artificial. Mudas. Sementes.

## PRE-GERMINATIVE TREATMENTS, TUBES VOLUME AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN SOAP PROPAGATION

### ABSTRACT

Researches relating plant propagation and use of artificial intelligence allow for better planning of silvicultural techniques and logistical aspects in forest nurseries. This work aimed

<sup>1</sup> **Como citar este artigo:** SOUZA, G. S.; et al. Tratamentos pré-germinativos, volume de tubetes e redes neurais artificiais na propagação de saboneteira. **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 2, e01086, jul./dez. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n2.e1086.

<sup>2</sup> **Autor para correspondência:** Bruno Oliveira Lafetá, e-mail: bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

to evaluate the effect of different tubes volumes and pre-treatments on the germination and growth of *Sapindus saponaria*, in addition to the possibility of applying artificial neural networks (ANN) to estimate seedlings biomass. Completely randomized design in a  $3 \times 2$  factorial scheme was adopted, being studied three tubes volumes and two pre-germinative treatments. Analysis of variance, Tukey test and RNA modeling were performed. The 53 cm<sup>3</sup> tubes were the most operationally appropriate for the production of seedlings up to 250 days of age. Mechanical scarification favored germination speed (IVG = 1.47), although it presented statistically the same percentage of germinated seeds as the control in the final count. Multilayer network (MLP) provided the most accurate estimates of shoot dry mass, with loss of predictive quality of the root component. It is concluded that seed scarification with electric grinding and 53 cm<sup>3</sup> tubes can be recommended to maximize the homogeneity, germination speed and seedling production of the species. RNA MLP architecture can be recommended to simultaneously estimate the dry masses of aerial part and root system of *S. saponaria* seedlings.

**Keywords:** Germination. Artificial intelligences. Seedlings. Seeds.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de reposição florestal tem estimulado a coleta de sementes e produção de mudas de espécies nativas. Parte dessa necessidade é proveniente de intervenções ambientais que exercem forte pressão sobre o ambiente e de eventuais problemas ecológicos causados pela extração de bens não renováveis.

*Sapindus saponaria* L., conhecida popularmente por saboneteira ou saboeiro, pertence à família Sapindaceae e ocorre em florestas pluviais e semi-decíduais nas regiões tropicais da América (MARTINS; ZUCARELI; COIMBRA, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012). É uma espécie utilizada em programas de recuperação de áreas degradadas e paisagismo, suas sementes são empregadas no artesanato e a madeira para a confecção de brinquedos e construção civil (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Apesar dos potenciais usos, pesquisas que relacionam sua propagação seminal com a modelagem biométrica via inteligência artificial são praticamente inexistentes ou incipientes.

As sementes de *S. saponaria* apresentam dormência tegumentar, dificultando com frequência a germinação e produção de mudas em viveiros florestais (OLIVEIRA *et al.*, 2012). O tegumento impermeável oferece uma resistência física ao crescimento do embrião, restringindo a entrada de oxigênio e água na semente, essenciais para o início do processo germinativo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2007). Métodos práticos e eficazes para a superação da dormência aumentam a germinação e favorecem o estabelecimento e produção de mudas em amplas escalas comerciais, um exemplo é a escarificação física do tegumento (LAFETÁ *et al.*, 2019).

Diversos aspectos técnicos devem ser analisados para a otimização da produção de mudas, contudo, após muitas vezes, negligenciados em virtude da falta de planejamento e/ou conhecimento silvicultural. A escolha do tamanho apropriado de tubetes é fundamental para a otimização da produção de mudas em viveiros florestais. Recipientes menores podem causar maiores deformações radiculares à medida que as mudas envelhecem, pois comportam pequenos volumes de substrato. Enquanto isso, maiores recipientes tendem favorecer o desenvolvimento e distribuição espacial das raízes.

O desenvolvimento de metodologias para a estimativa de biomassa de mudas é uma necessidade constante para a melhoria contínua da produtividade em viveiros florestais. Na busca por novas opções para estimação eficiente e segura de atributos biométricos se destaca a inteligência artificial. As Redes Neurais Artificiais (RNA) representam uma abordagem alternativa para o desenvolvimento de modelos preditivos, capazes de aprender tendências de dados e padrões complexos (HAYKIN, 2001; SCRINZI MARZULLO; GALVAGNI, 2007). Frequentemente tem exibido desempenho superior a análises estatísticas clássicas, como a regressão. Isto se deve às suas próprias características de tolerância a falhas ou ruídos, analogia neurobiológica, habilidade de aprendizagem, memória distribuída e associativa, capacidade de autoadaptação e generalização (BRADSHAW *et al.*, 2002; MONJEZI; BAHRAMI; VARJANI, 2010; PANDORFI *et al.*, 2011). As arquiteturas de rede mais comuns são as de múltiplas camadas (Multilayer Perceptron – MLP) e de base radial (Radial Basis Function – RBF).

Mediante ao exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes volumes de tubetes e de pré-tratamentos na germinação e crescimento de *S. saponaria*, além da possibilidade de aplicação de RNA na estimativa da biomassa de mudas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização experimental

A coleta de frutos foi realizada em árvores de *S. saponaria* situadas no município de São João Evangelista/MG, sob as coordenadas de 18°32'4,99" de latitude Sul e 42°45'17,64" de longitude Oeste (Datum Sirgas 2000), em área de fragmento florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. O tipo climático da região é o Cwa pela classificação do sistema internacional de Köppen (KÖPPEN, 1936), com médias anuais de temperatura e precipitação de 20,2° C e 1.377 mm, respectivamente (INMET, 2020).

As árvores inventariadas no fragmento florestal apresentavam altura total de 5 a 7 m, diâmetro a 1,30 m do solo superior a 20 cm e nenhum sinal aparente de danos ocasionados pelo ataque de insetos ou doenças. Os frutos foram coletados em agosto de 2014 diretamente nas copas com auxílio de podão aéreo. No momento de coleta, os frutos se encontravam com coloração marrom. Posteriormente, foram acondicionados em sacos de papel Kraft e imediatamente submetidos à triagem manual, isolando-se as sementes dos frutos e eliminando o material que possuía alguma atrofia ou injúria a fim de se obter uma melhor qualidade e pureza física dos lotes. O teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 h, com quatro repetições de 25 unidades.

As sementes, após a triagem, foram desinfestadas com hipoclorito de sódio (NaClO), com 2,0 % de cloro ativo, a 5,0 % (v/v) durante três minutos, depois lavadas com água destilada e colocadas para secar durante dez minutos sobre papel toalha. Optou-se pelo NaClO por se tratar de um composto químico contra proliferação bacteriana (LAFETÁ *et al.*, 2019).

O experimento foi instalado em casa de sombra com tela de monofilamento malha para 50 % de sombreamento. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial  $3 \times 2$  com quatro repetições, sendo estudado os efeitos de três volumes de tubetes redondos, rígidos e de polipropileno com fundo aberto (T1 – 53 cm<sup>3</sup>; T2 – 180 cm<sup>3</sup> e T3 – 280 cm<sup>3</sup>) e de dois tratamentos pré-germinativos (A1 – Testemunha: sementes com tegumento intacto e A2 – Escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico: as sementes foram pressionadas manualmente em esmeril com rotação contínua de 2800 Rpm, na região oposta ao eixo-embrionário até o desgaste do tegumento, evitando, contudo danificar o embrião). A escolha do pré-tratamento A2 na experimentação decorreu do seu estímulo à germinação conhecido para a *S. saponaria* (LAFETÁ *et al.*, 2019). As características dos tubetes estão apresentadas na Tabela 1. A unidade experimental foi constituída por 25 sementes.

Tabela 1 - Características dos tubetes utilizados no experimento para análise da germinação e crescimento de *S. saponaria*

Características	T1 (53cm <sup>3</sup> )	T2 (180cm <sup>3</sup> )	T3 (280cm <sup>3</sup> )
Peso (g)	9	20	40
Diâmetro interno (mm)	28	52	52
Diâmetro externo (mm)	34	63	64,5
Furo (mm)	12	10	14
Altura (cm)	125	131	190
Capacidade (cm <sup>3</sup> )	53	180	280
Número de estrias	6	8	8

Fonte: Autores (2021).

A propagação deu-se no sistema de canteiro suspenso e a semeadura foi realizada sobre a superfície do substrato comercial Mecplant<sup>®</sup>- Classe A, enriquecido com formulado de liberação controlada Osmocote<sup>®</sup> NPK 15-9-12 (2 g kg<sup>-1</sup>). Esse substrato possui em sua composição casca de pinus com capacidade de retenção de água de 60,0 % (p/p). O material experimental foi submetido à irrigação três vezes ao dia durante 20 min (vazão do bico aspersor de 47 L h<sup>-1</sup>).

As avaliações foram realizadas diariamente até a estabilização de todos os atributos estudados (trigésimo nono dia – contagem final), registrando os percentuais de sementes germinadas (G, protrusão de radícula superior a 1,0 cm) e de emissão da parte aérea (EPA, protrusão de primórdios foliares). Calculou-se o índice de velocidade da germinação (IVG) conforme a metodologia proposta por Maguire (1962).

Aos 250 dias após instalação experimental, período definido empiricamente de acordo com a distribuição logística operacional do viveiro, foram mensurados a altura (H, cm) e o diâmetro do colo (DC, mm) com auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital de precisão 1/10 mm, respectivamente. Assumiu-se como altura a distância linear da base do colo até o ápice vegetal. As massas secas da parte aérea (MSPA, g) e do sistema radicular (MSR, g) das mudas foram obtidas após lavagem e secagem a 65°C em estufa de circulação forçada de ar até peso constante; a pesagem foi realizada com balança digital de 0,0001 g de precisão.

Os dados foram submetidos às análises de normalidade de resíduos segundo Lilliefors, homogeneidade por Cochran e os testes F e de Tukey.

## 2.2 Modelagem via redes neurais artificiais

A fim de se obter uma rede neural generalista para a estimativa simultânea das massas secas de parte aérea e de raiz, realizou-se o agrupamento das massas secas em uma única variável categórica denominada VCP. Para as estimativas das massas secas, estabeleceu-se a relação funcional utilizando-se variáveis preditoras numéricas (H e DC) e categóricas (Tubetes: T1 – 1; T2 – 2 e T3 – 3; Pré-tratamentos: A1 – 1 e A2 – 2; VCP: MSPA – 1 e MSR – 2).

Foram utilizadas redes anteroalimentadas (*feedforward*), treinadas por meio do algoritmo da retropropagação do erro (*backpropagation*), ou seja, durante o treinamento da rede foram realizados cálculos a partir da camada de entrada da rede para a de saída e o erro propagado para camadas anteriores. Em todos os pré-processamentos, foram realizadas a normalização (padronização das variáveis para a mesma ordem de grandeza) e equalização

dos dados. Tal equalização consistiu no ajuste da distribuição dos dados dentro do intervalo de variação normalizado, sem quaisquer modificações na forma da distribuição e informações implícitas nas variáveis, descrita em detalhes por Haykin (2001). Os dados foram divididos em grupos de treinamento (80,0 % das amostras), teste (10,0 % das amostras) e validação (10,0 % das amostras) utilizando o método randômico de amostragem.

Treinaram-se 1.000 RNA, sendo 500 Multilayer Perceptron (MLP) e 500 Radial Basis Function (RBF). Dessas RNA foram selecionadas duas de cada tipo com base nos desvios dos valores estimados e observados. Para se evitar problemas de *overfitting*, o treinamento das redes foi interrompido logo no momento de aumento de desvios, conforme Bradshaw *et al.* (2002) e Maeda *et al.* (2009).

O número ótimo de camadas intermediárias e de neurônios por camada, geralmente, não é conhecido a priori. Uma vez definidos a arquitetura e os parâmetros de aprendizado, a rede neural artificial é treinada de forma iterativa. Portanto, a definição da arquitetura das redes foi otimizada pela ferramenta *Intelligent Problem Solver* (IPS) do *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

Os pontos que extrapolaram a tendência geral de cada tratamento não foram eliminados, a fim de verificar a capacidade das redes neurais artificiais em lidar com *outliers* ou ruídos. A avaliação da acurácia das estimativas de massas secas contemplou as estatísticas de erro relativo, Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM), tendenciosidade em módulo (|Bias|), teste *t* pareado e análise gráfica de resíduos percentuais.

Todas as análises estatísticas foram realizadas ao nível de significância de 5 % de probabilidade. Estas foram efetuadas com auxílio do *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Germinação e aspectos biométricos

A umidade de sementes pode variar em função de diferentes locais de coleta e os dados obtidos podem auxiliar na diferenciação de procedências de *S. saponaria* (MARTINS; ZUCARELI; COIMBRA, 2011). O teor de água das sementes foi de 12,7 % e está dentro do intervalo de 5 a 20 % de água, que é comum para a maioria das sementes ortodoxas (LIMA *et al.*, 2006). A germinação e a emissão da parte aérea se iniciaram aos 13 e 18 dias após a instalação experimental.

Todos os atributos avaliados apresentaram uma distribuição normal e variâncias homogêneas. O efeito estatístico pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) foi observado em nível de interação (volume de tubetes  $\times$  tratamentos pré-germinativos) apenas para a germinação (Tabela 2). Verificaram-se diferenças significativas entre os volumes de tubetes para a MSPA e entre tratamentos pré-germinativos para este atributo e emissões IVG. As médias de emissão de parte aérea, diâmetro do colo, altura e massa seca do sistema radicular foram de  $18,6389 \pm 9,9199$  %,  $0,2974 \pm 0,0451$  mm,  $11,4750 \pm 1,8939$  cm e  $0,3085 \pm 0,1963$  g, respectivamente.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância dos atributos avaliados durante a propagação seminal de *S. saponaria*

F.V.	G.L.	----- Q.M. -----						
		G	EPA	IVG	DC	H	MSPA	MSR
T	2	31,0104 <sup>ns</sup>	268,3657 <sup>ns</sup>	0,0038 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>	8,9170 <sup>ns</sup>	0,0544*	0,0667 <sup>ns</sup>
A	1	168,0104 <sup>ns</sup>	26,7407 <sup>ns</sup>	0,1496*	0,0003 <sup>ns</sup>	3,6248 <sup>ns</sup>	0,0808*	0,0053 <sup>ns</sup>
T x A	2	214,1979*	27,1713 <sup>ns</sup>	0,0518 <sup>ns</sup>	0,0016 <sup>ns</sup>	4,4410 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>ns</sup>	0,0248 <sup>ns</sup>
Resíduo	18	46,9572	91,4167	0,0262	0,0022	2,8974	0,0130	0,0388
CV <sub>exp</sub> (%)		8,07	51,30	11,62	15,82	14,83	21,58	63,84

\*. <sup>ns</sup> significativo e não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. T = Volume de tubetes; A = tratamentos pré-germinativos; CV<sub>exp</sub> = coeficiente de variação experimental; G = germinação; EPA = emissão da parte aérea; IVG = índice de velocidade da germinação; DC = diâmetro do coleto; H = altura; MSPA = massa seca de parte aérea e; MSR = massa seca do sistema radicular.

Fonte: Autores (2021).

O desdobramento da interação significativa relacionada à germinação encontra-se na Tabela 3. Durante o período de avaliação de 250 dias, o tubete de 53 cm<sup>3</sup> foi a melhor alternativa para a propagação de *S. saponaria*. Essa decisão baseou-se na premissa de que um tubete menor propicia menores custos com a aquisição e uso de substrato, irrigação e fertilização (SCHORN *et al.*, 2019). Além disso, a produção individual de massa seca de parte aérea das mudas foi maior quando se utilizaram os tubetes de 53 e 180 cm<sup>3</sup>. Tem-se a expectativa de que a propagação seminal da espécie possa ser promovida com o uso de tubetes maiores desde que se intensifique a irrigação, a fim de aumentar a umidade de substrato, especialmente, em períodos de déficit hídrico.

Tabela 3 - Médias dos atributos avaliados durante a propagação seminal de *S. saponaria*

Tratamentos pré-germinativos	Volume de tubetes			IVG	MSPA
	T1 (53 cm <sup>3</sup> )	T2 (180 cm <sup>3</sup> )	T3 (280 cm <sup>3</sup> )		
	----- Germinação (%) -----				--- g ---
A1	90,0 Aa	76,0 Bb	80,9 Aab	1,31 B	0,47 B
A2	83,8 Aa	90,0 Aa	89,0 Aa	1,47 A	0,59 A
MSPA	0,6 a	0,5 ab	0,4 b		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste F e Tukey, respectivamente, a 5,0 % de significância estatística.

Fonte: Autores (2021).

Não se observou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) do percentual de germinação entre os tratamentos pré-germinativos com uso dos tubetes de 53 e 280 cm<sup>3</sup> para os lotes de sementes em estudo. Esse resultado possui grande relevância prática, pois o tratamento testemunha foi o menos oneroso e laborioso, pois não emprega pré-tratamentos como o A2, que utiliza a escarificação mecânica do tegumento com esmeril elétrico. É conveniente salientar a importância de testes preliminares para a análise da qualidade germinativa e eventual definição de pré-tratamento para a propagação seminal em amplas escalas comerciais (LAFETÁ *et al.*, 2019).

Por outro lado, enfatiza-se que a maior homogeneidade, velocidade da germinação e produção em massa seca de parte aérea foram observadas no pré-tratamento A2 (IVG = 1,47; MSPA = 0,59 g). Maior velocidade de germinação relaciona-se positivamente com o vigor das plântulas e redução do tempo de permanência das mudas em viveiros, diminui custos e aumenta a qualidade das atividades operacionais e viabiliza a comercialização (MEDEIROS FILHO; SILVA; SANTOS FILHA, 2005; SCALON *et al.*, 2011; LAFETÁ *et al.*, 2021). Esse pré-tratamento pode ser indicado para viveiros que utilizam de forma eficiente suas tecnologias e espaço de produção. Observou-se maior permeabilidade à água quando friccionou as sementes em esmeril elétrico, provocando alterações estruturais no tegumento, o que incitou a germinação. Considera-se, ainda, que este procedimento possa ser viabilizado para maiores lotes de sementes, devido a sua operacionalidade e rendimento. É importante considerar a necessidade de mais estudos sobre a germinação e produção de mudas *S. saponaria* visando complementar informações sobre sua propagação, que ainda não se encontra descrita na RAS (BRASIL, 2009).

### 3.2 Aplicação de redes neurais artificiais

As redes apresentaram funções de ativação não lineares nas camadas intermediárias e de saída (Tabela 4). O comportamento sigmoideal na camada de saída foi observado somente



na rede MLP1. Salienta-se que tendências não lineares possibilitam às camadas sucessivas a capacidade de solucionar os problemas complexos no espaço de entrada (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2007).

Tabela 4 - Caracterização das Redes Neurais Artificiais (RNA) para a estimação simultânea das massas secas de parte aérea (MSPA, g) e de raiz (MSR, g) das mudas de *S. saponaria* aos 250 dias

RNA	n	Arquitetura	Função de Ativação	
			Intermediária	Saída
MLP1	48	10-4-1	Tangencial	Tangencial
MLP2	48	10-9-1	Exponencial	Identidade
RBF1	48	10-15-1	Gaussiana	Identidade
RBF2	48	10-14-1	Gaussiana	Identidade

MLP = Multilayer perceptron. RBF = Radial Basis Function. n = número de observações.  
Fonte: Autores (2021).

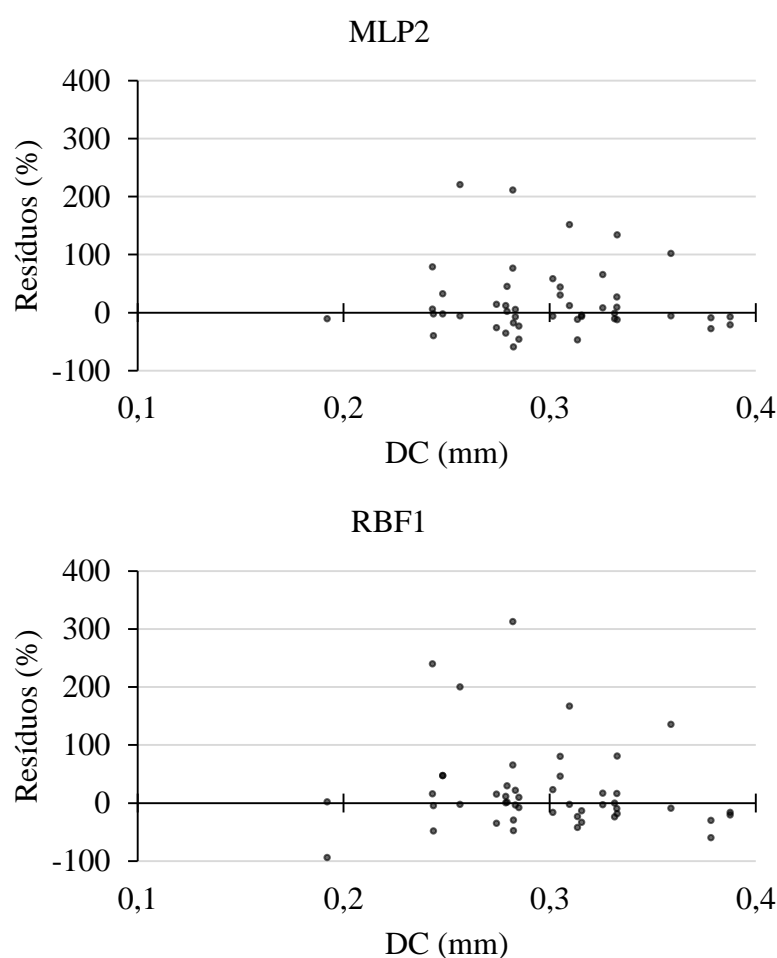
Os valores médios de RQEM das fases de treinamento, teste e validação para as arquiteturas MLP e RBF foram de 35,59 % e 42,18 %, respectivamente (Tabela 5). Em geral, durante o treinamento foram observados baixos valores de Bias. Maior amplitude dos erros relativos foi observada na rede RBF2 durante a fase de treinamento, reduzindo nas demais fases. Os dados observados e estimados foram estatisticamente semelhantes entre si pelo teste *t* em todas as redes construídas ( $p > 0,05$ ), exceto durante o teste da MLP1 ( $p \leq 0,05$ ). Portanto, esta rede não foi selecionada para a análise gráfica subsequente.

Tabela 5 – Precisão das Redes Neurais Artificiais (RNA) para a estimação simultânea do volume (V, cm<sup>3</sup>) e das massas secas de parte aérea (MSPA, g) e de raiz (MSR, g) das mudas de *S. saponaria* aos 250 dias

RNA	Fases	RQEM%	Bias%	Erros relativos (%)			teste <i>t</i> <i>p</i>
				Máximo	Media	Mínimo	
MLP1	Treinamento	21,11	0,84	1628,18	43,20	-45,86	0,76
	Teste	12,24	9,49	-1,33	-11,89	-30,75	0,01
	Validação	65,25	23,46	274,93	52,78	-34,15	0,34
MLP2	Treinamento	32,06	0,07	1598,74	49,78	-59,13	0,99
	Teste	13,94	2,14	31,14	4,08	-11,61	0,69
	Validação	68,92	19,15	221,04	39,28	-46,85	0,47
RBF1	Treinamento	39,10	< 0,01	313,33	27,17	-93,62	1,00
	Teste	30,21	7,10	104,33	10,23	-36,18	0,54
	Validação	55,35	20,43	200,46	46,99	-41,92	0,33
RBF2	Treinamento	40,13	< 0,01	8652,59	176,69	-87,36	1,00
	Teste	34,35	13,87	57,85	-2,31	-78,26	0,28
	Validação	53,91	2,68	152,27	14,08	-51,98	0,90

MLP = Multilayer perceptron. RBF = Radial Basis Function. p = valor de probabilidade.  
Fonte: Autores (2021).

A distribuição dos resíduos percentuais das redes selecionadas para a análise gráfica se encontra na Figura 1. Para melhor visualização da distribuição de resíduos, os valores de 1.598,74 % (DC = 0,19 mm) e 8.652,59 % (DC = 0,19 mm) foram omitidos das Figuras referentes às redes MLP2 e RBF2, respectivamente. A rede RBF1 não apresentou tal ponto discrepante, demonstrando capacidade em lidar com ruídos ou valores atípicos durante a modelagem. A homocedasticidade foi verificada em todas as arquiteturas testadas. Diante da complexidade fisiológica envolvida no acúmulo de massa seca vegetal (TAIZ *et al.*, 2017), especialmente de material seminal, o desempenho preditivo da modelagem foi considerado satisfatório.



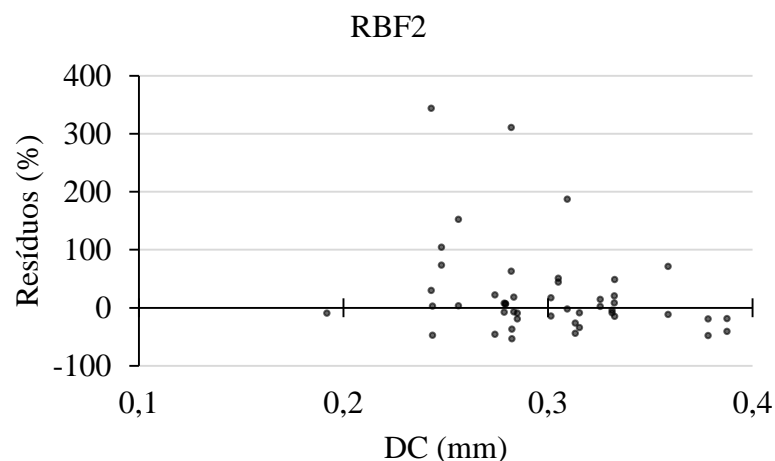
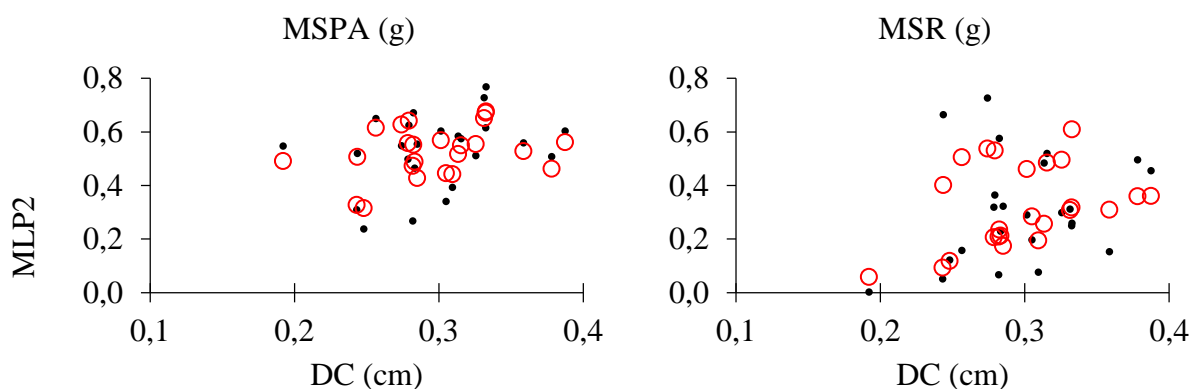


Figura 1 - Representação da distribuição dos erros percentuais em função do diâmetro à altura do coleto (DC) para as Redes Neurais Artificiais (RNA) construídas para estimar simultaneamente o volume (V, cm<sup>3</sup>) e as massas secas de parte aérea (MSPA, g) e de raiz (MSR, g) das mudas de *S. saponaria* aos 250 dias. MLP = Multilayer perceptron. RBF = Radial Basis Function  
 Fonte: Autores (2021).

Os dados estimados e observados pelas redes selecionadas estão apresentados na Figura 2. As redes geraram estimativas estatisticamente similares, embora uma desvantagem observada tenha sido a perda na precisão ao estimar a massa seca individual do sistema radicular das mudas de *S. saponaria*. A rede MLP2 foi um pouco mais precisa para a estimativa da massa seca de parte aérea, sendo constituída por menos neurônios na camada intermediária, reduzindo a possibilidade de overfitting; a fase de treinamento das redes teve menos que 200 ciclos.



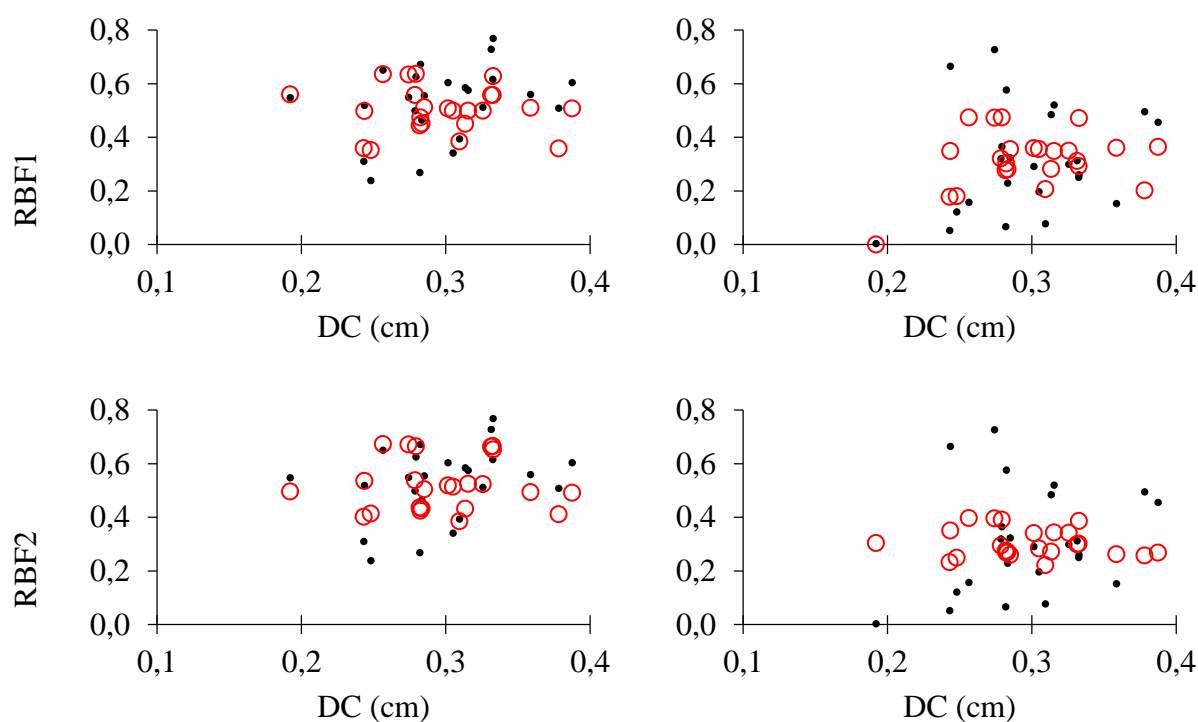


Figura 2 - Estimação simultânea das massas secas de parte aérea (MSPA, g) e de raiz (MSR, g) das mudas de *S. saponaria* aos 250 dias. RBF = Radial Basis Function. Pontos pretos = valores observados. Círculo vermelhos = valores estimados

Fonte: Autores (2021).

A capacidade de generalização e conectividade da arquitetura MLP permitiu que se utilizasse apenas uma rede para realizar a estimação simultânea das massas secas de parte aérea e do sistema radicular das mudas de *S. saponaria* aos 250 dias. Informações sobre a biomassa de mudas são essenciais para melhor planejamento no balanço nutricional e logístico para a propagação vegetal (NOVAIS *et al.*, 2007). Ressalta-se que métodos tradicionais estatísticos implicariam em realizar análise de regressão para cada atributo estimado. Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de futuras pesquisas que contemplem a modelagem biométrica vegetal, sobretudo, em viveiro florestal destinado a produção de mudas de espécies nativas ou exóticas aplicando inteligência artificial.

#### 4 CONCLUSÃO

Os tubetes de 53 cm<sup>3</sup> são indicados para a propagação seminal de *S. saponaria* em casa de sombra até os 250 dias.

A escarificação mecânica do tegumento das sementes com esmeril elétrico pode ser recomendado para maximizar a homogeneidade e velocidade da germinação de *S. saponaria* por viveiristas que utilizam de forma eficiente suas tecnologias e espaço.

A arquitetura MLP de RNA pode ser recomendada para estimar de forma simultânea as massas secas de parte aérea e do sistema radicular de mudas de *S. saponaria*.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, K. S. *et al.* Métodos para a superação da dormência em sementes de sucupira-preta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1716-1721, 2007.

BRADSHAW, C. J. A. *et al.* Using artificial neural network to model the suitability of coastline for breeding by New Zealand fur-seals (*Arctocephalus forsteri*). **Ecological Modelling**, Amsterdã, v. 148, p. 111-131, 2002.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380001004252?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2020.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P.; LUDERMIR, T. B. **Redes neurais artificiais: teoria e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 226p.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Brasília. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso: 10 dez. 2020.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936. 44p.

LAFETÁ, B. O. *et al.* Fitotoxicidade do mercúrio sobre a qualidade fisiológica em sementes de saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) submetidas à escarificação mecânica. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 11, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/15972>. Acesso em: 10 dez. 2020.

LAFETÁ, B. O. *et al.* Tratamentos térmicos para a superação da dormência em sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.15, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/6914>. Acesso em: 10 mar. 2021.

LIMA, J. D. *et al.* Efeito da temperatura e do substrato na germinação de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 513-518, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/3Z6m9jhJrMBgf7RrNwfbKb/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MAEDA, E. E. *et al.* Predicting forest fire in the brazilian amazon using MODIS imagery and artificial neural networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdã, v. 11, p. 265-272, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243409000233?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling and vigour. **Crop Science**, New Jersey, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033.x>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MARTINS, C. C.; ZUCARELI, C; COIMBRA, R. A. Procedimentos de colheita dos frutos na qualidade fisiológica de sementes de *Sapindus saponaria* Mart. **Semina**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 1825-1830, 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5656/9141>. Acesso em: 10 dez. 2020.

MEDEIROS FILHO, S.; SILVA, M. A. P.; SANTOS FILHA, M. E. C. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul var. *ferrea* em casa de vegetação e germinador. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 203-208, 2005.

MONJEZI, M.; BAHRAMI, A.; VARJANI, A. Y. Simultaneous prediction of fragmentation and flyrock in blasting operation using artificial neural networks. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, Amsterdã, v. 47, p. 476-480, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160909001476?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2020.

NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* Germinação e vigor de sementes de *Sapindus saponaria* L. submetidas a tratamentos pré-germinativos, temperaturas e substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 638-644, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/ZdcGsNPqJYBLkKndjF8gkKJ/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PANDORFI, H. *et al.* Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestação e maternidade na suinocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 676-681, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/XkSKvX9fpqKKQ8F84x9DqTk/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SCALON, S. P. Q. *et al.* Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 633-639, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/JSXwfDzPFbqfLnqcwJcPDrw/?lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SCHORN, L. A. *et al.* Definição de idades ótimas para expedição de mudas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) em função de sua qualidade e volume de recipientes. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 32, n. 4, p. 19-27, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/2175-7925.2019v32n4p19>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SCRINZI, G.; MARZULLO, L.; GALVAGNI, D. Development of a neural network model to update forest distribution data for managed alpine stands. **Ecological Modelling**, Amsterdã, v. 206, p. 331-346, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380007001950?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2020.

STATSOFT. **Statistica (Data analysis software system), version 7**. Disponível em: <http://www.statsoft.com, 2007>. Acesso em: 10 dez. 2020.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

#### DADOS DOS AUTORES:

**Nome:** Gleiciane Santos Souza

**E-mail:** [gleicianees@gmail.com](mailto:gleicianees@gmail.com)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/5230902665942326>

Graduanda do Curso Bacharelado em Engenharia Florestal pelo Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista (IFMG-SJE). Possui Curso Técnico em Meio Ambiente pelo IFMG-SJE (2012). Possui Curso de Secretariado Básico pelo IFMG-SJE no âmbito da Primeira Jornada de Pesquisa e Extensão. Tem interesse por Silvicultura, Colheita Florestal e Administração Florestal.

**Nome:** Luilla Lemes Alves

**E-mail:** [luillalemes@gmail.com](mailto:luillalemes@gmail.com)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/3413855661495808>

Possui graduação em Engenharia Florestal (2020), pelo Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG-SJE) - Campus São João Evangelista. Atuação em empresa júnior Floreste Jr, ocupando o cargo de Diretora de Marketing (2018-2019). Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Silvicultura, Mensuração, Amostragem, Modelagem e Recuperação de Áreas Degradadas.

**Nome:** Acálita Godinho de Oliveira

**E-mail:** [akalitagodinho001@gmail.com](mailto:akalitagodinho001@gmail.com)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/6568794146265676>

Graduanda em Engenharia Florestal no Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista (IFMG-SJE). Faço parte da equipe fundadora do CAEF do IFMG-SJE atuando como diretora de marketing. Faço parte da Empresa Junior (Floreste Junior) do IFMG-SJE atuando como gerente de projetos. Atuei como voluntária no viveiro do instituto IFMG SJE de maio de 2018 a maio de 2019.

**Nome:** Bruno Oliveira Lafetá

**E-mail:** [bruno.lafeta@ifmg.edu.br](mailto:bruno.lafeta@ifmg.edu.br)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/7137536896294497>

Doutorado (2019) e mestrado (2012) em Ciência Florestal e graduação em Engenharia Florestal (2009) todos pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Realizou em 2010, mobilidade acadêmica (PROCAD) no Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Silvicultura, Mensuração, Amostragem, Modelagem e Manejo Florestal. Também atua com redes neurais artificiais, support vector machine (SVM) e Random Forest. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) - Campus São João Evangelista.

**Nome:** Natália Risso Fonseca

**E-mail:** [natalia.fonseca@ifmg.edu.br](mailto:natalia.fonseca@ifmg.edu.br)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/2709153501578306>

Doutora e mestra em Fitopatologia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brasil, com período sanduíche no Rocky Mountain Research Station (USDA Forest Service) em Idaho, EUA. Graduada em engenharia Florestal pela UFV. Possui experiência em Patologia Florestal, Fitopatologia e Biologia Molecular, além de experiência em análises envolvendo marcadores moleculares e dados de next-generation sequencing (RNA-seq). Atualmente é professora efetiva do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista, MG, atuando nos cursos de Engenharia Florestal e Agronomia. Também é coordenadora do Laboratório de Fitopatologia onde desenvolve pesquisas que abrangem a etiologia de doenças florestais em espécies nativas, controle alternativo de doenças em espécies florestais e agrônomicas e patologia de sementes.

**Nome:** Rafael Carlos dos Santos

**E-mail:** [rafael.santos@ifmg.edu.br](mailto:rafael.santos@ifmg.edu.br)

**Curriculum Lattes:** <http://lattes.cnpq.br/8792668986393693>

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) na área de nutrição mineral e adubação de plantas Mestre em fitotecnia pela UFV na área de Manejo de Culturas e Solo e Conservação de Solos e da água. Graduado em Agronomia pela Universidade Vale do Rio Doce em julho de 2008. Atualmente é professor no Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista.