

ALAN MARIO ZUFFO
JORGE GONZÁLEZ AGUILERA
ORGANIZADORES

PESQUISAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

Volume VI



Pantanal Editora

2021

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Organizadores

PESQUISAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
VOLUME VI



Pantanal Editora

2021

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

| Grau acadêmico e Nome | Instituição |
|--|------------------------------------|
| Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos | OAB/PB |
| Profa. Msc. Adriana Flávia Neu | Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã |
| Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois | UO (Cuba) |
| Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior | IF SUDESTE MG |
| Profa. Msc. Aris Verdecia Peña | Facultad de Medicina (Cuba) |
| Profa. Arisleidis Chapman Verdecia | ISCM (Cuba) |
| Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva | UFESSPA |
| Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo | UEA |
| Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu | UNEMAT |
| Prof. Dr. Carlos Nick | UFV |
| Prof. Dr. Claudio Silveira Maia | AJES |
| Prof. Dr. Cleberton Correia Santos | UFGD |
| Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva | UEMS |
| Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos | IFPA |
| Prof. Msc. David Chacon Alvarez | UNICENTRO |
| Prof. Dr. Denis Silva Nogueira | IFMT |
| Profa. Dra. Denise Silva Nogueira | UFMG |
| Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão | URCA |
| Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves | ISEPAM-FAETEC |
| Prof. Me. Ernane Rosa Martins | IFG |
| Prof. Dr. Fábio Steiner | UEMS |
| Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza | UFF |
| Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez | (Colômbia) |
| Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles | UNAM (Peru) |
| Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira | IFRR |
| Prof. Msc. Javier Revilla Armesto | UCG (México) |
| Prof. Msc. João Camilo Sevilla | Mun. Rio de Janeiro |
| Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales | UNMSM (Peru) |
| Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski | UFMT |
| Prof. Msc. Lucas R. Oliveira | Mun. de Chap. do Sul |
| Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela | IFPR |
| Prof. Dr. Leandris ArgenteL-Martínez | Tec-NM (México) |
| Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan | Consultório em Santa Maria |
| Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann | UFJF |
| Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior | UEG |
| Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos | FAQ |
| Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla | UNAM (Peru) |
| Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira | SEDUC/PA |
| Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira | IFPA |
| Profa. Dra. Patricia Maurer | UNIPAMPA |
| Profa. Msc. Queila Pahim da Silva | IFB |
| Prof. Dr. Rafael Chapman Auty | UO (Cuba) |
| Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke | UFMS |
| Prof. Dr. Raphael Reis da Silva | UFPI |
| Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo | UEMA |
| Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca | UFPI |
| Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira | FURG |
| Profa. Dra. Yilan Fung Boix | UO (Cuba) |
| Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme | UFT |

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P472 Pesquisas agrárias e ambientais [livro eletrônico] : volume VI / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2021. 133p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-88319-79-6

DOI <https://doi.org/10.46420/9786588319796>

1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente.
 3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González.
- CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Pantanal Editora

Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

As áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais são importantes para a humanidade. De um lado, a produção de alimentos e do outro a conservação do meio ambiente. Ambas, devem ser aliadas e são imprescindíveis para a sustentabilidade do planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

O e-book “Pesquisas Agrárias e Ambientais Volume VI” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção de alimentos, o meio ambiente e promoção de maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas e animais. Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas: regressão quantílica na classificação de sítios florestais em povoamentos de *Pinus elliottii*, equações volumétricas mistas para árvores de *Pinus taeda* em diferentes espaçamentos, substratos para a produção de mudas de coentro, correlações e análise de trilha na qualidade de sementes de soja oriundas de plantas cultivadas em solos com diferentes níveis de fertilidade nitrogenada, desempenho agrônômico de duas cultivares de rúcula sob densidades de semeadura em sistema hidropônico, serraria e secagem da madeira: uma revisão, redes neurais artificiais aplicadas na estimativa da altura total de *Eucalyptus* sp., as espécies de *Desmodium* (Leguminosae) no herbário da Amazônia Meridional: potencialidades a pecuária, germinação de sementes armazenadas de *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling, micoparasitismo no controle biológico da ferrugem Asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), componentes produtivos de soja são influenciados por diferentes tipos de irrigação, e efectos de los oligogalacturónidos y sustrato orgánico en el comportamiento morfoproductivo de la habichuela Lina (*Vigna unicalata* L.). Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e do ambiente, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciência Agrárias e Ciências Ambientais Volume VI, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este e-book possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para as áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera


SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| Apresentação | 4 |
| Capítulo I | 6 |
| Uso da regressão quantílica na classificação de sítios florestais em povoamentos de <i>Pinus elliottii</i> , no Uruguai..... | 6 |
| Capítulo II | 15 |
| Equações volumétricas mistas para árvores de <i>Pinus taeda</i> em diferentes espaçamentos, no Paraná... 15 | |
| Capítulo III | 26 |
| Substratos para a produção de mudas de coentro (<i>Coriandrum sativum</i> L. cv. Português) | 26 |
| Capítulo IV | 33 |
| Correlações e análise de trilha na qualidade de sementes de soja oriundas de plantas cultivadas em solos com diferentes níveis de fertilidade nitrogenada..... | 33 |
| Capítulo V | 42 |
| Desempenho agrônômico de duas cultivares de rúcula sob densidades de semeadura em sistema hidropônico no município de Uruçuí-PI | 42 |
| Capítulo VI | 52 |
| Serraria e Secagem da Madeira: Uma Revisão | 52 |
| Capítulo VII | 63 |
| Redes neurais artificiais aplicadas na estimativa da altura total de <i>Eucalyptus</i> sp. | 63 |
| Capítulo VIII | 78 |
| As espécies de <i>Desmodium</i> (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional: potencialidades a pecuária na região de Alta Floresta, Mato Grosso..... | 78 |
| Capítulo IX | 96 |
| Germinação de sementes armazenadas de <i>Hesperozygis ringens</i> (Benth.) Epling | 96 |
| Capítulo X | 102 |
| Micoparasitismo no Controle Biológico da Ferrugem Asiática da Soja (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)..... | 102 |
| Capítulo XI | 110 |
| As características agrônômicas da soja são influenciadas pelo tipo de irrigação e aplicação de doses de potássio | 110 |
| Capítulo XII | 119 |
| Efectos de los oligogalacturónidos y sustrato orgánico en el comportamiento morfoproductivo de la habichuela Lina (<i>Vigna unicalata</i> L.)..... | 119 |
| Índice Remissivo | 131 |
| Sobre os organizadores | 133 |


Uso da regressão quantílica na classificação de sítios florestais em povoamentos de *Pinus elliottii*, no Uruguai

Recebido em: 15/06/2021

Aceito em: 21/06/2021

 10.46420/9786588319796cap1

Ximena Mendes de Oliveira^{1*} 


Lorena Oliveira Barbosa² 

Anny Francielly Ataíde Gonçalves² 

Luciane Naimeke Schmidt² 

Rafaella Carvalho Mayrinck³ 

Antonio Carlos Ferraz Filho⁴ 

José Roberto Soares Scolforo² 

INTRODUÇÃO

O sítio florestal refere-se à capacidade de crescimento das árvores em uma região (Scolforo et al., 2006). Diversos fatores podem influenciar a capacidade produtiva, como solo (fertilidade, drenagem, textura, profundidade), clima (padrões de temperatura precipitação, e umidade) e topografia (elevação, aspecto, etc) (Vanclay, 1994). Desta forma, a avaliação da qualidade do sítio florestal fornece referência para o diagnóstico e prescrição silvicultural, como na escolha da espécie, espaçamento, sistemas de manejo e tratos silviculturais a serem implantados (Burkhardt et al., 2012). Do ponto de vista do manejador florestal, uma avaliação quantitativa da capacidade produtiva deve ser objetiva e facilmente determinável. Para isto, é necessário utilizar um atributo do povoamento que não seja influenciado por fatores que variam com o manejo, por exemplo, densidade de plantio e material genético. A média das alturas dominantes atende a esta exigência (Burkhardt et al., 2012) e, portanto, é a medida mais amplamente utilizada na classificação de sítios florestais (Ziech et al., 2016; Silva et al., 2020).

As estimativas de capacidade produtiva dos sítios devem ser precisas e não tendenciosas, uma vez que o erro pode ser propagado em análises posteriores, por exemplo em funções de crescimento (Burkhardt et al., 2012). Neste sentido, a regressão quantílica (Koenker et al., 1978) é uma alternativa promissora para classificação de sítio. A sua aplicabilidade já foi verificada em estudos de crescimento de árvores (Coomes et al., 2007), erros de avaliação em dados de inventário (Mäkinen et al., 2008), ajuste de funções de afilamento (Cao et al., 2015), dentre outros. Araújo Júnior et al. (2016) geraram curvas de sítio

¹ Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO). Rua Professora Maria Rosa Zanon, Engenheiro Gutierrez, Campus Irati, CEP: 84505-677, Irati, PR, Brasil.

² Universidade Federal de Lavras (UFLA). Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001, Aqueanta Sol, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil.

³ Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva (FAIT). Rodovia Francisco Alves Negrão, Km 285, CEP: 18412-000, Itapeva, SP, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, BR 135, km 3, Bairro Planalto Horizonte, CEP: 64900-000, Bom Jesus, PI, Brasil.

* Autora correspondente: ximena@unicentro.br

pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários e regressão quantílica, utilizando dados de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os autores concluíram que o método da regressão quantílica gerou curvas anamórficas (uso de um percentil) e polimórficas (uso de diferentes percentis) mais bem ajustadas aos dados observados. Santos et al. (2018), utilizando dados de parcelas permanentes de *Eucalyptus* spp., verificaram que as curvas de sítio ajustadas pelo método da regressão quantílica não linear foram superiores às curvas anamórficas e polimórficas geradas pelo método da diferença algébrica.

Após estratificar as áreas por meio do índice de sítio, é possível ajustar modelos de volume e área basal para o povoamento que usam o índice de sítio como variável de entrada, como o modelo de Sullivan e Clutter, proposto por Sullivan et al. (1972). Este modelo é amplamente utilizado na predição e projeção do volume por unidade de área. Para realizar o ajuste de forma adequada e garantir a capacidade de predição e projeção, os dados devem ser organizados em uma tabela simultânea, considerando as parcelas permanentes e temporárias ao mesmo tempo, conforme exemplificado em Scolforo et al. (2006).

O presente estudo teve como objetivo gerar curvas de sítio pelo método da regressão quantílica, ajustado pelo percentil 0,5 (referente à mediana), e compará-lo com o ajuste pelo método dos mínimos quadrados ordinários, utilizando dados de parcelas permanentes mensuradas em povoamentos de *Pinus elliottii*, localizados no norte do Uruguai. Após classificar os sítios das parcelas, estimou-se volume e área basal, utilizando o modelo de Sullivan e Clutter.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados e descrição da área

Dados de inventário florestal contínuo de povoamentos de *Pinus elliottii* foram utilizados. As parcelas circulares variaram de 300 m² a 500 m² e apresentaram de duas a seis remedições. Informações sobre os dados coletados nas 440 parcelas permanentes estão presentes na Tabela 1. As alturas dominantes foram mensuradas seguindo o conceito de Assmann (1970). O volume individual das árvores foi obtido por meio de equação ajustada, com a cubagem rigorosa de algumas árvores.

Tabela 1. Resumo dos dados de inventário florestal de plantios de *Pinus elliottii*.

| Informações | Mínimo | Médio | Máximo |
|---------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Idade (anos) | 2,5 | 5,9 | 11,2 |
| Altura dominante (m) | 2,1 | 8,3 | 17,8 |
| Volume (m ³ /ha) | 0,0833 | 36,9211 | 219,9767 |
| Área Basal (m ² /ha) | 0,0900 | 10,6460 | 44,4000 |

A área de estudo está localizada no norte do Uruguai, nas regiões de Rivera, Tacuarembó e Paysandú. O clima local é temperado subtropical, compreendido na região Cfa de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, descrito como temperado e úmido sem temporada seca (Kottek et al.,

2006). A temperatura média anual é de 18 °C, com mínima e máxima de 12 °C e 24 °C, respectivamente, e a precipitação média anual varia entre 1.300 e 1.400 mm (Castaño et al., 2011).

Classificação do sítio e projeção do volume e área basal

A classificação da capacidade produtiva foi efetuada pelo método da curva guia, gerando curvas anamórficas. O modelo de Schumacher (1) foi ajustado, pelo método dos percentis (regressão quantílica), considerando o percentil 0,5 (referente à mediana) e pelo método dos mínimos quadrados ordinários. A idade de referência de 10 anos foi considerada.

$$\text{Ln}(hd) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{I}\right) + \varepsilon$$

(1)

em que: Ln = logaritmo neperiano; hd = altura média das árvores dominantes (m); I = idade (anos); β_i = parâmetros a serem estimados; ε = erro aleatório.

A classificação do sítio florestal permite estratificar as parcelas em diferentes classes de capacidade produtiva. Essa informação é considerada para a projeção do volume do povoamento. Desta forma, após realizar a classificação de sítios, a projeção volumétrica em nível do povoamento foi realizada pelo modelo de densidade variável de Sullivan e Clutter (2).

$$\text{Ln}(V_2) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{S} + \beta_2 \frac{1}{I_2} + \beta_3 \text{Ln}(G_1) \frac{I_1}{I_2} + \beta_4 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_5 \left(\left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) S\right) + \text{Ln}(\varepsilon) \quad (2)$$

em que: Ln = logaritmo neperiano; V_2 = volume (m³/ha) na idade final; S = índice de sítio (m); I_2 = idade (anos) na idade final; I_1 = idade (anos) na idade inicial; G_1 = área basal (m²/ha) na idade inicial; G_2 = área basal (m²/ha) na idade final; β_i = parâmetros a serem estimados; ε = erro aleatório.

Após obter os parâmetros do modelo (2), foi realizado o rearranjo da equação para projetar a área basal, conforme o modelo (3).

$$\text{Ln}(G_2) = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \text{Ln}(G_1) + \frac{\beta_4}{\beta_3} \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \frac{\beta_5}{\beta_4} \left(\left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) S\right) + \text{Ln}(\varepsilon)$$

(3)

em que: Ln = logaritmo neperiano; V_2 = volume (m³/ha) na idade final; S = índice de sítio (m); I_2 = idade (anos) na idade final; I_1 = idade (anos) na idade inicial; G_1 = área basal (m²/ha) na idade inicial; G_2 = área basal (m²/ha) na idade final; β_i = parâmetros a serem estimados; ε = erro aleatório.

Processamento e avaliação dos ajustes

Os ajustes foram realizados utilizando o software R (R Core Team, 2020). Na classificação do sítio, a função “qr” do pacote quantreg (Koenker et al., 2020) foi utilizada no método dos percentis e a função “lm” foi utilizada no método dos mínimos quadrados ordinários. Na projeção do volume e área basal em nível do povoamento, a função “lm” foi utilizada.

O ajuste do modelo (1) pelos métodos dos mínimos quadrados e da regressão quantílica foram avaliados em relação à classificação de sítio, comparando as curvas geradas e a estabilidade da classificação das parcelas, conforme aplicado em Ribeiro et al. (2016) e Scolforo et al. (2016). Posteriormente, a projeção do volume e da área basal, realizada pelos modelos (2) e (3), foram analisadas quanto à distribuição gráfica dos resíduos. Além disso, os modelos (1), (2) e (3) foram avaliados pelo coeficiente de determinação (R^2), pela raiz quadrada do erro médio (RMSE) e pelo critério de Akaike (AIC).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros estimados e as estatísticas de precisão do modelo (1) pelos métodos dos mínimos quadrados e da regressão quantílica (percentil 0,5) estão representados na Tabela 2. Todos os parâmetros foram significativos para $\alpha=0,05$. As estimativas e as estatísticas de precisão resultantes do ajuste pelo método dos mínimos quadrados e regressão quantílica apresentaram resultados próximos, o que pode ser explicado pelo fato de que média e mediana da altura dominante serem similares nas idades de mensuração (Araújo Junior et al., 2016). A maior diferença absoluta entre a média e a mediana é de apenas 0,2 m, na classe de 10 a 11 anos (Tabela 3).

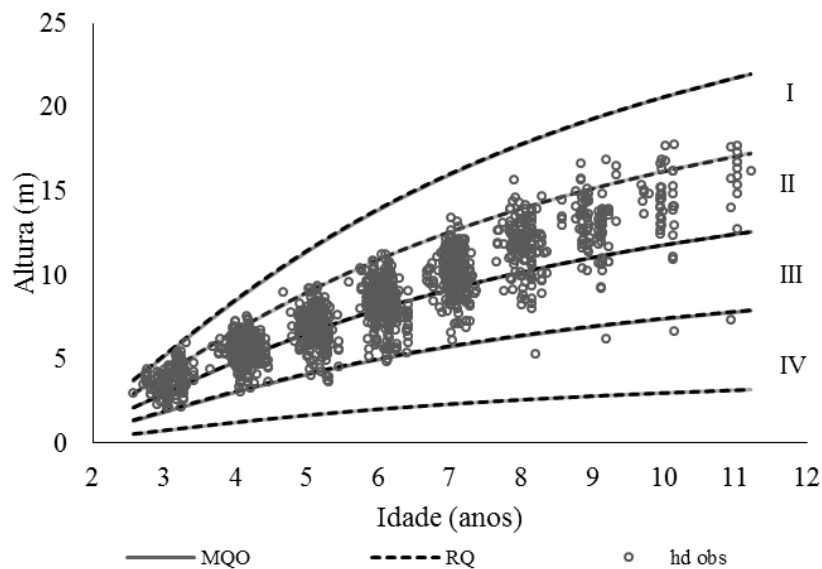
Tabela 2. Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão das equações obtidas pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários e regressão quantílica.

| Parâmetro | Valor estimado | Valor p | R^2 ajustado | RMSE | AIC |
|---|----------------|---------|----------------|--------|----------|
| Método dos mínimos quadrados ordinários | | | | | |
| β_0 | 3,15459 | < 0,05 | 0,8035 | 1,3792 | 942,1000 |
| β_1 | -71,15992 | < 0,05 | | | |
| Método da Regressão Quantílica | | | | | |
| β_0 | 3,1639 | < 0,05 | 0,8032 | 1,3802 | 944,2728 |
| β_1 | -70,4509 | < 0,05 | | | |

Tabela 3. Número de medições nas parcelas, valores de média, mediana e diferença absoluta entre média e mediana na altura dominante (m) por classes de idade (anos).

| Classes de idade (anos) | Número de medições | Altura dominante (m) | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|---------|-----------------|
| | | Média | Mediana | Média – Mediana |
| 2 -- 3 | 21 | 3,6 | 3,6 | 0,0 |
| 3 -- 4 | 62 | 4,6 | 4,5 | 0,1 |
| 4 -- 5 | 88 | 5,8 | 5,7 | 0,1 |
| 5 -- 6 | 108 | 7,5 | 7,5 | 0,0 |
| 6 -- 7 | 91 | 9,0 | 8,9 | 0,1 |
| 7 -- 8 | 81 | 10,8 | 10,7 | 0,1 |
| 8 -- 9 | 52 | 12,5 | 12,6 | 0,1 |
| 9 -- 10 | 27 | 13,7 | 13,8 | 0,1 |
| 10 -- 11 | 6 | 15,2 | 15,4 | 0,2 |
| 11 -- 12 | 2 | 16,1 | 16,1 | 0,0 |

Devido à similaridade entre os dois métodos de ajuste (Tabela 2), as curvas de sítio geradas por cada um foram similares (Figura 1), resultando em diferença na classificação de apenas cinco parcelas com duas ou três remedições. A similaridade entre os ajustes por esses dois métodos também foi verificada por Santos et al. (2018) ao utilizar dados de 98 parcelas permanentes de *Eucalyptus* spp no estado de São Paulo.

**Figura 1.** Curvas de índice de sítio obtidas pelas equações ajustadas com o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e da regressão quantílica (RQ), utilizando o percentil 0,5. Fonte: os autores.

De acordo com Chambers et al. (2006), a similaridade entre os métodos indica a ausência de dados discrepantes (outliers) compondo a base de dados. Neste caso, utilizar a média (método dos

mínimos quadrados ordinários) ou mediana (método da regressão quantílica) resultou em curvas semelhantes. Por outro lado, Araújo Júnior et al. (2016) testaram a inserção de um dado discrepante em uma base de dados com oito parcelas e verificaram melhores ajustes pelo método da regressão quantílica. Fato este também observado por Santos et al. (2018), que salientaram a robustez do método, mesmo na presença de dados discrepantes.

O teste de estabilidade das parcelas mostrou que a regressão quantílica foi ligeiramente superior ao método dos mínimos quadrados, resultando em respectivamente, 209 e 212 mudanças de classes nas parcelas. Na regressão quantílica 60,2% das parcelas não alteraram a classe, 34,3% apresentaram uma mudança e 5,5% apresentaram duas ou mais mudanças. No método dos mínimos quadrados 59,5% das parcelas não alteraram de classe, 34,8% apresentaram uma mudança e 5,7% apresentaram duas ou mais mudanças.

Ribeiro et al. (2016) encontraram 212 mudanças considerando 150 parcelas ao utilizar o modelo de Schumacher, classificando a capacidade produtiva para povoamentos de *Khaya ivorensis* utilizando o método da diferença algébrica generalizada (GADA). Embora o número de mudanças tenha sido próximo ao encontrado neste estudo, o número de mudanças foi diferente, em que apenas 28% das parcelas não alteraram a classe, 29,3% apresentaram uma mudança, 22% apresentaram duas mudanças, 14,6% apresentaram três mudanças e 6% apresentaram quatro mudanças.

De acordo com Scolforo et al. (2006), desde que a equação apresente estatísticas satisfatórias, a classificação com maior estabilidade das parcelas pode ser selecionada. Scolforo et al. (2016) também utilizou o teste de estabilidade para selecionar a melhor classificação de sítio, selecionando a equação de Von Bertalanffy modificado por Richards, pelo método da diferença algébrica. No caso deste estudo, como mencionado, a classificação de sítio utilizando o método da regressão quantílica foi selecionada e utilizada no ajuste do modelo (2). Os valores estimados dos parâmetros e as estatísticas de precisão estão apresentados na Tabela 4.

O método da regressão quantílica foi utilizado nas ciências florestais por vários autores em campos diversos. Por exemplo Vospernik et al. (2016) usaram a regressão quantílica para modelar densidade de 15 espécies do Inventário Florestal da Austria. Yang (2017) utilizaram a regressão quantílica (Koenker et al., 1978), com percentis superiores à 0,90 para obter a linha de densidade máxima para povoamentos de *Pinus taeda* na Carolina do Norte, Estados Unidos. Özçelik et al. (2018) usaram o método de regressão quantílica para estimar altura para uma floresta da Turquia. Paulo et al. (2021) usaram a regressão quantílica para modelar a produção de cortiça em Portugal e Bohora et al. (2014) usaram regressão quantílica para prever crescimento em diâmetros para uma floresta de *Pinus taeda* em Louisiana, Estados Unidos. Além disso, poucos trabalhos fizeram uso do método da regressão quantílica para classificação de sítios florestais. Para o gênero Eucalipto, têm-se os trabalhos desenvolvidos por Farias (2018), Araújo Junior et al. (2019) e Santos et al. 2018). Porém, para espécies de Pinus até o

momento essa metodologia não havia sido empregada para classificação de sítios de florestas plantadas com espécies de *Pinus*.

A equação apresentou bons ajustes, assim como em outros estudos que utilizaram este modelo para a projeção em volume (Leite et al., 2001; Dias et al., 2005; Demolinari et al., 2007). Os parâmetros estimados (Tabela 4) foram usados nos modelos (2) e (3) para projetar o volume e a área basal, respectivamente.

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros e estatísticas de precisão da equação de Sullivan e Clutter obtida pelo método da regressão quantílica.

| Parâmetro | Valor estimado | Valor p | R ² | RMSE | AIC |
|-----------|----------------|---------|----------------|--------|-----------|
| β_0 | 1,707485 | < 0,05 | | | |
| β_1 | -4,01225 | < 0,05 | | | |
| β_2 | -3,50244 | < 0,05 | 0,9776 | 0,1650 | -1892,107 |
| β_3 | 1,136048 | < 0,05 | | | |
| β_4 | 3,920238 | < 0,05 | | | |
| β_5 | 0,039658 | < 0,05 | | | |

Os gráficos de resíduo para a projeção do volume (Figura 2a) e da área basal (Figura 2b) apresentaram uma boa distribuição para valores estimados inferiores a 100 m³/ha e 30 m²/ha, respectivamente. Após esses pontos, ambos os modelos apresentaram tendência em subestimar as informações. Isto pode ser explicado pelo reduzido número de parcelas remedidas em idades mais avançadas (Tabela 3).

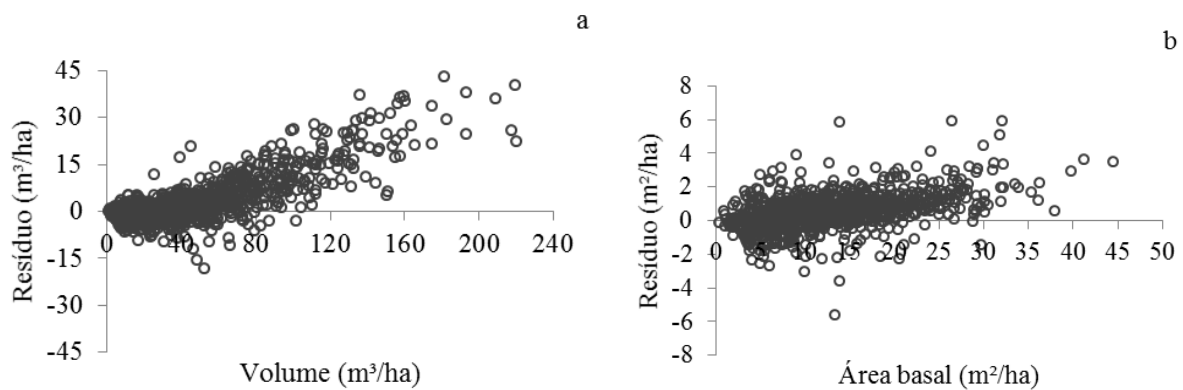


Figura 2. Gráfico de resíduos de volume (a) e área basal (b).

CONCLUSÃO

O método da regressão quantílica utilizando o percentil 0,5 (referente à mediana) possibilitou uma classificação de sítio estável para dados de *Pinus elliottii* localizados no norte do Uruguai. A estratificação das parcelas em classes de capacidade produtiva pelo método da regressão quantílica possibilitou a projeção do volume de madeira e da área basal das parcelas, portanto, esta é uma importante informação para os manejadores florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Araújo Júnior CA et al. (2016). Curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto obtidas por regressão quantílica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(6): 720-727.
- Assmann E (1970). *Principles of forest yield study*. Oxford: Pergamon. 506p.
- Bohora SB et al. (2014). Prediction of tree diameter growth using quantile regression and mixed-effects models. *Forest Ecology and Management*, 319(1): 62-66.
- Burkhardt HE et al. (2012). *Modeling Forest Trees and Stands*. New York: Springer. 461p.
- Cao QV et al. (2015). Evaluation of methods for calibrating a tree taper equation. *Forest Science*, 61(1): 213-219.
- Castaño et al. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. Serie Técnica INIA: Montevideo. 33p
- Chambers R et al. (2006). M-quantile models for small area estimation. *Biometrika*, 93(1): 255-268.
- Coomes et al. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95(1): 1084-1097.
- Demolinari et al. (2007). Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). *Revista Árvore*, 31: 503-512.
- Dias AN et al. (2005). Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. *Revista Árvore*, 29: 731-739.
- Farias AA. (2018). *Uso de regressão quantílica na predição da produção de povoamentos de eucalipto*. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa (Dissertação), Viçosa 36p.
- Koenker R et al. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46: 33-50, 1978.
- Koenker R et al. (2020). *Quantreg: Quantile Regression*. R package version 5.61. R Foundation for Statistical Computing: Vienna) Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=quantreg>, 2013.
- Kottek et al. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 259-263.
- Leite HG et al. (2001). Um modelo de crescimento e produção para *Pinus taeda* L. na região Sul do Brasil. *Revista Árvore*, 25: 105-112.

- Mäkinen A et al. (2008). Comparison of treewise and standwise forest simulators by means of quantile regression. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2709 –2717.
- Özçelik R et al. (2018). Predicting tree height from tree diameter and dominant height using mixed-effects and quantile regression models for two species in Turkey. *Forest ecology and management*, 419(1): 240-248.
- Paulo JA et al. (2021). Quantile regression for modelling the impact of climate in cork growth quantiles in Portugal. *European Journal of Forest Research*, 1-14.
- R Development Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <[http://http://www.R-project.org](http://www.R-project.org)>. Acesso em: 09/06/21
- Ribeiro et al. (2016). Site quality curves for African mahogany plantations in Brazil. *Cerne*, 22(4): 439-448.
- Santos CJ et al. (2018). Regressão não linear quantílica para classificação de sítio em povoamentos de *Eucalyptus* sp. *Scientia Forestalis*, 46(120): 551-561.
- Scolforo JRS et al. (2016). Modeling dominant height growth of eucalyptus plantations with parameters conditioned to climatic variations. *Forest Ecology and Management*, 380: 182–195.
- Scolforo JRS et al. (2006). *Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal*. Lavras: UFLA/FAEPE. 393p.
- Silva AVS et al. (2020). Classificação de sítio em plantio florestal de eucalipto no estado do Amapá. *Revista Arquivos Científicos (IMMES)*, 3(1): 106-110.
- Sullivan AD et al. (1972). Simultaneous growth and yield model for loblolly pine. *Forest Science*, 18(1): 76-86.
- Vanclay JK (1994). *Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest*. Wallingford: CAB Internacional. 312p.
- Vospersnik S et al. (2016). Do competition-density rule and self-thinning rule agree? *Annals of Forest Science*, 72(3): 379-390.
- Yang SI (2017). Estimation of carrying capacity in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Forest Ecology and Management*, 385: 167-176.
- Ziech BG et al. (2016). Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para teca em Glória d'oeste-MT. *Revista Brasileira de Biometria*, 34(4): 533-542.

Equações volumétricas mistas para árvores de *Pinus taeda* em diferentes espaçamentos, no Paraná

Recebido em: 27/06/2021

Aceito em: 29/06/2021

 10.46420/9786588319796cap2

Ximena Mendes de Oliveira^{1*} 

Rafaella Carvalho Mayrinck² 

INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* é o segundo mais plantado no Brasil e o mais plantado nos estados do Paraná e Santa Catarina (IBÁ, 2020). De acordo com IBÁ (2019), os setores de principais uso das madeiras advindas desses povoamentos são: indústria madeireira, celulose e papel, painéis reconstituídos e lenha industrial. Dentro do gênero *Pinus*, a espécie *Pinus taeda* L. se destaca como uma das mais plantados no Brasil (Shimizu et al., 2018), podendo alcançar até 20 m de altura total e 100 cm de diâmetro a 1,3 m do solo (diâmetro à altura do peito - dap) (Marchiori, 2005).

Dada a importância das espécies de *Pinus* no cenário nacional, torna-se imprescindível o conhecimento do volume do fuste das árvores. O volume, muitas vezes, é a principal informação de um inventário florestal (Soares et al., 2011), possibilitando conhecer o potencial de uma área (Pelissari et al., 2011) e realizar prognoses da produção de madeira (Thomas et al., 2006; Silvestre et al., 2014).

A determinação do volume, por meio da cubagem direta ou indireta, requer mensuração de diâmetros ao longo do fuste da árvore (Soares et al., 2011). Por ser um processo oneroso, é comum a determinação do volume para algumas árvores do povoamento e o uso de modelos de regressão para estimar o volume das demais árvores (Oliveira et al., 2018). Os modelos volumétricos podem ser de simples ou dupla entrada. Nos modelos de simples entrada, o volume é explicado em função da variável dap e nos modelos de dupla entrada em função das variáveis dap e da altura total (Almeida et al., 2020).

Na literatura há diversos estudos sobre modelos volumétricos para espécies do gênero *Pinus*. Por exemplo, para *Pinus elliottii* (Silva et al., 2000), *Pinus oocarpa* (Machado et al., 2002; Machado et al., 2005), *Pinus pinaster* e *Pinus caribaea* (Freire et al., 2003) e *Pinus tecunumanii* (Pelissari et al., 2011). Há também estudos com a espécie *Pinus taeda* (Silvestre et al., 2014; Santos et al., 2019; Stefanello et al., 2021), entretanto, nenhum deles utilizou a modelagem mista para estimar o volume de árvores de *Pinus taeda* como está sendo proposto no presente estudo.

¹ Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO). Rua Professora Maria Rosa Zanon, Engenheiro Gutierrez, Campus Irati, CEP: 84505-677, Irati, PR, Brasil.

² Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva (FAIT). Rodovia Francisco Alves Negrão, Km 285, CEP: 18412-000, Itapeva, SP, Brasil.

* Autora correspondente: ximena@unicentro.br

A modelagem mista é vantajosa em relação à modelagem fixa, pois garante maior flexibilidade para descrever a variável resposta. Por meio da modelagem mista, é possível diferenciar fatores que impactam diretamente a média da população, caracterizados como de efeito fixo, de fatores que afetam indivíduos ou grupos de indivíduos, caracterizados como de efeito aleatório. Isto garante maior robustez, precisão e generalidade ao modelo (Sharma et al., 2007; Bronisz et al., 2020). Por exemplo, Scolforo et al. (2018) obtiveram equações de afilamento mistas generalizadas para árvores de quatro diferentes famílias genéticas de eucalipto no estado do Mato Grosso do Sul, utilizando efeitos aleatórios em nível de árvore.

Neste contexto, o objetivo do estudo foi comparar modelos volumétricos de simples e dupla entrada, utilizando ajustes de efeito fixo e efeito misto (árvores como efeito aleatório). Os modelos foram ajustados em nível de talhão, considerando os espaçamentos de plantio de 4 m x 2 m e 3 m x 2 m e dados de cubagem de árvores de *Pinus taeda*, localizadas em Irati, Paraná, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e descrição dos dados

Os dados foram coletados em uma floresta plantada localizada em Irati, Paraná, Brasil (25°27'56" de latitude sul e 50°37'51" de longitude oeste), no *Campus* de Irati da Universidade Estadual do Centro-Oeste. O clima da região é o temperado úmido com verão temperado (Cfb). Essa classificação climática abrange 2,6 % do território nacional e 37 % do território estadual do Paraná, na região conhecida como Planalto das Araucárias (Alvares et al., 2013). O clima Cfb é caracterizado por apresentar chuvas uniformemente distribuídas ao longo do ano, temperatura média máxima de 22 °C, mínima de -3°C e média de 18°C. Há ocorrência frequente de geadas no inverno (IBGE, 2021).

O plantio experimental é composto por árvores de *Pinus taeda*, em cinco talhões com diferentes espaçamentos de plantio (3 m x 3 m; 3 m x 2 m; 4 m x 2 m; 2 m x 2,5 m; 2 m x 2 m). O experimento foi implantado em 2003 e a coleta de dados foi realizada em 2020, quando as árvores tinham, aproximadamente, 17 anos. Para este estudo, foram coletados dados de dois talhões, o primeiro com espaçamento 4 m x 2 m e área de 1,12 ha e o segundo com espaçamento 3 m x 2 m e área de 0,76 ha.

Dados do inventário florestal realizado em 2019, totalizando 11 parcelas de 300 m², foram considerados para conhecer a distribuição diamétrica dos dois talhões. A partir dessa informação, 60 árvores foram cubadas de forma indireta com o dendrômetro óptico Criterion RD 1000. Os estudos de Nicoletti et al. (2015), Oliveira et al. (2018) e Curto et al. (2019) validaram a eficácia da cubagem indireta com o Criterion RD 1000.

O critério adotado na cubagem das 60 árvores foi a divisão uniforme por talhão (30 árvores em cada) e a coleta uniforme em relação às classes diamétricas, com amplitude de 4 cm. O talhão 1 (4 m x 2 m) apresentou seis classes de diâmetro, variando de 13 cm a 37 cm. O talhão 2 (3 m x 2m) apresentou

cinco classes de diâmetro, variando de 13 cm a 33 cm. Desta forma, foram cubadas 5 árvores por classe no talhão 1 e 6 árvores por classe no talhão 2.

A cubagem indireta foi realizada por um único operador e, para calibrar o Criterion RD 1000, foi adotada a mensuração direta com a suta, de forma simultânea, nos diâmetros do fuste localizados nas alturas de 0,2 m; 0,5 m; 0,7 m; 1,0 m; 1,3 m e 2 m. Acima de 2 m, os diâmetros foram mensurados apenas de forma indireta, a cada 1 m. As variáveis obtidas na cubagem das árvores foram: diâmetro em cm à 1,3 m de altura (dap), altura total (ht) em m, diâmetros (di) em cm em diferentes alturas (hi) em m ao longo do fuste. Com essas variáveis, o método de Smalian foi aplicado e o volume individual das árvores (vol) em m³ foi obtido. A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos dados de dap, ht e vol das 60 árvores cubadas.

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de dap (cm), ht (m) e vol (m³) no talhão 1 (4 m x 2 m) e no talhão 2 (3 m x 2 m).

| Talhão 1 (4 m x 2 m) | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| Variável | Mínimo | Máximo | Média | DP | CV (%) |
| dap (cm) | 13,0 | 35,4 | 24,9 | 6,6 | 26,5 |
| ht (m) | 15,1 | 24,5 | 21,3 | 2,3 | 10,8 |
| vol (m ³) | 0,1322 | 1,1508 | 0,5584 | 0,3129 | 56,0 |
| Talhão 2 (3 m x 2 m) | | | | | |
| Variável | Mínimo | Máximo | Média | DP | CV (%) |
| dap (cm) | 13,0 | 32,4 | 22,9 | 5,7 | 24,9 |
| ht (m) | 18,0 | 24,4 | 21,2 | 1,5 | 7,1 |
| vol (m ³) | 0,1223 | 1,0367 | 0,4905 | 0,2613 | 53,3 |

DP = desvio padrão amostral; CV (%) = coeficiente de variação em %.

Modelos volumétricos e abordagens de ajuste

Quatro modelos volumétricos foram utilizados, sendo dois modelos de simples entrada (1) e (2) e dois modelos de dupla entrada (3) e (4). Os modelos utilizados são conhecidos como Kopecky-Gehrhardt (1), Meyer (2), Schumacher e Hall linearizado (3) e Spurr (4) e são amplamente utilizados na literatura (Oliveira et al., 2018; Vendruscolo et al., 2014; Silva et al., 2016).

$$\text{vol} = (\beta_0 + b_0) + \beta_1 \text{dap}^2 + \epsilon$$

(1)

$$\ln(\text{vol}) = (\beta_0 + b_0) + \beta_1 \ln(\text{dap}) + \epsilon$$

(2)

$$\ln(\text{vol}) = (\beta_0 + b_0) + \beta_1 \ln(\text{dap}) + \beta_2 \ln(\text{ht}) + \epsilon$$

(3)

$$\text{vol} = (\beta_0 + b_0) + \beta_1 \text{dap}^2 \text{ht} + \epsilon$$

(4)

em que: \ln = logaritmo neperiano; β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes fixos; b_0 = coeficiente aleatório em nível de árvore individual; ε = erro aleatório. Demais variáveis foram descritas anteriormente.

Duas abordagens de ajuste foram consideradas: a) Fixa - abordagem fixa por talhão, na qual o coeficiente b_0 não foi considerado; b) Mista - abordagem mista por talhão, na qual o coeficiente b_0 foi considerado. Combinando os 4 modelos, as 2 abordagens de ajuste e os 2 talhões, 16 equações foram geradas.

Processamento e avaliação das estimativas

O processamento foi realizado no *software* R (R Core Team, 2021). O pacote *ggplot2* (Wickham, 2016) foi utilizado para gerar os gráficos e o pacote *nlme* (Pinheiro et al., 2016) foi utilizado para ajustar os modelos com efeitos mistos.

Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos volumétricos foram gerados gráficos 1:1, de modo que, valores mais próximos da linha diagonal apresentam estimativas mais acuradas. Para avaliar a qualidade das predições, as estatísticas utilizadas foram a raiz do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Squared Error*, expressão 5) e o erro médio absoluto (MAE - *Mean Absolute Error*, expressão 6).

$$RMSE(m^3) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (vol_{obs.} - vol_{est.})^2}{n}}$$

(5)

$$MAE(m^3) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |vol_{obs.} - vol_{est.}|$$

(6)

em que: n = número de observações; $vol_{obs.}$ = volume individual das árvores obtido pela cubagem; $vol_{est.}$ = volume individual das árvores obtido pelo modelo ajustado.

A validação da metodologia, resultante da combinação entre o melhor modelo e a melhor abordagem de ajuste, foi considerada. Para este fim, foi utilizado o método *Bootstrap* não paramétrico com reposição (Efron, 1982), considerando um total de 100 amostras aleatórias. Essa técnica vem sendo utilizada em outros estudos para possibilitar a validação (Scolforo et al., 2018; Hall et al., 2019) evitando separar a base de dados em uma base de ajuste e uma base de validação. Essas amostras aleatórias permitiram estimar a distribuição amostral das estatísticas (MAE e RMSE) e gerar medidas de qualidade dos ajustes.

RESULTADOS

Os modelos foram ajustados, utilizando as abordagens de efeitos fixos e efeitos mistos em nível de talhão. Os coeficientes fixos ajustados estão representados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes fixos das equações ajustadas utilizando as duas abordagens de ajuste em nível de talhão.

| Talhão 1 (4 m x 2 m) | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|----------------------|-----------|-----------|------------------------|
| Abordagem de ajuste | Coeficientes fixos | Modelos volumétricos | | | |
| | | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Fixa | β_0 | -0,07586* | -8,25840* | -9,91165* | -0,01417 ^{NS} |
| | β_1 | 0,00096* | 2,35520* | 2,08414* | 0,00004* |
| | β_2 | - | - | 0,82369* | - |
| Mista | β_0 | -0,07579* | -8,25844* | -9,91165* | -0,01417 ^{NS} |
| | β_1 | 0,00096* | 2,35517* | 2,08414* | 0,00004* |
| | β_2 | - | - | 0,82369* | - |
| Talhão 2 (3 m x 2 m) | | | | | |
| Abordagem de ajuste | Coeficientes fixos | Modelos volumétricos | | | |
| | | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Fixa | β_0 | -0,05254* | -7,93088* | -9,57435* | -0,00759 ^{NS} |
| | β_1 | 0,00097* | 2,27742* | 2,12352* | 0,00004* |
| | β_2 | - | - | 0,69533* | - |
| Mista | β_0 | -0,05254* | -7,93088* | -9,57435* | -0,00759 ^{NS} |
| | β_1 | 0,00097* | 2,27742* | 2,12352* | 0,00004* |
| | β_2 | - | - | 0,69533* | - |

* coeficientes significativos para $\alpha=5\%$; ^{NS} coeficientes não significativos para $\alpha=5\%$.

Apenas a equação (4) apresentou coeficiente fixo não significativo, considerando o nível de significância de $\alpha=5\%$. Para o talhão 1, os coeficientes fixos dos modelos (1) e (2) diferiram entre as duas abordagens de ajuste e os coeficientes fixos dos modelos (3) e (4) não diferiram entre as duas abordagens de ajuste. Para o talhão 2, os coeficientes fixos de todos os modelos não diferiram entre as duas abordagens de ajuste.

Na abordagem mista, o coeficiente aleatório b_0 , considerou o nível de árvore individual, ou seja, 30 valores de b_0 foram obtidos para o ajuste em cada talhão. A Tabela 3 contém o valor mínimo, valor máximo e desvio padrão do coeficiente aleatório b_0 , considerando os quatro modelos na abordagem de ajuste mista.

Tabela 3. Valor mínimo, valor máximo e desvio padrão do coeficiente aleatório b_0 obtido na abordagem de ajuste misto, em nível de árvore.

| Talhão | Modelo | Mínimo | Máximo | Desvio padrão |
|---------------|--------|----------|---------|---------------|
| 1 (4 m x 2 m) | (1) | -0,08519 | 0,06681 | 0,03829 |
| | (2) | -0,14855 | 0,17045 | 0,07857 |
| | (3) | -0,16175 | 0,10128 | 0,06065 |
| | (4) | -0,05989 | 0,06284 | 0,02908 |
| 2 (3 m x 2 m) | (1) | -0,08878 | 0,06721 | 0,03407 |
| | (2) | -0,13647 | 0,06906 | 0,05537 |
| | (3) | -0,10779 | 0,05918 | 0,04816 |
| | (4) | -0,07960 | 0,05207 | 0,03026 |

A avaliação das estimativas não foi considerada para o modelo (4), pois ele foi desconsiderado por apresentar o intercepto não significativo para $\alpha = 5\%$ (Tabela 2) nos ajustes para os dois talhões. Para os demais modelos, a avaliação das estimativas do volume individual das árvores foi realizada, inicialmente, com a análise dos gráficos 1:1 (Figura 1). Independente do modelo utilizado e do talhão, é possível observar que a abordagem de ajuste misto apresentou valores mais próximos da linha diagonal, indicando melhores estimativas.

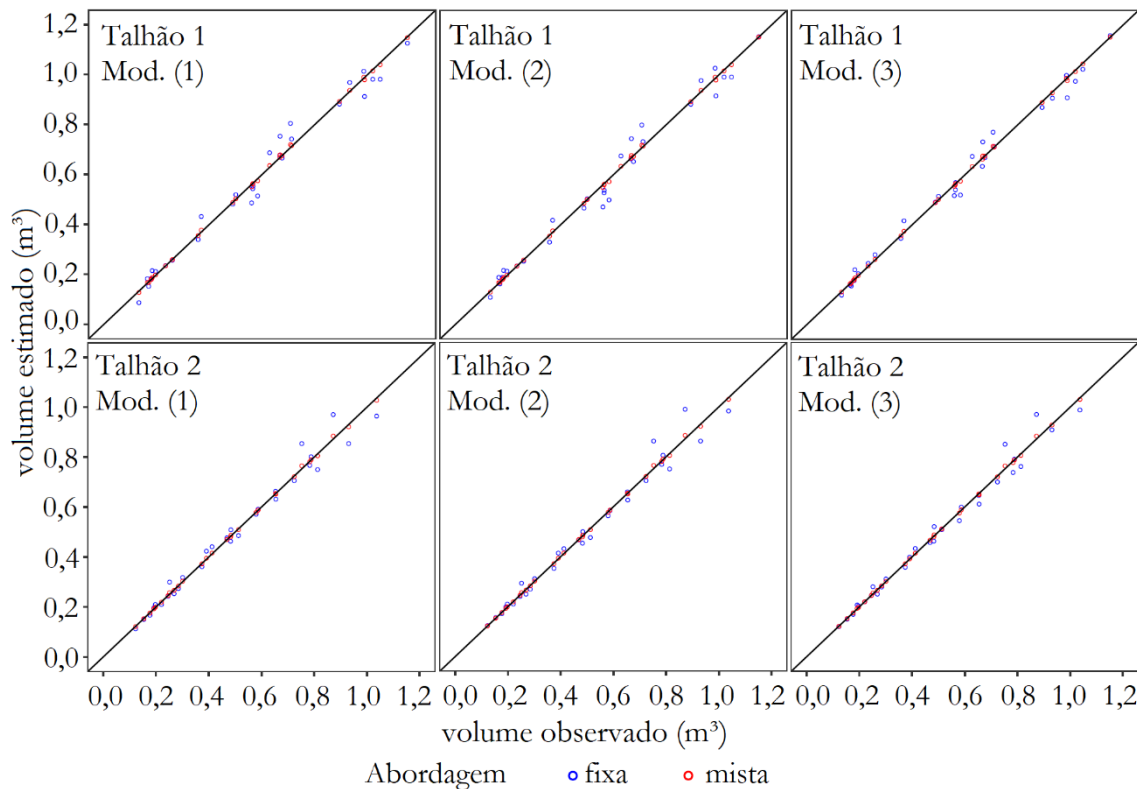


Figura 1. Comportamento dos valores observados de volume individual das árvores (m^3) em relação aos valores estimados pelas equações ajustadas (1), (2) e (3), nos talhões 1 e 2, considerando a abordagem de ajuste de efeitos fixos (em azul) e a abordagem de ajuste de efeitos mistos (em vermelho).

As predições dos modelos (1), (2) e (3), nos dois talhões e considerando as duas abordagens de ajuste, foram avaliadas em relação ao RMSE e MAE (Tabela 4). O modelo de dupla entrada (3) foi superior aos modelos de simples entrada (1 e 2), independente do talhão e da abordagem de ajuste. Nos dois talhões, a abordagem mista apresentou menores valores de RMSE e MAE em comparação à abordagem fixa. Desta forma, a combinação do modelo (3) com a abordagem mista foi selecionada para os dois talhões.

Tabela 4. Estatísticas de avaliação das estimativas das equações ajustadas nos dois talhões, utilizando as duas abordagens de ajuste.

| Talhão | Abordagem de ajuste | Estatísticas | Modelos volumétricos | | |
|------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------|--------|
| | | | (1) | (2) | (3) |
| 1 (4 m x 2 m) | Fixa | RMSE | 0,0429 | 0,0425 | 0,0333 |
| | | MAE | 0,0332 | 0,0330 | 0,0253 |
| | Mista | RMSE | 0,0053 | 0,0053 | 0,0041 |
| | | MAE | 0,0041 | 0,0041 | 0,0031 |
| 2 (3 m x 2 m) | Fixa | RMSE | 0,0382 | 0,0391 | 0,0342 |
| | | MAE | 0,0268 | 0,0264 | 0,0234 |
| | Mista | RMSE | 0,0047 | 0,0047 | 0,0041 |
| | | MAE | 0,0033 | 0,0032 | 0,0029 |

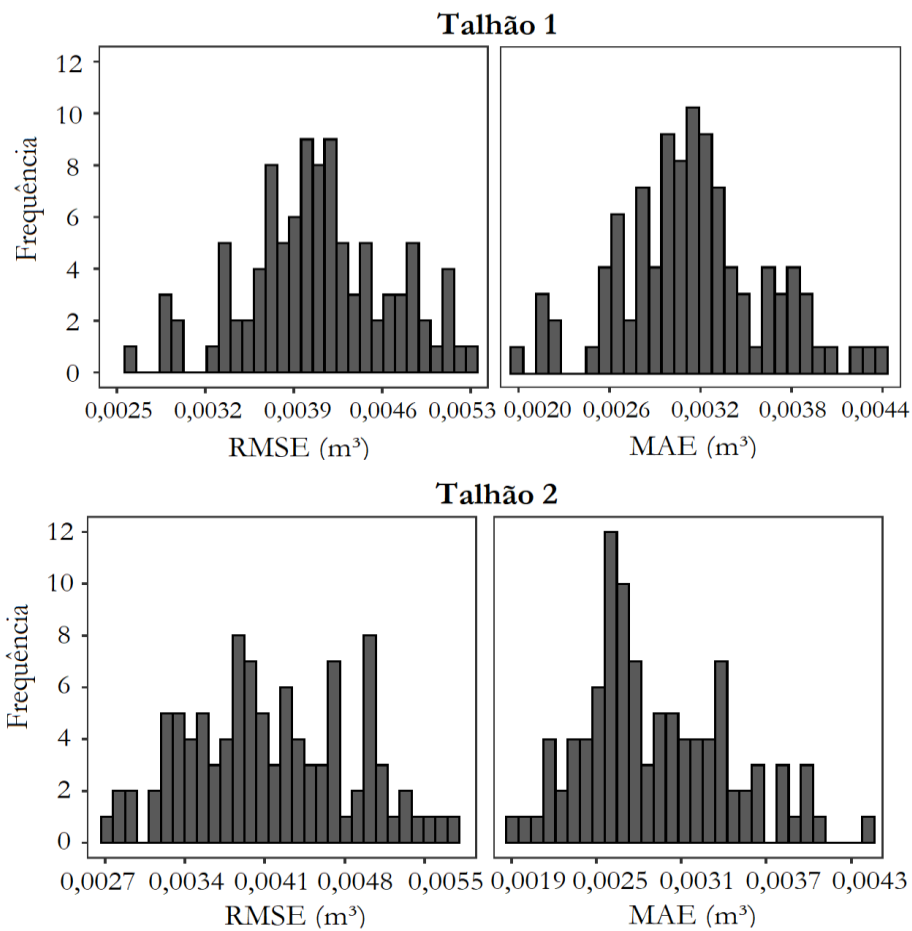


Figura 2. Distribuição amostral das estatísticas MAE e RMSE, considerando 100 amostras aleatórias pelo método *Bootstrap* não paramétrico com reposição.

A validação da equação selecionada nos dois talhões foi realizada com 100 amostras aleatórias pelo método *Bootstrap* não paramétrico com reposição. A distribuição amostral das estatísticas (MAE e RMSE) estão representadas na Figura 2. A validação indicou alta precisão e baixo viés associado às estimativas, uma vez que as estatísticas MAE e RMSE exibiram variabilidade em intervalos de comprimentos curtos.

DISCUSSÃO

Neste estudo, o modelo de dupla entrada apresentou maior acurácia em relação aos de simples. Similarmente, Pertille et al. (2018), estudando povoamentos de *Pinus taeda* em Telêmaco Borba-PR, Brasil, compararam 8 modelos de simples e dupla entrada e concluíram que os modelos de simples entrada foram os que pior se ajustaram a base de dados. Da mesma forma, Sherrill et al. (2011) concluíram que modelos de dupla entrada tiveram maior acurácia nas estimativas de volume de árvores em talhões de *Pinus taeda*, na costa sudoeste dos EUA. A superioridade das equações de dupla entrada em comparação às de simples entrada é esperada, uma vez que duas variáveis (dap e altura total) apresentam maior capacidade de detectar variações da forma no fuste das árvores (Thiersch et al., 2006).

A forma com que estas duas variáveis são arrançadas em um modelo, influencia no desempenho deste modelo, por isso a importância de testar diversos modelos, considerando as diferentes realidades do contexto florestal. Assim, o melhor modelo para descrever a variável resposta volume varia com as diversas situações e campo, tais como tratos silviculturais, material genético, e variáveis edafoclimáticas (Machado et al., 2002, Pelissari et al., 2011; Silvestre et al., 2014, Cardoso et al., 2013). Por exemplo, Silvestre et al. (2014) testaram 33 modelos para descrever o volume de um povoamento de *Pinus taeda* em Lajes-SC, Brasil, e selecionaram 5 (Prodan I, Stoate (Deusen 1981), Meyer (compreensiva), Näslund (Spruce) e Takata). Keller et al. (2006) testaram os modelos de Prodan modificado, Schumacher e Hall, Spurr logaritmizado, Stoate, Näslund e Meyerusaram e selecionaram o modelo de Prodan para descrever o volume de *Pinus taeda* na Argentina. No caso deste estudo, o modelo de Spurr foi descartado devido ao fato do intercepto não ser significativo, considerando um nível de significância de 5 %. Entretanto, o modelo de Spurr foi o que melhor se ajustou aos dados de *Pinus taeda* para povoamentos nos EUA (Sherrill et al., 2011) e em Cidreira-RS, Brasil (Mazzonetto et al., 2012) entre 5 modelos testados.

No presente estudo, o melhor modelo foi o de Schumacher e Hall. A forma logaritmizada deste modelo tem apresentado grande aceitação por diversos estudos (Campos et al., 2013), já que a logaritmização reduz a heterogeneidade da variância dos volumes (Dacosta 2008). Por exemplo, Dacosta (2008) testaram 8 modelos para ajustar dados de volume para *Pinus taeda* na Argentina e concluíram que Schumacher e Hall foi o melhor. Thomas et al. (2006) também selecionaram Schumacher e Hall entre 9 modelos testados para descrever o volume total, com e sem casca, de um povoamento de *Pinus taeda* em Ponte Alta do Norte-SC, Brasil. Pertille et al. (2018) testaram 8 equações e também concluíram que Schumacher e Hall foi o melhor modelo para descrever o volume de árvore de *Pinus taeda* em povoamentos com diferentes idades, em Telêmaco Borba-PR, Brasil. Rodrigues et al. (2017) testaram 6 equações para povoamentos de *Pinus taeda* em Quedas do Iguaçu-PR, Brasil, e também concluíram que o melhor modelo volumétrico foi o de Schumacher e Hall e que uma única equação representou bem talhões de idade entre 7 e 10 anos.

O fato de que o modelo de Schumacher e Hall tenha sido apontado como o melhor modelo neste estudo e em vários outros, não significa que melhorias não possam ser introduzidas. Neste estudo, a

modelagem mista utilizando o modelo de Schumacher e Hall foi testada pela primeira vez em talhões de *Pinus taeda* com espaçamentos de 4 m x 2 m e 3 m x 2 m no estado do Paraná, Brasil. A técnica da modelagem mista garante generalidade e precisão, de forma simultânea, aumentando a flexibilidade do modelo e trazendo ganho à acurácia das estimativas.

A busca por técnicas que melhorem a modelagem de *Pinus taeda* é muito importante, devido à significativa participação atual da espécie no cenário nacional e internacional. Com as mudanças climáticas, uma melhor modelagem se torna crucial, haja visto que os plantios de *Pinus taeda* estarão ainda mais sujeitos às intempéries climáticas. É previsto que as temperaturas aumentem e eventos de seca sejam mais comuns (Lyra et al. 2018; Dubreuil, 2019). Desta forma, modelos mais precisos poderão auxiliar em programas de melhoramento genético buscando selecionar indivíduos mais adaptados à tais condições climáticas.

CONCLUSÃO

Neste estudo, conclui-se que o modelo de dupla entrada de Schumacher e Hall foi o mais acurado entre os quatro testados para estimar volume de árvores da espécie *Pinus taeda*, plantadas nos espaçamentos 4 m x 2 m e 3 m x 2 m. Além disso, concluiu-se que a abordagem de ajuste de efeitos mistos proporcionou ganhos significativos em acurácia das estimativas em comparação à abordagem tradicional que considera somente o ajuste de efeitos fixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida MRD et al. (2020) Ajuste e seleção de modelos volumétricos de espécies comerciais no município de Ipixuna (PA). Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 13(1): 259-278.
- Alvares CA et al. (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6): 711-728.
- Bronisz K et al. (2020) Mixed-effects generalized height–diameter model for young silver birch stands on post-agricultural lands. Forest Ecology and Management, 460: 117901.
- Campos JC et al. (2013) Mensuração Florestal: perguntas e respostas. 4 ed. Viçosa: UFV. 305p.
- Cardoso DJ et al. (2013). Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. Forest Ecology and management, 310: 761-769.
- Curto RA et al. (2019) Cubagem de árvores em pé com dendrômetro óptico em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Pesquisa florestal brasileira, 39: 1-11, e201801646.
- Dacosta LPE (2008) Relações biométricas em povoamento jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, República Argentina. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria (Tese), Santa Maria. 128p.


- Dubreuil V et al. (2019). Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. *International Journal of Climatology*, 39(3): 1446-1456.
- Efron B (1982) *The jackknife, the bootstrap and other resampling plans*. Philadelphia, Penn.: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Freire J et al. (2003) Equação de volume local para a *Pinus pinaster* Aiton na Serra da Lousã. *Silva Lusitana*, Lisboa, 11(2): 207-215.
- Hall KB et al. (2019) A Growth and Yield Model for *Eucalyptus benthamii* in the Southeastern United States. *Forest Science*, 1(1): 1-13.
- IBÁ (2019). Indústria Brasileira de Árvores. Relatório da IBÁ 2019, ano base 2018.
- IBÁ (2020). Indústria Brasileira de Árvores. Relatório da IBÁ 2020, ano base 2019.
- IBGE (2021) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/irati/panorama>.
- Keller A et al. (2006) Estimación del volumen con corteza de árboles individuales de *Pinus taeda* L. para las zonas alta y norte de la Provincia de Misiones, Argentina. *Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*, 1-11.
- Lyra A et al. (2018) Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical and applied climatology*, 132(1): 663-682.
- Machado SA et al. (2005) Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbastes. *Boletim da Pesquisa Florestal*, 50: 81-98.
- Machado AS et al. (2002) Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 4(2): 185-197.
- Marchiori JNC (2005) *Dendrologia das gimnospermas*. 2 ed. Santa Maria: UFSM.
- Mazzonetto CR et al. (2012) Avaliação de modelos na estimativa de volume de *Pinus taeda* Loblolly Pine. In: Congresso Florestal Estadual do RS e 2º Seminário Mercosul da Cadeia Madeira. Nova Prata: UFSM/DCFL, 562-567.
- Nicoletti MF et al. (2015) Metodologia não destrutiva para quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. *Nativa*, 3(2): 287-291.
- Oliveira XM et al. (2018) Volume equations for *Khaya ivorensis* A. Chev. plantations in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4): 3285-3298.
- Pelissari AL et al. (2011) Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 31(67): 173-173.
- Pertille CT et al. (2018). Volume prediction through form factor and regression models by age class for *Pinus taeda* L. *Advances in Forestry Science*, 5(3): 431-436.
- Pinheiro J et al. (2016). *Nlme: Linear and nonlinear mixed effects models*. Disponível em: <https://cran.rproject.org/web/packages/nlme/nlme.pdf>


- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em <https://www.R-project.org/>.
- Rodrigues CK et al. (2017). Identidade de modelos hipsométricos e volumétricos de povoamentos de *Pinus* com diferentes idades submetidos ao desbaste mecanizado. *Biofix Scientific Journal*, 2(1): 54-59.
- Santos RMM (2019) Modelos de volume e afilamento para florestas de *Pinus taeda* L. *Biofix Scientific Journal*, 4(1): 35-42.
- Scolforo HF et al. (2018) Comparison of taper functions applied to eucalypts of varying genetics in Brazil: Application and evaluation of the penalized mixed spline approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 1: cjfr-2017-0366.
- Sharma M et al. (2007) Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 249(3): 187-198.
- Sherrill JR et al. (2011). Total and merchantable stem volume equations for midrotation loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Southern Journal of Applied Forestry*, 35(3): 105-108.
- Shimizu J et al. (2018) Esforço cooperativo para suporte à silvicultura de pinus no Brasil. In: Encontro Brasileiro De Silvicultura, Brasília, DF.
- Silva LF et al. (2016) Equações hipsométricas volumétricas e de crescimento para *Khaya ivorensis* plantada em Pirapora. *Floresta e Ambiente*, 23(3): 362-368.
- Silva JAA et al. (2000) Modelagem volumétrica de *Pinus elliottii* Engelm., no Planalto do Estado de Santa Catarina. *Revista Árvore*, 24(1): 91-96.
- Silvestre R et al. (2014). Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Lages-SC. *Nativa*, 2(1): 1-5.
- Soares CPB et al. (2011) Dendrometria e inventário florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV. 272p.
- Stefanello FR et al. (2021) Preussner functions for volume estimation of *Pinus taeda* L. in Southern Brazil. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 51(4): 1-25.
- Thiersch CR et al. (2006) Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, 12 (2): 167-181.
- Thomas C et al. (2006) Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16(3): 319-327.
- Vendruscolo DGS et al. (2014) Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. *Enciclopédia Biosfera*, 10(19): 1333-1341.
- Wickham H (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>.

Substratos para a produção de mudas de coentro (*Coriandrum sativum* L. cv. Português)

Recebido em: 29/06/2021

Aceito em: 02/07/2021

 10.46420/9786588319796cap3

Alan Mario Zuffo^{1*} 

Jorge González Aguilera² 

Rafael Felipe Ratke² 

INTRODUÇÃO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma hortaliça herbácea que tem importância socioeconômica; especialmente para a horticultura do Norte e Nordeste do país (Silva et al., 2012). Para o cultivo dessa hortaliça, uma das fases mais importante é a produção de mudas com qualidade para promover plantas vigorosas. Assim, a escolha do substrato tem influência no desenvolvimento e na qualidade das mudas de coentro.

Os substratos alteram as propriedades físico-químicas, como o teor de matéria orgânica no solo, a disponibilidade de nutrientes e retenção de água, eleva a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions, melhora a atividade dos microrganismos (Cyle et al., 2016; Jaeggi et al., 2019), e assim promover um melhor desenvolvimento e qualidade das mudas.

O uso de substratos orgânicos formulados com resíduos de abelhas tem proporcionado mudas com maior qualidade nas culturas da alface (*Lactuca sativa* L.) (Zuffo et al., 2020a), do maracujá cv. BRS Pérola do Cerrado (*Passiflora setacea*) (Zuffo et al., 2020b) e da pimenta biquinho (*Capsicum chinense* Jacq) (Zuffo et al., 2020c).

Assim, o objetivo foi avaliar o desenvolvimento de mudas de coentro (*Coriandrum sativum* L. cv. Português) com substratos orgânicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus de Chapadão do Sul – MS (18° 47' 39" S 52° 37' 22" W e altitude média de 790 m), no período de 10/08/2019 à 06/10/2019.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm,

¹ Editor chefe da Pantanal Editora.

² Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Departamento de Agronomia, 79560-000, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

* Autor correspondente: alan_zuffo@hotmail.com

23,97 °C, 64,23%, respectivamente. A temperatura e a umidade relativa do ar e a temperatura dos substratos foram monitoradas diariamente com o auxílio de um thermo-higromêtro digital (modelo ITHT 2250, Instrutemp[®]), sendo a coleta de dados realizadas no interior da casa de vegetação às 15h horas (Figura 1). A temperatura média dos substratos foi de 24 ± 1 °C.

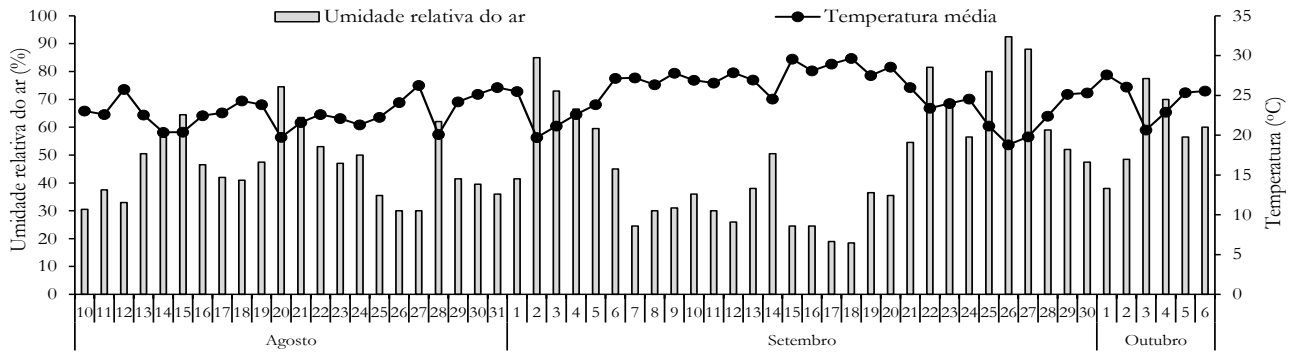


Figura 1. Variáveis climatológicas registradas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul – MS, 2019.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram as combinações de ninhos de abelha (NA) e substrato comercial Click[®] (SC), misturados em proporções volumétricas (S1=NA_{100%}SC_{0%}, S2=NA_{80%}SC_{20%}, S3=NA_{60%}SC_{40%}, S4=NA_{40%}SC_{60%}, S5=NA_{20%}SC_{80%} e S6=NA_{0%}SC_{100%}). Sementes comerciais (TOPSEED) de coentro (*Coriandrum sativum* L. cv. Português) foram utilizadas. A unidade experimental foi 30 células em bandejas de isopor contendo 200 células (674 mm de comprimento, 343 mm de largura e 54 mm de altura). Três sementes foram semeadas por célula a uma profundidade de ± 1 cm. O desbaste foi realizado após a estabilização da emergência, deixando uma plântula por célula. A composição física e química do substrato foi realizada (Tabela 1).

Aos 56 dias após a semeadura foram determinados em 10 mudas centrais por parcela: altura de plantas – mensurado da base até o ápice da planta com auxílio de régua; diâmetro do colo - mensurado na altura do colo da planta por meio de leituras com utilização de um paquímetro digital (Clarke-150 mm), com grau de acurácia de $\pm 0,01$ mm; número de folhas - por meio de contagem visual; comprimento da raiz principal (cm) - denominada de raiz pivotante, com uma régua milimetrada. As plantas foram separadas em parte aérea e sistema radicular, acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa de circulação forçada por 72 horas a 60 °C, para a determinação da massa seca de raízes (MSR - mg) e parte aérea (MSA - mg). A partir dessas avaliações determinou-se a massa seca total (MST - mg).

Tabela 1. Características físicas e químicas de ninho de abelha (NA) e do substrato comercial (SC) utilizados no estudo.

| Características | NA | SC |
|--|-----------|-----------|
| pH em CaCl ₂ | 4,90 | 4,60 |
| Matéria orgânica (g dm ⁻³) | 451,10 | 114,40 |
| Carbono orgânico (g dm ⁻³) | 261,70 | 66,40 |
| CTC (cmol _c) | 27,30 | 13,60 |
| Saturação de bases (%) | 65,30 | 57,50 |
| Fósforo - <i>mellich</i> (cmol _c dm ⁻³) | 144,00 | 115,00 |
| Potássio (cmol _c dm ⁻³) | 1,34 | 1,64 |
| Cálcio (cmol _c dm ⁻³) | 10,30 | 4,80 |
| Magnésio (cmol _c dm ⁻³) | 1,00 | 1,40 |
| Enxofre (mg dm ⁻³) | 26,00 | 9,60 |
| Boro (mg dm ⁻³) | 1,12 | 0,18 |
| Cobre (g kg ⁻¹) | 0,50 | 1,60 |
| Ferro (g kg ⁻¹) | 39,00 | 266,00 |
| Manganês (g kg ⁻¹) | 62,90 | 40,80 |
| Zinco (g kg ⁻¹) | 11,70 | 4,50 |
| Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹) | 0,32 | 0,50 |
| Umidade (%) | 62,00 | 58,00 |
| Capacidade de retenção de água (%) | 50,00 | 90,00 |
| Densidade (kg/m ³) | 0,52 | 0,31 |
| Porosidade (%) | 61,00 | 77,00 |

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando significativas, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott Knott em 5% de probabilidade. Correlações estatísticas baseadas em redes de correlação de Pearson (limiar definido em 0,6 e valores de $p < 0,05$) foram realizadas entre as diferentes características morfológicas de mudas de coentro em função do uso de substratos alternativos. A rede de correlação foi utilizada para ilustrar graficamente as análises de correlação de Pearson, nas quais a proximidade entre os nós é proporcional aos valores absolutos de correlação entre os traços morfológicos. A espessura relativa e a densidade da cor das bandas indicam a força dos coeficientes de correlação de Pearson e a cor de cada banda indica uma correlação positiva ou negativa - vermelho para

negativo e verde para positivo. Essas análises foram realizadas no software Rbio versão 140 para Windows (Software Rbio, UFV, Viçosa, MG, BRA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados da análise de variância foi observado efeitos significativos dos substratos ($P < 0,05$) para todas as características avaliadas (Tabela 2). Portanto, o substrato interfere no desenvolvimento inicial das mudas de coentro.

Tabela 2. Análise de variância para os caracteres avaliados durante a produção de mudas de coentro em função do uso de substratos alternativos.

| Fonte de variação | Probabilidade > F | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | AP | DC | NF | CR | MSA | MSR | MST |
| Substrato | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| CV (%) | 21,80 | 9,68 | 8,51 | 11,79 | 10,08 | 11,30 | 10,63 |

AP: altura de plantas. DC: Diâmetro do colo. NF: Número de folhas. CR: Comprimento radicular. MSA: Massa seca área. MSR: Massa seca radicular. MST: Massa seca total.

As maiores alturas de plantas das mudas foram observadas nos substratos S1 (NA_{100%}SC_{0%}), S2 (NA_{80%}SC_{20%}) e S3 (NA_{60%}SC_{40%}) (Figura 2a). Já para o diâmetro do coleto e comprimento radicular, verificou-se maiores desenvolvimento nessas variáveis em plantas cultivadas nos substratos S1 (NA_{100%}SC_{0%}) e S2 (NA_{80%}SC_{20%}) (Figura 2b e 2d). Contudo, para o comprimento radicular não houve diferença estatísticas com os substratos S5 (NA_{20%}SC_{80%}) e S6 (NA_{0%}SC_{100%}).

De maneira geral, para as variáveis número de folhas, massa seca aérea, massa seca radicular e massa seca total (Figura 2c, Figura 2e, Figura 2f, Figura 2g) o substrato S1 (NA_{100%}SC_{0%}) teve maior destaque, diferenciando-se ($P < 0,05$) do restante dos substratos empregados. Zuffo et al. (2020a) também observaram que o substrato composto por 100% de resíduos de abelha foi o mais adequado para a produção de mudas de alface, que culminou em maiores índice de velocidade, comprimento da raiz, número de folhas, massa seca da parte aérea e massa seca total. Zuffo et al. (2020b) verificaram que o substrato consistindo de 100% de material de ninho de abelha deve ser recomendado para a produção de marujá cv. BRS Pérola do Cerrado, para melhorar o desenvolvimento das plantas e proporcionar mudas de melhor qualidade. Zuffo et al. (2020c) observaram que o substrato com 100% de material de ninho de abelha culminou em melhorias no desenvolvimento de mudas de pimenta biquinho.

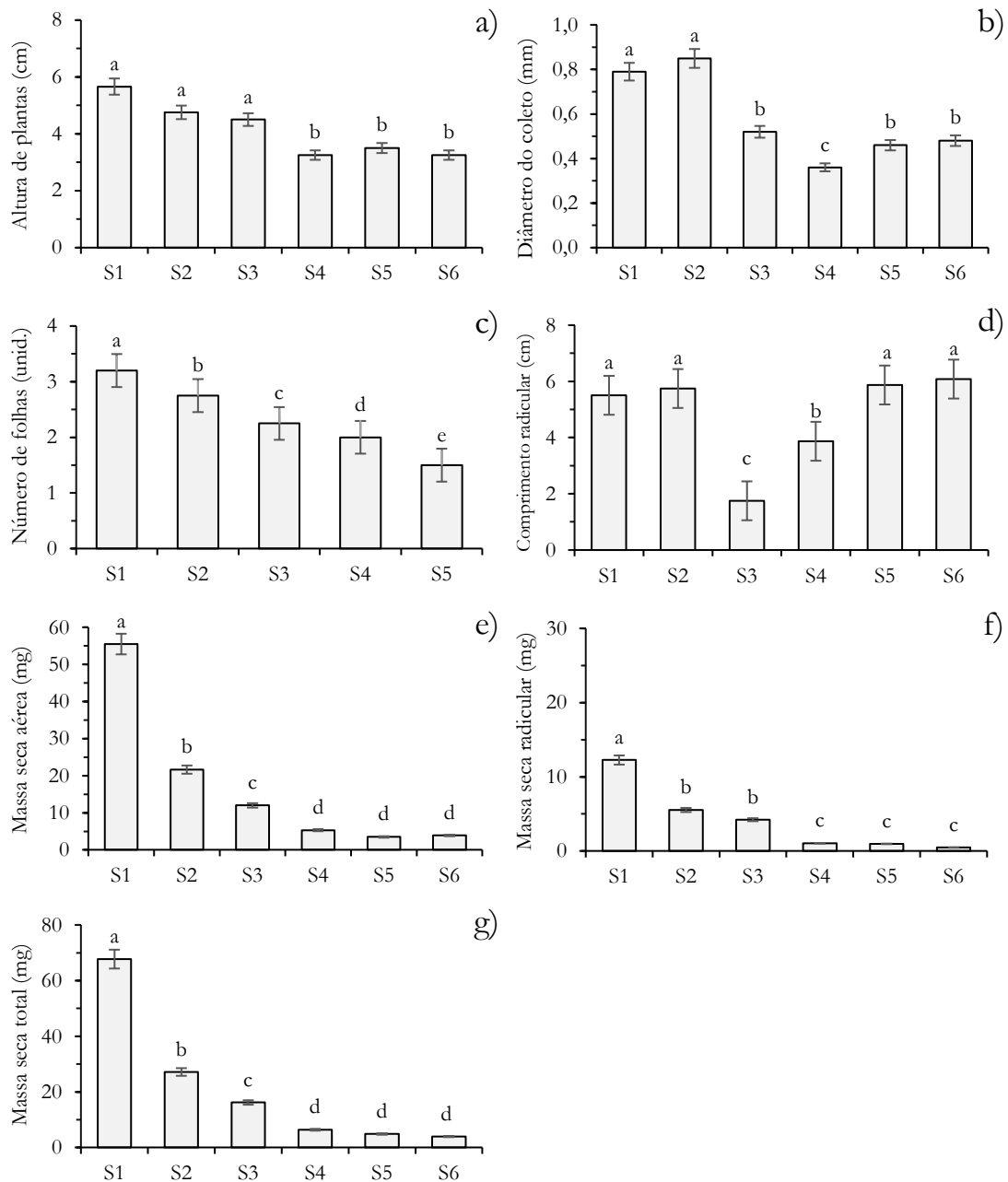


Figura 2. Valores médios para os caracteres avaliados durante a produção de mudas de coentro em função do uso de substratos alternativos. Letras iguais minúsculas nas colunas pertencem ao mesmo grupo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott; (S1=NA_{100%}SC_{0%}, S2=NA_{80%}SC_{20%}, S3=NA_{60%}SC_{40%}, S4=NA_{40%}SC_{60%}, S5=NA_{20%}SC_{80%} e S6=NA_{0%}SC_{100%}). NA= Ninho de abelha; SC= substrato comercial Click[®].

Esses resultados estão relacionados as propriedades físico-químicas do substrato. Uma característica relevante dos substratos é o teor de matéria orgânica (Tabela 1), pois melhora as características químicas, físicas e biológicas do solo, criando um ambiente adequado para o desenvolvimento radicular e da planta como um todo, além de aumentar significativamente a CTC que está relacionada com capacidade de retenção de cátions que ficarão disponíveis para as plantas (Costa et al., 2013).

Os maiores valores das características químicas e físicas dos compostos serem observadas no resíduo de ninho de abelha (Tabela 1), por isso, esse substrato promoveu maior desenvolvimento das mudas de coentro. Para Zuffo et al. (2020c) o uso do substrato formulado com apenas ninhos de abelha, proporciona mudas de qualidade e reduz os custos de produção, pois é um material de fácil acesso.

De acordo com a rede de correlação, observa-se que a massa seca total das plantas tem uma forte correlação positiva e significativa com as variáveis altura de plantas, comprimento radicular, massa seca radicular, massa seca da parte aérea e diâmetro do coleto (Figura 3).

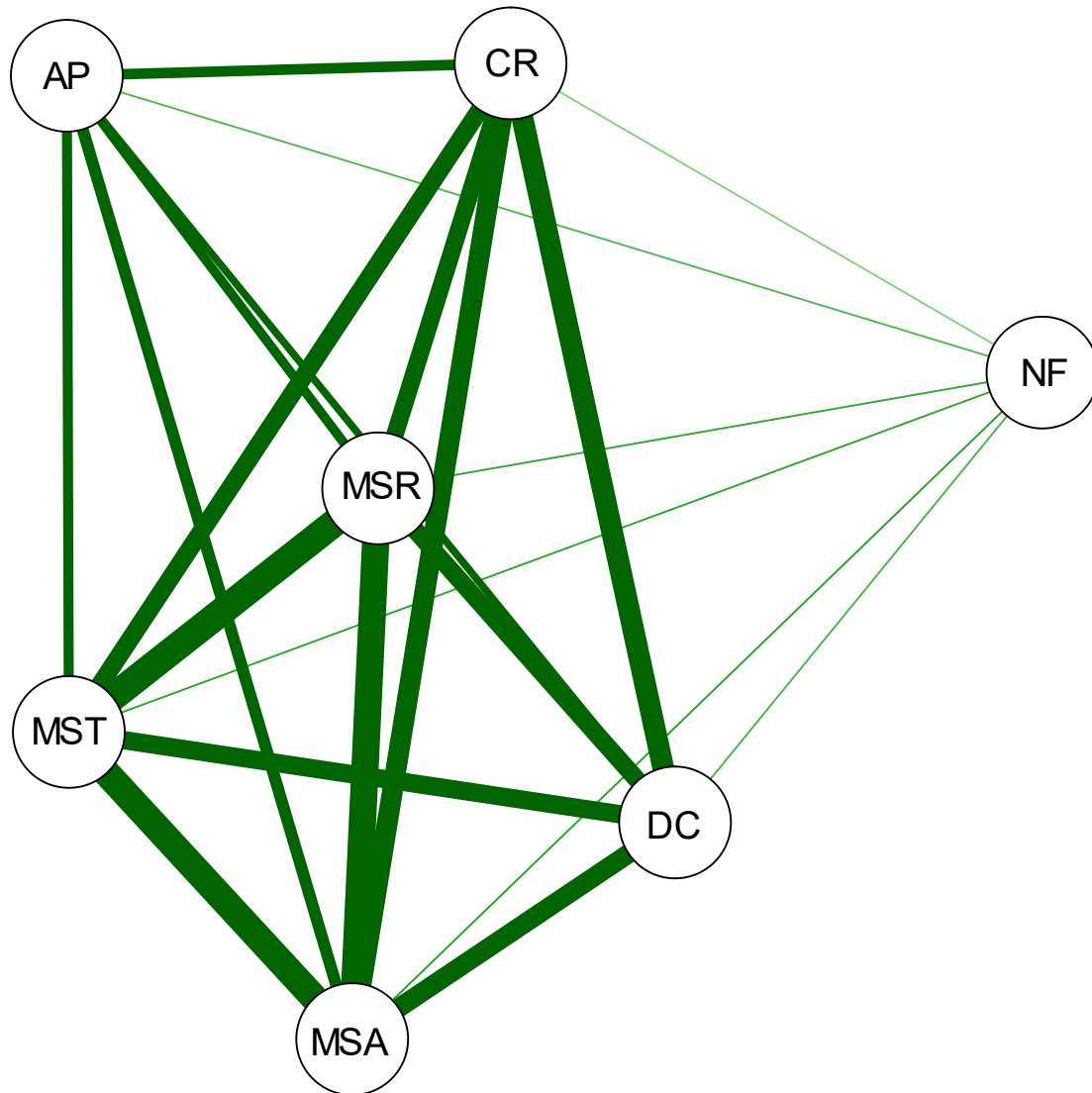


Figura 3. Redes de correlação ilustrando as correlações de Pearson mais significativas entre as características morfológicas de mudas de coentro em função do uso de substratos alternativos. As linhas mais grossas e verde representam as correlações positivas mais altas (limite definido em 0,6 e valores de $p < 0,05$). Abreviações: AP: altura de plantas. DC: Diâmetro do colo. NF: Número de folhas. CR: Comprimento radicular. MSA: Massa seca área. MSR: Massa seca radicular. MST: Massa seca total.

CONCLUSÃO

O substrato S1 (NA_{100%}SC_{0%}) proporciona maior qualidade de mudas de coentro *Coriandrum sativum* L.) cv. Português, conforme constatado nas variáveis altura de plantas, diâmetro do colo, número de folhas, comprimento radicular, massa seca área, massa seca radicular, massa seca total.


REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Costa EM et al. (2013). Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopédia Biosfera*, 9(17): 1842–1860.
- Cyle KT et al. (2016). Substrate quality influences organic matter accumulation in the soil silt and clay fraction. *Soil Biology and Biochemistry*, 103: 138-148.
- Jaeggi MEPC et al. (2019). Vegetative Development of Radish Seedlings in Different Organic Substrates. *Journal of Experimental Agriculture International*, 41(6): 1-8.
- Silva MAD et al. (2012). Vigor de sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) provenientes de sistemas orgânico e convencional. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 14: 192-196.
- Zuffo AM et al. (2020a). Substrates for the production of lettuce seedlings. *European Journal of Horticultural Science*, 85(5): 372–379.
- Zuffo AM et al. (2020b). Substrates for the Production of *Passiflora setacea* cv. BRS Pérola do Cerrado Seedlings. *Communications in soil science and plant analysis*, 51(15): 2102-2109.
- Zuffo AM et al. (2020c). Substratos alternativo para a produção de mudas de *Capsicum chinense* Jacq. *Research, Society and Development*, 9(8): e525985792.

Correlações e análise de trilha na qualidade de sementes de soja oriundas de plantas cultivadas em solos com diferentes níveis de fertilidade nitrogenada


Recebido em: 01/07/2021

Aceito em: 05/07/2021

 10.46420/9786588319796cap4

Alan Mario Zuffo^{1*} 

Rafael Felipe Ratke² 

Jorge González Aguilera² 

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] destaca-se no cenário mundial por sua importância na economia agrícola. Dessa forma, a produção de sementes com qualidade é imprescindível para o estabelecimento das lavouras (Zuffo et al., 2017a). O estabelecimento da cultura depende da nutrição mineral adequada, fator essencial para a formação e desenvolvimento das plantas, e conseqüentemente, a produção de sementes com alta qualidade fisiológica e vigor (Carvalho et al., 2012). Assim, o uso de fertilizantes durante o cultivo nos campos de produção é uma alternativa para produzir sementes de alta qualidade (Toledo et al., 2009), a exemplo a adubação complementar com nitrogênio (N).

O N destaca-se entre os nutrientes essenciais às plantas, por sua importância no metabolismo e por ser constituinte fundamental de proteínas e compostos orgânicos (Abrantes et al., 2010). Para Carvalho et al. (2012) o N pode influenciar a qualidade fisiológica das sementes, mas, os efeitos variam, dependendo do ambiente condições e estágio de desenvolvimento da planta durante onde ocorre a aplicação do fertilizante.

Há diversos testes de sementes a fim de avaliar a qualidade dos lotes de sementes de soja, entre eles, a primeira contagem do teste de germinação, a porcentagem de germinação, o teste de tetrazólio vigor e viabilidade, a condutividade elétrica, o envelhecimento acelerado, a emergência e o índice de velocidade de emergência, entre outros. Desses testes, o índice de velocidade de emergência descrito por Maguire (1962) é apontando com uma excelente avaliação para avaliar o vigor. Dessa forma, avaliar a correlação dos demais testes com o índice de velocidade de emergência pode aumentar a eficiência na seleção indireta de um lote com qualidade de sementes com alto vigor por meio do uso de caracteres correlacionados. Todavia, elas indicam apenas a presença ou não de uma associação, seja essa positiva ou negativa, entre duas características, a intensidade, e a relação linear ou não linear entre elas (Charnet et

¹ Editor chefe da Pantanal Editora.

² Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Departamento de Agronomia, 79560-000, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

* Autor correspondente: alan_zuffo@hotmail.com

al., 2008), o que impossibilita o conhecimento de qual tipo de associação existe entre os caracteres analisados (Gonçalves et al., 2003).

Diante da complexidade de compreender os fatores que afetam a qualidade das sementes de soja, deve-se considerar a análise de trilha que ajuda a conhecer ou desvendar as relações entre as variáveis, pois a correlação alta ou baixa entre dois caracteres pode ser decorrente do efeito indireto de um terceiro caractere sobre eles ou de um grupo de caracteres (Nogueira et al., 2012; Zuffo et al., 2017b). Além disso, possibilita dividir os coeficientes de correlação nos efeitos diretos e indiretos em uma variável básica, obtendo-se as estimativas por meio de equações de regressão e nas quais as variáveis são previamente padronizadas (Alcântara Neto et al., 2011; Mahapatra et al., 2020).

Assim, objetivou-se com o presente estudo determinar por meio da análise de trilha, a correlação dos testes de qualidade de sementes com o índice de velocidade de emergência. As sementes de soja foram oriundas de plantas cultivadas em solos com diferentes níveis de fertilidade nitrogenada.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de soja foram oriundas das plantas da área experimental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS, em Chapadão do Sul, MS, Brasil (18°46'17,9 Sul; 52°37'25,0" Oeste e altitude média de 810 m), cultivada durante a safra 2018/2019. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm; 23,97 °C e 64,23%, respectivamente.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho baseado no Sistema Brasileiro de Classificação do solo (Santos, 2018). Antes de iniciar o experimento, o solo foi amostrado na camada 0-0,20 m e as principais propriedades químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais propriedades químicas do solo utilizado no experimento.

| pH | MO | P _{Mehlich} ⁻¹ | H+Al | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | CTC | V |
|-------------------|--------------------|------------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------------------------|----------------|-----|------|
| CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | ----- | | | cmol _c dm ⁻³ | ----- | | % |
| 4,8 | 23,2 | 8,6 | 3,5 | 0,02 | 3,10 | 1,80 | 0,29 | 8,7 | 59,8 |

MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cátions à pH 7,0. V: Saturação de bases.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, disposto em esquema fatorial 2 × 5, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por duas fontes de nitrogênio (ureia: 45% de N e sulfato de amônio: 21% de N) e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicados no pleno florescimento (estádio R₂). Cada unidade experimental foi constituída por sete fileiras espaçadas em 0,45 m entre si e com 5 m de comprimento, totalizando 15,75 m². Como área útil,

foram consideradas as três linhas centrais, tendo-se desprezado 1 m em cada extremidade, perfazendo uma área de 4,05 m². Para a aplicação dos tratamentos, foram realizadas distribuições manuais a lanço.

A cultura da soja cultivar BRASMAX BONÛS IPRO (hábito de crescimento indeterminado, ciclo de 114 a 121 dias, grupo de maturação 7,9) foi semeada no dia 4 de outubro de 2018 mecanicamente por meio de semeadora-adubadora, com mecanismo sulcador tipo haste (facão), para SPD, a uma profundidade de aproximadamente três cm, com espaçamento de 0,45 cm e 13 sementes por metro, para atingir estande final de 24.000 a 28.000 plantas por hectare. A adubação de base foi constituída de 150 kg ha⁻¹ de MAP (11% de N-amoniaco e 52% de P₂O₅). A adubação de cobertura foi 100 kg ha⁻¹ de K₂O, cuja fonte foi o cloreto de potássio aos 40 dias após a emergência (DAE). Aos 40 DAE realizou-se a aplicação de adubação foliar dos produtos Actilase ZM (Zn 50,22 g L⁻¹; S 41,65 g L⁻¹; Mn 30,01 g L⁻¹) e Racine (Mo 108,75 g L⁻¹; Co 10,88 g L⁻¹; Carbono total 123,25 g L⁻¹) nas doses de 1 L ha⁻¹ e 120 mL por ha⁻¹, respectivamente.

As sementes de soja foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top[®]) na dose de 2 mL p.c. kg⁻¹ de semente, foram inoculadas com *B. japonicum*, utilizou-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja[®] (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 x 10⁹ células viáveis por mL), na dose de 150 mL para 50 kg de sementes.

Durante o desenvolvimento das plantas, para o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados os produtos: glifosato, haloxifope-p-metílico, piraclostrobina + epoxiconazol, picoxistrobina+ benzovindiflupir, mancozeb, azoxistrobina + ciproconazole, teflubenzurom, clorpirifós, cipermetrina e imidacloprido + beta-ciflutrina.

A colheita de soja foi realizada manualmente no estágio fenológico R₈ (quando 95% das vagens ter a coloração típica de vagens maduras). Depois de colheita, as sementes foram secas ao ar à temperatura ambiente, por 48 h, e então as sementes foram extraídas à mão e passou por peneiras com furos redondos (buraco diâmetro de 6,0 mm). A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada, usando os seguintes testes: primeira contagem de germinação, germinação, índice de velocidade de emergência, emergência, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e tetrazólio, com quatro repetições.

Os testes de germinação e primeira contagem foram conduzidos simultaneamente com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, dispostas em rolos de papel germitest umedecidos com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato não hidratado. As avaliações consistiram na porcentagem de plântulas normais obtidas no quinto e oitavo dia após a instalação do teste (Brasil, 2009). Juntamente aos testes descritos acima, efetuou-se o índice de velocidade de germinação

No teste de envelhecimento acelerado quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento as sementes foram distribuídas sobre tela suspensa no interior de caixas plásticas (11x11x3,0cm) tipo gerbox, contendo 40 mL de água destilada, mantidas a 41 °C por 48 horas (Marcos Filho, 1999). Após esse

período, foi instalado o teste de germinação, conforme descrito anteriormente, com a avaliação de plântulas normais no quinto dia após a instalação do teste.

No teste de condutividade elétrica, as sementes foram pesadas e colocadas em copos plásticos contendo 75 mL de água destilada, mantidas a 25 °C. Após 24 horas, foi efetuada a leitura da condutividade elétrica por meio de condutivímetro, expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Marcos Filho et al., 2009).

Para o teste de tetrazólio, foram utilizadas duas sub-amostras de 50 sementes por tratamento. O pré-condicionamento foi realizado em rolos de papel germitest, umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato não hidratado, mantidos em germinador por 24 horas a 25 °C. Posteriormente, as sementes foram colocadas em copos plásticos contendo solução de 0,075% de 2,3,5 – cloreto trifenil tetrazólio, mantidos em câmara escura regulada a 35 °C durante 3 horas (França Neto et al., 1998). Ao final, as sementes foram lavadas em água corrente e avaliadas individualmente, levando em consideração a intensidade e consistência da coloração do tecido usando microscópio estereoscópico. As sementes foram classificadas como viáveis e não viáveis, de acordo com a coloração do embrião, computando-se a porcentagem de viabilidade (Brasil, 2009).

A emergência foi realizada em casa de vegetação, utilizando quatro repetições de 25 sementes semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, contendo substrato comercial, com duas irrigações diárias. A contagem de plântulas emergidas foi realizada diariamente até o décimo dia após a semeadura, e então, foi aferido o índice de velocidade de emergência (Maguire, 1962).

Os dados experimentais foram submetidos aos testes de verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade. Em seguida, procedeu-se a análise de trilha, verificando os efeitos diretos e indiretos sobre o índice de velocidade de emergência de acordo com o método proposto por Wright (1921). Antes da análise de trilha, foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade, conforme Cruz et al. (1997). O grau de multicolinearidade da matriz de correlações, entre as variáveis independentes do modelo de regressão, foi estabelecido com base em seu número de condições, que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação fenotípica. Assim, quando o número de condições é menor que 100, a multicolinearidade é fraca e não ocasiona problema para a análise; quando se situa entre 100 e 1.000, a multicolinearidade é de moderada a forte; e quando é maior que 1.000, a multicolinearidade é severa (Montgomery et al., 2006). As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software Genes versão 5.1 para Windows (software GENES, UFV, Viçosa, MG, BRA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A associação entre características agrônômicas é importante pois permite verificar o grau de interferência de uma característica sobre outra de interesse econômico, bem como praticar a seleção indireta (Zuffo et al., 2016). Sendo que, as estimativas de coeficiente de correlação positivas indicam a tendência de uma variável aumentar quando a outra aumenta (Nogueira et al., 2012).

De acordo com a rede de correlação de Pearson, observa-se que o índice de velocidade de emergência tem uma forte correlação positiva e significativa com a variável emergência (Figura 1). Esse fato, é devido no cálculo desse índice leva em conta as plântulas emergidas diariamente conforme as recomendações de Maguire (1962). Assim, lotes de sementes com maiores porcentagens de emergência, indicam que tem maiores vigores.

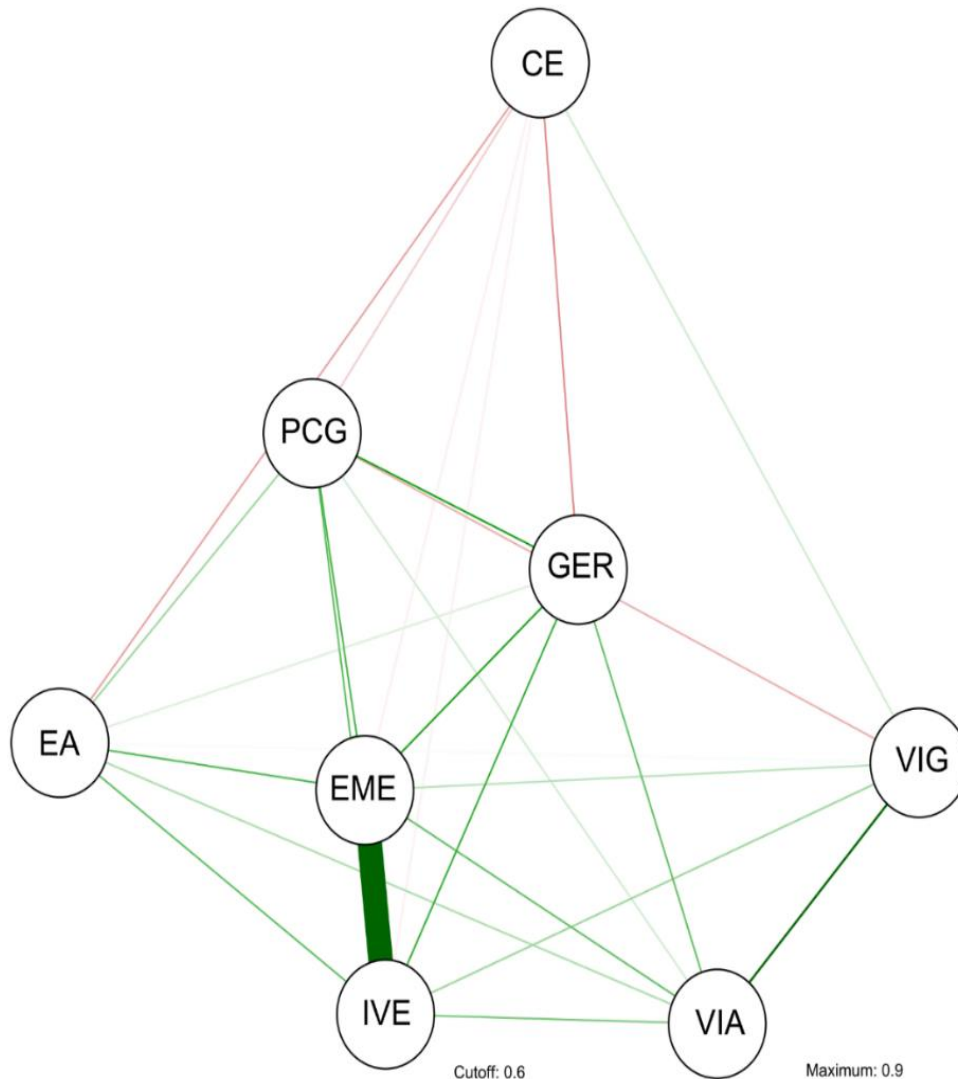


Figura 1. Redes de correlação ilustrando as correlações de Pearson mais significativas entre as os testes de qualidade de sementes de soja oriundas de plantas cultivadas em solos com diferentes níveis de fertilidade nitrogenada. As linhas mais grossas e verde representam as correlações positivas mais altas (limite definido em 0,6 e valores de $p < 0,05$). Abreviações: PCG: primeira contagem no teste da germinação. GER: germinação. VIG: teste de tetrazólio – Vigor. VIA: teste de tetrazólio – Viabilidade. CE: condutividade elétrica. EA: envelhecimento acelerado. EME: emergência. IVE: índice de velocidade de emergência.

O coeficiente de correlação mensura apenas as relações lineares, mas pode haver alta determinação entre as variáveis do tipo não linear (Zuffo et al., 2018). Uma alta correlação não implica em uma relação de causa e efeito entre as variáveis analisadas. Assim, a correlação é uma medida de associação não sendo possível inferir sobre as relações de causa e efeito (Vencovsky et al., 1992). Portanto, deve-se realizar a análise de trilha, a qual investiga as relações de causa e efeito e fornece os coeficientes fenotípicos.

Todavia, anteriormente à análise de trilha, foi avaliada a multicolinearidade pelo número de condição das matrizes de correlações fenotípicas. Na multicolinearidade ao utilizar o teste dos autovalores e autovetores da matriz de correlação nas variáveis independentes primárias desse modelo, observou-se que o número de condições foi de 93,2 (NC = 93,2), ou seja, uma multicolinearidade é fraca.

O desdobramento das correlações fenotípicas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis explicativas sobre o índice de velocidade de emergência encontra-se na Figura 2. O valor de inflação de variância ficou abaixo de dez, sendo assim, a análise de trilha é válida. O auto valor do coeficiente de determinação (R^2) no modelo da análise de trilha (0,836) e o baixo efeito da variável residual (0,404) demonstraram que o modelo explicativo adotado expressou a relação causa efeito das variáveis primárias e a produtividade de grãos em soja. Assim pode-se inferir que mais de 83% da variação observada no índice de velocidade de emergência pode ser explicada pelos caracteres indiretos.

A emergência (EME) foi a variável que mais influenciou o índice de velocidade de emergência das plântulas de soja, pois apresentou a maior estimativa de efeito direto de 0,894, sendo maior que o efeito residual (0,404) (Figura 2g). Portanto, a escolha de lotes de sementes de soja com maiores porcentagens de emergência das plântulas resultará na seleção indireta de em sementes de maior vigor (pelo índice de velocidade de emergência).

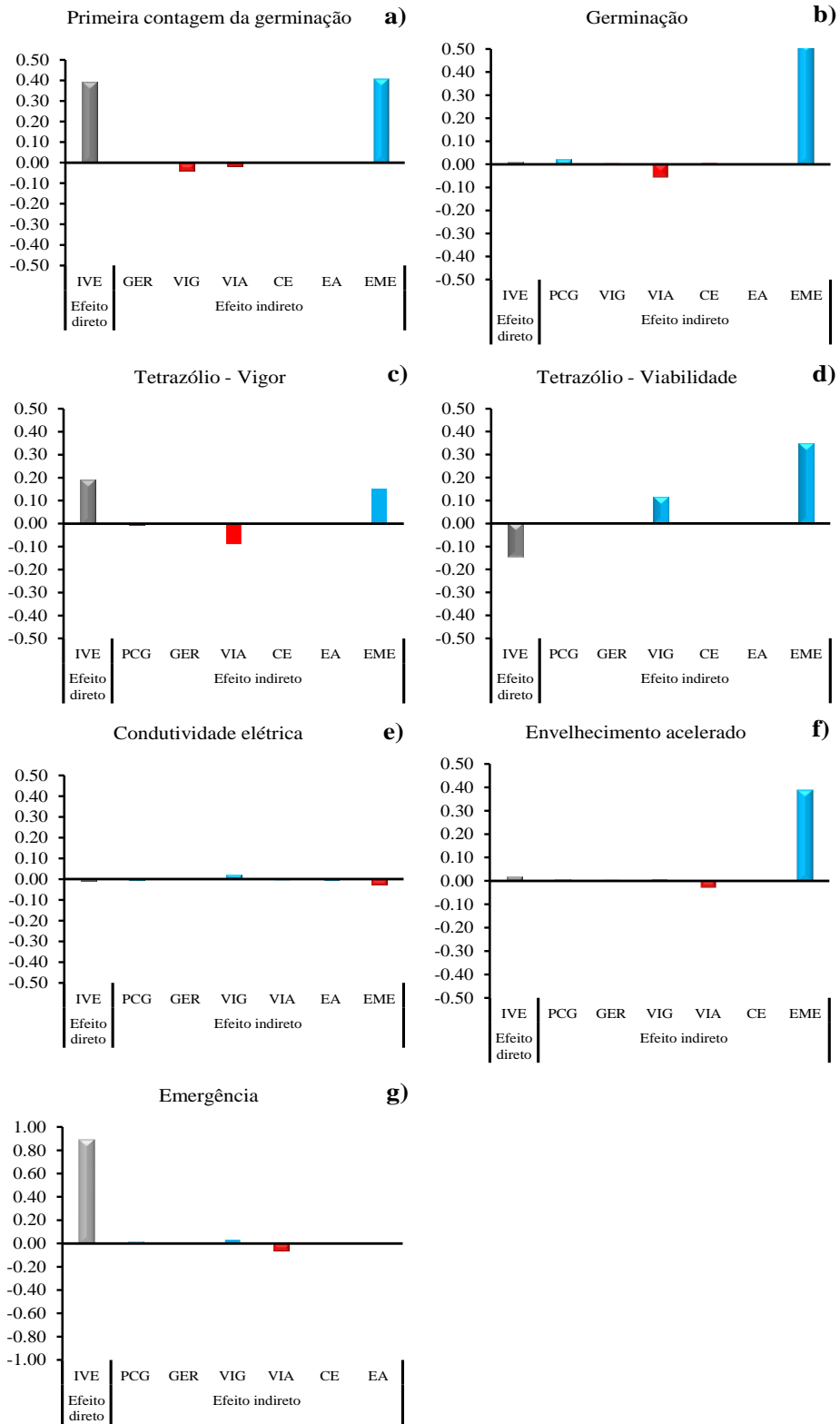


Figura 2. Efeito direto e indireto de sete caracteres no índice de velocidade de emergência de plântulas de soja. Coeficiente de determinação do modelo causal (R^2): 0,836. Efeito da variável residual: 0,404. Abreviações: PCG: primeira contagem no teste da germinação. GER: germinação. VIG: teste de tetrazólio – Vigor. VIA: teste de tetrazólio – Viabilidade. CE: condutividade elétrica. EA: envelhecimento acelerado. EME: emergência. IVE: índice de velocidade de emergência.

CONCLUSÃO

A porcentagem de emergência de plântulas de soja culminará em maior efeito direto sobre o índice de velocidade de emergência. Assim, a escolha de lotes de sementes de soja com maiores porcentagens de emergência das plântulas resultará na seleção indireta de sementes com maior vigor (pelo índice de velocidade de emergência).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Abrantes FL et al. (2010). Nitrogênio em cobertura e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). Revista Brasileira de Sementes, 32(3): 106-115.
- Alcântara Neto F et al. (2011). Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. Comunicata Scientiae, 2(2): 107-112.
- BRASIL (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF: MAPA/ACS. 399p.
- Carvalho NM et al (2012). Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: Funep. 590p.
- Charnet R et al. (2008). Análise de modelos de regressão linear com aplicações. Campinas: Unicamp. 356p.
- Cruz CD et al. (1997). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV. 390p.
- Gonçalves MC et al. (2003). Correlations and path analysis of common bean grain yield and its primary components. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 3(3): 217-222.
- Mahapatra SK et al. (2020). Application of Path Analysis in Agricultural Research. Biotica Research Today, 2(2): 18-20.
- Marcos Filho J (1999). Teste de envelhecimento acelerado. In: Krzyzanowski FC et al. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 3.1-3.24.
- Marcos Filho J (2005). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, v. 12. 495p.
- Marcos Filho J et al. (2009). Seed vigor tests: procedures - conductivity tests. In: Baalbaki R et al. (Orgs.). Seed vigor tests handbook. Ithaca: AOSA. 186-200p.
- Maguire JD (1962). Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, Madison, 2: 176-177.
- Montgomery DC et al. (2006). Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley & Sons. 640p.
- Nogueira APO et al. (2012). Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. Bioscience Journal, 28(6): 877-888.
- Santos HG dos et al. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa.
- Toledo MZ et al. (2009). Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. Pesquisa Agropecuária Tropical, 39(2): 124-133.

- Vencovsky R et al. (1992). Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 486p.
- Wright S (1921). Correlation and causation. Journal of Agricultural Research, 20(7): 557-585.
- Zuffo AM et al. (2016). Caracterização biométrica de frutos e sementes de mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e de inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.) na região sul do Piauí, Brasil. Revista de Ciências Agrárias, 39(1): 455-472.
- Zuffo AM et al. (2017a). Physiological and enzymatic changes in soybean seeds submitted to harvest delay. Pesquisa Agropecuária Tropical, 47(4): 488-496.
- Zuffo AM et al. (2017b). Path Analysis in Soybean Cultivars Grown under Foliar Spraying and Furrow Inoculation with *Azospirillum brasilense*. Journal of Agricultural Science, 9(10): 137-144.
- Zuffo AM et al. (2018). Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. Cultura Agronômica, 27(1): 78-90.

Desempenho agrônômico de duas cultivares de rúcula sob densidades de semeadura em sistema hidropônico no município de Uruçuí-PI

Recebido em: 05/07/2021

Aceito em: 06/07/2021


 10.46420/9786588319796cap5


Railson de Paula Freire¹ 

Thaynan de Sousa Martins¹ 

Williany Rêgo Lima^{1*} 

Vinicius Ribamar Alencar Macedo² 

Ewerton Gasparetto Silva³ 

Mateus Silva e Silva² 

INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* M.) é uma hortaliça folhosa herbácea pertencente à família Brassicaceae, de rápido crescimento vegetativo, ciclo curto, porte baixo, folhas espessas, tenras com nervuras verdes ou verde-arroxeadas (Almeida et al., 2009). Apresenta uma rica composição nutricional (potássio, enxofre, ferro, proteínas, vitaminas A e C), alta produção por área e ampla aceitabilidade pelo mercado consumidor, devido às suas diferenciadas características organolépticas (Amorim et al., 2007). Contém ainda vários fitoquímicos, que desempenham um papel antioxidante vital no corpo, atua também como anticancerígena, pois elimina toxinas, que são responsáveis pelo desenvolvimento de muitas doenças (Penteado, 2010). Além de todas essas características citadas, o cultivo da rúcula, gera emprego e renda em todos os elos de sua cadeia produtiva.

A rúcula é uma das principais hortaliças folhosas produzidas no Brasil via hidroponia. O cultivo da rúcula vem sendo ampliado entre os pequenos e médios horticultores. Desde a década de 90 até os dias atuais, houve um aumento na quantidade produzida e comercializada dessa hortaliça (Alves et al., 2010). No Brasil, entre os anos de 2009 a 2016 a área de produção teve aumento de 40% (ABCSEM, 2018). Segundo dados da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais do Estado de São Paulo (CEAGESP), a rúcula foi o 63º produto mais comercializado no ano 2017 e foram comercializadas 4.104 toneladas de rúcula (CEAGESP, 2017).

Temperaturas altas e elevada precipitação pluviométrica dificultam o cultivo e adaptação das folhosas no município de Uruçuí-PI e região. Por isso, os produtores evitam correr riscos maiores,

¹ Engenheiro (a) Agrônomo (a), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, *Campus* Uruçuí.

² Prof. Dr. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, *Campus* Uruçuí.

³ Prof. Dr. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, *Campus* Avançado José de Freitas.

* Autor correspondente: willy.regolima@gmail.com

investindo apenas no cultivo protegido, possibilitando com isso a produção durante todo o ano, obtendo produtos de melhor qualidade, maior produção, diminuição do ciclo, do uso de adubos e agrotóxicos (Gusmão, 2001).

No município de Uruçuí, a rúcula é pouco explorada no sistema hidropônico o que tornam escassas as informações técnicas sobre seu cultivo, principalmente a densidade de semeadura e cultivares. Como esta hortaliça é comercializada em maços, o manejo da densidade de plantas por célula/orifício, se torna um fator importante que pode influenciar diretamente na produtividade e qualidade final do produto. Entretanto, adoção de menor densidade de plantas por orifício pode inviabilizar seu uso economicamente e a maior densidade pode reduzir o crescimento e o desenvolvimento como consequência da competição entre as plantas, na busca por luz, nutrientes e água, além de maior investimento em sua aquisição (Silva et al., 2016).

Com relação às cultivares de rúcula também não existem muitas pesquisas demonstrando o seu desempenho agrônômico em sistema hidropônico, quais cultivares são recomendadas para determinada região, de acordo com as características climáticas. A maioria das informações está relacionada ao prazo de emergência, ao ciclo, a coloração de folha e a época de colheita. Desta forma, o produtor não tem a sua disposição, informações necessárias que lhe permite escolher as cultivares com melhor desempenho produtivo da rúcula (Silva et al., 2016). Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar o desempenho produtivo de duas cultivares de rúcula em três densidades no cultivo hidropônico no município de Uruçuí-PI.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Uruçuí - PI, na hidroponia do Instituto Federal do Piauí-IFPI situado nas coordenadas 7°16'32.7"S 44°30'21.2"O, a 378 metros acima do nível do mar. O clima segundo Köppen e Geiger é Aw, a temperatura média é de 27.2 °C e a pluviosidade média anual de 1069 mm (Climate-Data, 2020).

Os dados de temperatura máxima, média, mínima e umidade relativa do ar referentes ao período de condução do experimento encontram-se na (Tabela 1).

Tabela 1. Temperatura máxima, média, mínima ($T - ^\circ C$) e umidade relativa do ar (U.R - %), nos meses a novembro de dezembro de 2020.

| Meses | T. Máxima | T. Média | T. Mínima | U.R do AR |
|----------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| | ($^\circ C$) | ($^\circ C$) | ($^\circ C$) | (%) |
| Novembro | 31,92 | 25,96 | 21,68 | 69,33 |
| Dezembro | 31,54 | 25,75 | 21,36 | 72,07 |

Fonte: (INMET, 2020).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjos em esquema fatorial 2x3, sendo o primeiro fator: cultivar (Donatela e Folha larga) e o segundo fator: densidade de semeadura (4, 6 e 8 sementes por espuma fenólica), tendo um total de 6 tratamentos com 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi construída por 8 unidades de cultivo, sendo avaliadas as 4 unidades centrais.

No preparo de 1000 L de solução nutritiva foi utilizado 900 g de Dripsol + 700 g nitrato de cálcio + 25 g Ferro-Q48 (Fe-EDTA). As soluções foram monitoradas diariamente através das medidas de condutividade elétrica (CE) e pH. A condutividade elétrica foi mantida $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$ e 2 mS cm^{-1} na fase do berçário e crescimento respectivamente e o pH em 6,0. A vazão da solução foi ajustada para $1,5 \text{ L de solução nutritiva canal/min.}^{-1}$. O fornecimento da solução ocorreu a cada 15 minutos das 07h00min às 12h00min, posteriormente, o timer foi programado para ficar ligado até às 18h00min com intervalo de 5min desligado. No período noturno, o timer foi programado para ligar a cada quatro horas, permanecendo ligado por 5 min.

Para a produção das mudas foram colocadas 4, 6, e 8 sementes em cubos de espuma fenólica ($2,0 \times 1,9 \times 1,9 \text{ cm}$). As cultivares utilizadas foram a Donatella pertencente a empresa Isla[®] e Folha Larga da empresa Sakata[®]. Após a semeadura, as bandejas contendo as espumas fenólicas, foram agrupadas e colocadas por três dias em ambiente escuro para germinação à $\pm 25 \text{ }^\circ C$. Posteriormente, foram transferidas para o berçário na hidroponia. Depois de uma semana berçário, as mudas de cada cultivar foram retiradas e transferidas nas bancadas de crescimento, permanecendo até a colheita. O espaçamento entre os orifícios em cada perfil e entre os perfis nas bancadas foram de 20 cm. As plantas atingiram o ponto de colheita aos 29 dias após a semeadura nas espumas fenólicas, sendo esse ponto de colheita, determinado em função do tamanho comercial das plantas entre 15 e 25 cm.

Avaliou-se altura de planta (AP) e comprimento radicular (CR) com auxílio de uma regra graduada (cm), massa fresca da raiz - MFR (g), massa fresca da parte aérea - MFPA (g) em balança analítica, sendo as plantas cortadas rentes à espuma. Posteriormente, determinou-se a massa seca da parte aérea - MSPA

(g) após secagem em estufa a 60 °C, até atingir massa constante (72 horas). A produtividade foi determinada em kg/m².

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa Sisvar (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância demonstram que não houve interação significativa entre os fatores cultivar x densidade. Houve diferença significativa entre as cultivares e entre as densidades para os parâmetros massa da matéria fresca da parte aérea, massa da matéria seca da parte aérea, massa da matéria fresca da raiz, altura da planta (AP) e produtividade (PROD). Para o comprimento da raiz não houve significância para cultivar e nem para densidade (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa da matéria fresca da raiz (MFR), comprimento da radicular (CR) altura da planta (AP) e produtividade (PROD) em respostas a três densidades de plantio.

| Fatores de variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|---------------------|----|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | MFPA | MSPA | MFR | CR | AP | PROD |
| Blocos | 4 | 54,77 ^{ns} | 0,38* | 11,26* | 7,06 ^{ns} | 5,23* | 0,05* |
| Densidade | 2 | 938,13* | 4,50* | 29,14* | 4,25 ^{ns} | 6,77* | 0,55* |
| Cultivar | 1 | 1023,05* | 3,39* | 23,85* | 0,009 ^{ns} | 3,46* | 0,24* |
| Densidade*Cultivar | 2 | 36,68 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 2,29 ^{ns} | 3,90 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 30,55 ^{ns} |
| Resíduos | 20 | 19,81 | 0,13 | 3,43 | 9,27 ^{ns} | 0,78 | 0,02 |
| CV (%) | | 8,93 | 10,36 | 8,39 | 11,49 | 3,70 | 8,42 |

*significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns = não significativo ($p > 0,05$).

Para o parâmetro massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), observou-se diferenças entre as cultivares e nas densidades (Tabela 3). A cultivar Donatella foi superior que a cultivar Folha larga apresentando maior MFPA nas densidades 6 e 8 sementes/espuma fenólica. Analisando cada cultivar nas densidades, observou que ambas apresentaram maior valor de MFPA nas densidades de 6 e 8 sementes/espuma fenólica, diferindo das demais densidades. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2016), trabalhando com respostas produtivas de cultivares de rúcula em sistema hidropônico também constataram maior massa fresca para a cultivar Donatella em relação à Folha Larga.

Para a MSPA, a cultivar Donatella apresentou valores superiores a Folha larga nas densidades de 6 e 8 plantas/espuma fenólica e não diferiram na densidade de 4 plantas/espuma fenólica. Quando analisamos cada cultivar nas densidades, Donatella apresentou valores semelhantes nas densidades de 6

e 8, mas na densidade de 8 plantas/espuma fenólica foi superior estatisticamente que na densidade de 4 plantas/espuma fenólica. Já a cultivar Folha larga, na densidade de 8 plantas/espuma fenólica apresentou a maior MSPA, diferindo das demais densidades testadas.

Tabela 3. Valores médios da Massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), de duas cultivares de rúcula, cultivadas em três diferentes densidades de semeadura, entre novembro e dezembro de 2020, no município de Uruçuí-PI.

| Cultivar | MFPA (g) | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | Densidade | | |
| | 4 | 6 | 8 |
| Donatela | 63,27 a B | 80,95 a A | 89,25 a A |
| Folha Larga | 58,44 a B | 69,72 b A | 78,76 b A |
| | MSPA (g) | | |
| | Densidade | | |
| | 4 | 6 | 8 |
| Donatela | 2,95 a B | 3,98 a AB | 4,31 a A |
| Folha Larga | 2,50 a B | 2,91 b B | 3,82 b A |

Médias com letras minúsculas iguais não diferem entre si para as cultivares em cada densidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para as densidades em cada cultivar, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Há trabalho na literatura que mostraram efeito positivo da densidade de plantas no aumento da massa fresca da parte aérea de rúcula. Por exemplo, Porto et al. (2019), testaram as densidades de 4, 8, 12, 16 e 20 plantas de rúcula por espuma fenólica em sistema hidropônico e constataram que na maior densidade houve maior massa fresca e massa seca da parte aérea. Já, Pinheiro et al. (2021), ao trabalhar com densidades de plântulas e concentrações da solução nutritiva para rúcula hidropônica no período de primavera e verão, observaram que com o aumento das densidades de plântulas, houve incremento na massa fresca da parte aérea. Como a rúcula é comercializada em maços, essa maior MFPA, torna-se interessante para o produtor, visando maior quantidade de maços e conseqüentemente maior produtividade.

Por outro lado, há trabalhos na literatura demonstram que a massa fresca de rúcula, não foi influenciada pelo maior adensamento de plantas por espuma fenólica (Purquerio et al., 2004; Nascimento et al., 2011).

Os resultados da massa fresca da raiz (MFR) e do comprimento da raiz (CR), encontram-se na Tabela 4. Com exceção da cultivar Folha Larga na densidade de 8 sementes/espuma fenólica nas demais densidades, não houve diferença estatística entre as cultivares nas densidades (Tabela 4). Ao analisar o desempenho de cada cultivar separadamente nas três densidades, observou-se que a cultivar Donatella não houve diferença entre as densidades estudadas. Já a cultivar Folha Larga, apresentou maior MFR na densidade de 8 sementes/espuma fenólica, diferindo das plantas cultivadas na densidade de 4 plantas/espuma fenólica. Para o comprimento da raiz não houve diferença significativa entre as cultivares e tão pouco das cultivares nas densidades (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios da Massa fresca da raiz (MFR) e comprimento radicular (CR) de duas cultivares de rúcula, cultivadas em três diferentes densidades de semeadura, entre novembro e dezembro de 2020, no município de Uruçuí-PI.

| Cultivar | MFR (g) | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | Densidade | | |
| | 4 | 6 | 8 |
| Donatela | 19,49 a A | 22,12 a A | 21,98 b A |
| Folha Larga | 20,84 a B | 23,20 a B | 24,86 a A |
| Cultivar | CR (cm) | | |
| | Densidade | | |
| | 4 | 6 | 8 |
| Donatela | 25,20 a A | 26,63 a A | 27,73 a A |
| Folha Larga | 26,39 a A | 26,63 a A | 26,43 a A |

Médias com letras minúsculas iguais não diferem entre si para as cultivares em cada densidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para as densidades em cada cultivar, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao avaliar o desempenho agrônômico de cinco cultivares de rúcula (Apreciatta, Cultivada, Donatella, Gigante e Rococó) em sistema semi-hidropônico, Jardina et al. (2017), observaram diferenças significativas na massa fresca da raiz entre as cultivares, corroborando com o resultado encontrado neste trabalho.

Porto et al. (2019), testaram cinco diferentes densidades de rúcula sem sistema hidropônico e encontraram a maior eficiência do crescimento radicular na densidade de 15,8 plantas por célula. Os resultados observados de comprimento radicular por Reghin et al. (2004), mostram que quando aumentaram a densidade de sementes por célula, verificaram a diminuição do comprimento de raiz. Neste trabalho tal tendência não foi verificado.

O tamanho do sistema radicular pode influenciar na capacidade de absorção dos nutrientes pelas plantas, portanto, quanto maior for as raízes, maior será a possibilidade da mesma em absorver os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento (Jardina et al., 2017). Porto et al. (2019), avaliaram cinco diferentes densidades de rúcula sem sistema hidropônico e observaram maior eficiência do crescimento radicular na densidade de 15,8 plantas por célula. Os resultados obtidos do comprimento radicular por Reghin et al. (2004), mostram que o aumento da densidade de sementes de rúcula por célula, houve uma redução no comprimento do sistema radicular, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

Para a variável altura das plantas não houve diferença estatística entre as cultivares, mas houve diferença para as densidades. Observa-se que a cultivar Donatella apresentou diferença significativa, sendo as maiores alturas de plantas foram constatadas nas densidades de 6 e 8 sementes/espuma fenólica em relação a densidade de 4 sementes/espuma fenólica. A cultivar Folha Larga não apresentou diferença dentro das densidades (Figura 1).

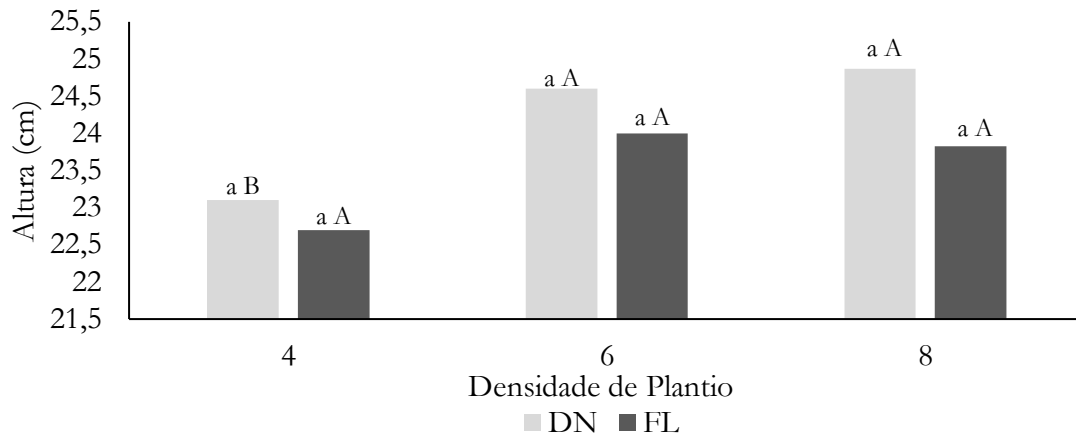


Figura 1. Valores médios de altura de planta das cultivares de rúcula Donatella (DN) e Folha Larga (FL). Médias com letras minúsculas iguais não diferem entre si para as cultivares em cada densidade e letras maiúsculas iguais não diferem entre si para as densidades em cada cultivar, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao estudar os efeitos das densidades de semeadura de rúcula *baby leaf* em hidroponia, Porto et al. (2019), avaliaram as densidades de 4, 8, 12, 16 e 20 sementes/célula nas características de produção da planta e, observaram uma maior altura de plantas na maior densidade de semeadura.

Ao avaliar o desempenho produtivo de cinco cultivares de rúcula na densidade de 4 plantas/célula em sistema semi-hidropônico, Jardina et al. (2017), obtiveram diferenças na altura das plantas, onde as cultivares *Apiciatta* (26 cm) e *Gigante* (25 cm) apresentam maior altura diferindo da *Cultivada* (18,8 cm), *Donatella* (18,4 cm) e *Rococó* (20 cm).

Ao estudar a resposta produtiva de cultivares de rúcula em sistema hidropônico, Silva et al. (2016), observaram maior altura da parte aérea da cultivar *Donatella* (13,48 cm), em comparação com a *Folha Larga* (11,82 cm). Resultados obtidos neste trabalho para altura da parte aérea das cultivares *Donatella* e *Folha Larga* foram superiores. Isso demonstra que apesar de ambos os trabalhos terem utilizados as mesmas cultivares, alguns fatores como: condições climáticas da região onde foi desenvolvido o trabalho, solução nutritiva utilizada e tempo para a colheita podem ter influenciado na maior altura de planta encontrado nesse trabalho.

A produtividade neste trabalho foi determinada em $Mg \cdot ha^{-1}$ e os resultados estão apresentados na Figura 2. A cultivar *Donatella* obteve as maiores produtividades nas densidades 6 e 8 sementes/espuma fenólica diferindo significativamente da cultivar *Folha Larga* nas mesmas densidades. Na densidade de 4 sementes/espuma fenólica não houve diferença entre as cultivares. Ao analisar cada cultivar nas densidades, ambas foram mais produtivas nas densidades de 6 e 8 sementes por espuma fenólica em comparação a densidade de 4 sementes/espuma fenólica.

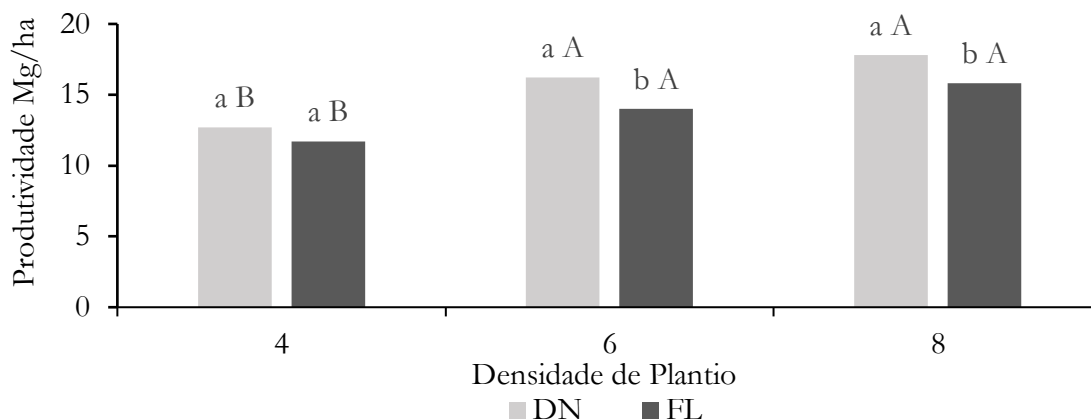


Figura 2. Produtividade em mg.h das cultivares de rúcula Donatella (DN) e Folha Larga (FL). Letras minúsculas iguais não diferem entre si para as cultivares em cada densidade. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para as densidades em cada cultivar, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação à produtividade, Jardini et al. (2017), observaram diferenças na produtividade de diferentes cultivares de rúcula. A cultivar Gigante apresentou a maior produtividade média de 17,60 mg/ha, diferindo estatisticamente da Apreciatta, Rococó e Donatella, com 15,19, 15,19 e 14,13 mg/ha, respectivamente. Neste trabalho as maiores produtividades foram verificadas para ambas cultivares Donatella e Folha Larga na densidade de 8 sementes/espuma fenólica, que foram de 1,78 e 1,58 kg.m², extrapolando para ha⁻¹ a produtividade foi de 17,8 e 15,8 mg ha⁻¹, produtividades essas similares às encontradas por Jardini et al. (2017).

As médias obtidas desse trabalho estão condizentes com as produções obtidas por Purqueiro et al. (2007), que obteve média de 2,27 kg.m² em ambiente protegido em São Manuel-SP.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, eles corroboram com os resultados de diversas pesquisas. Entretanto, necessitamos de mais trabalhos de pesquisas no município de Uruçuí-PI com a rúcula em sistema hidropônico, como avaliação de mais cultivares, maiores densidades, diferentes épocas de cultivo para que se possa identificar as cultivares mais adaptadas ao município, densidade ótima para o cultivo da rúcula sem que comprometa o desempenho produtivo e a qualidade das plantas, além do manejo da solução nutritiva e da cultura, gerando assim, informações técnicas de qualidade para os produtores, contribuindo para a melhor eficiência e sustentabilidade do sistema hidropônico.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados e as condições em que este experimento foi realizado, é possível concluir que a cultivar Donatella apresentou um desempenho agrônômico superior a cultivar Folha Larga e que na densidade de 8 plantas por espuma fenólica ambas cultivares apresentaram o melhor desempenho produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Almeida J et al. (2009). Avaliação da cultura da rúcula em cultivo hidropônico. Cruz das Almas. Disponível em: http://www.seagri.ba.gov.br/sites/default/files/5_pesquisa_agricola02v9n1.pdf. Acesso em: 25 de abr. de 2021.
- Alves CZ et al. (2010). Avaliação do vigor de sementes de rúcula pelo teste de lixiviação de potássio. Revista Brasileira de Sementes, 32(2): 108-116.
- Amorim HC et al. (2007). Identificação dos tipos de rúcula comercializados no varejo do Distrito Federal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Hortaliças, 34: 1-13.
- ABCSEM (2018). Informações do setor. Associação brasileira do comércio de sementes e mudas. Disponível em: < <http://www.abcsem.com.br/dadosdo-setor>. Acesso em: 18 Abr. 2021.
- Climate-Data (2020). Classificações. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/piaui-209/>. Acesso em: 10 de nov. 2020.
- CEAGESP (2017). Rúcula. Companhia de entrepostos e armazéns gerais do estado de São Paulo Disponível em: [http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/rucula-2/#:~:text=A%20R%C3%BAcula%20\(Eruca%20sativa%20Mill,SP%20\(8%2C8%25\)](http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/rucula-2/#:~:text=A%20R%C3%BAcula%20(Eruca%20sativa%20Mill,SP%20(8%2C8%25).). Acesso em: 25 de mai. 2021.
- Ferreira DF (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, 35(6): 1039-1042.
- Gusmão SAL (2001). Interação genótipos x ambientes em híbridos de melão rendilhado. (Tese doutorado). FCAV, UNESP, Jaboticabal. 143p.
- Jardina LL et al. (2017). Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. Revista de Agricultura Neotropical, 4(1): 78-82.
- Nascimento CS et al. (2011). Densidades populacionais de consórcios de alface e rúcula: efeitos na produtividade das culturas. Ciência e Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, 3: 1-3.
- Penteado SR (2010). Cultivo ecológico de hortaliças. 2. Ed. Campinas, SP.
- Porto AH et al. (2019) Densidade de sementes em sistema hidropônico no desenvolvimento de rúculoa baby leaf. Revista Cultivando o Saber, 12(4): 353-366.
- Pinheiro WD et al. (2021). Densidade de plântulas e concentrações da solução nutritiva para rúcula hidropônica no período de primavera e verão. Brazilian Journal of Development, 7(3): 23163-23176.
- Purquerio LFV et al. (2004). Tipos de bandejas e número de sementes por célula sobre o desenvolvimento e produtividade de rúcula. Horticultura Brasileira, 22(2).
- Purquerio LFV et al. (2007). Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. Horticultura Brasileira, 25(3): 464-470.
- Reghin MY et al. (2004). Efeito da densidade de mudas por célula e do volume da célula na produção de mudas e cultivo da rúcula. Ciência e Agrotecnologia, 28(2): 289- 297.


Silva JL et al. (2016). Respostas produtivas de cultivares de rúcula em sistema hidropônico. Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias, 11(1): 16-24.

Serraria e Secagem da Madeira: Uma Revisão

Recebido em: 07/07/2021


Aceito em: 12/07/2021

 10.46420/9786588319796cap6

Marcus Dhilermando Hora de Souza^{1*} 

Eliana de Jesus Alves¹ 

Brenna Peixoto Silva¹ 

Taís Ferreira Costa¹ 

Valdeir Palma Do Amparo¹ 

Jocilene Do Rosario Cruz¹ 

Lorena Santana de Oliveira Melo¹ 

Lucas Soares Miguez¹ 

INTRODUÇÃO

A indústria ainda enfrenta grandes dificuldades quanto à secagem da madeira – especialmente quando oriundas de florestas plantadas, provocado muitas vezes por desconhecimento técnico ou por erros operacionais, exigindo cuidados especiais no seu processamento, devido à presença de tensões internas de crescimento, que afetam suas propriedades físicas e mecânicas (Ferreira et al., 2004; Calonego et al., 2005; Zen et al., 2019).

De modo geral, no Brasil, a prática adequada da secagem não é tão difundida e/ou utilizada quanto deveria ser por aqueles que atuam no ramo madeireiro (Anjos et al., 2011). Seguindo o pensamento dos mesmos autores, a secagem é feita de modo negligente, provocando falhas que acarretam em produtos de baixa qualidade e aceitação no mercado, falhas essas que também podem ser atribuídas ao desconhecimento de aspectos tecnológicos de operações fundamentais para a secagem correta.

Com isso, torna-se primordial a escolha adequada de um determinado método de secagem, considerando que este influencia diretamente no tempo de secagem, na qualidade do material seco (propriedades físicas, mecânicas e probabilidade de ataques por insetos e fungos xilófagos) e na obtenção do teor de umidade desejado para cada finalidade proposta (Santos, 2002; Zen et al., 2019).

Tradicionalmente, existem grandes concentrações de serrarias nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, que vem ano após ano, passando por modificações no seu perfil de abastecimento de matéria-prima. Inicialmente, usava-se preferencialmente madeiras como *Araucaria angustifolia*, *Nectandra sp.*, *Ocotea sp.*, e madeiras de reflorestamentos do gênero *Pinus* (Fontes, 1994; Perez et al., 2006). De acordo com a ABIMCI (2016), no ano de 2015 existiam 22.902 serrarias no Brasil, e desse total, 40% estavam localizadas na Região Sul do país, ante 22% na Região Norte e 16% na Região Centro-Oeste, apesar destas serem as maiores produtoras de floresta tropical do Brasil.

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, BA.

* Autor correspondente: dhilermandohora@hotmail.com

Para Almeida et al. (2011), mesmo com o grande potencial em produção de madeira serrada do Brasil, a situação do segmento madeireiro no País encontra-se bem aquém dos melhores padrões mundiais, com empresas majoritariamente fazendo uso de tecnologias obsoletas ou pouco especializadas.

Contudo, devido às vantagens naturais brasileiras e aos incansáveis esforços em silvicultura, o Brasil consegue produzir a madeira mais barata do mundo (Almeida, 2006), considerando que o País dispõe de setores industriais altamente competitivos devido ao rápido crescimento dos plantios florestais, conseguindo alcançar produtividade 10 vezes superior às observadas em nações líderes no mercado global (Hoefflich, 2006).

Com isso, Almeida (2006), afirma que tal vantagem, aliado ao fato da indústria madeireira não demandar desenvolvimento tecnológico de Primeiro Mundo, faz com que não seja preciso de muito para tornar o País uma grande referência mundial nesse segmento, como já acontece com a celulose, que diferentemente do segmento madeireiro, tem obtido forte apoio do Estado.

PRINCÍPIOS DA SECAGEM

A secagem da madeira é uma das etapas mais importantes do processamento inicial desta matéria-prima na indústria, sendo uma etapa obrigatória na geração de produtos de madeira sólida em função dos benefícios que esta técnica pode agregar ao material, tanto na trabalhabilidade da peça, quanto na resistência ao ataque de agentes xilófagos (Batista et al., 2015a; Batista et al., 2016).

A madeira é um material biológico bastante heterogêneo, anisotrópico e higroscópico (Braz et al., 2015), que possui diferentes tipos de tecidos, adaptados para desempenharem funções específicas (Ferro et al., 2015). A heterogeneidade da madeira está relacionada com diversos fatores, como a diversidade de componentes que formam os tecidos, aspectos climáticos, solo, local de crescimento e de ordem genética, assim como aspectos anatômicos e de crescimento, que por sua vez formam indivíduos complexos e com propriedades e características próprias (Rocha, 1994; Calil Junior et al., 2003; Braz et al., 2015; Ferro, et al., 2015).

A anisotropia se deve à composição dos elementos e sua disposição na formação do lenho, formando os planos tangencial, radial e longitudinal, e cada plano reage de formas diferentes tanto a cargas aplicadas quanto a secagem (Silva et al., 2003; Braz et al., 2015), de modo que quanto maior for a diferença de retratibilidade (fator anisotrópico) entre os planos da madeira, maior serão os problemas provocados pela secagem (Fagundes, 2003).

Para Silva et al. (2003) e Oliveira et al. (2005), o teor de umidade na madeira reflete em melhor estabilidade dimensional, trabalhabilidade na peça, resistência mecânica, durabilidade natural, tendo também implicações no seu processamento, uma vez que na secagem as peças com maiores gradientes de umidade tendem a apresentar defeitos, como o fendilhamento, empenamento e deformações provocadas pelas contrações de secagem, alterando o dimensionamento das tábuas, implicando diretamente em sua utilização final.

Já a higroscopicidade é a capacidade da madeira trocar umidade com o meio no qual está inserida, ou seja, em ambientes mais úmidos, o material ganhará umidade e em ambientes mais secos a perderá (Braz et al., 2015), retraindo-se e inchando de acordo com a umidade do ambiente (Silva et al., 2003). Sendo que, para Baraúna et al. (2009), a umidade na peça torna-se estável quando são fixadas as variáveis ambientais de temperatura e umidade, fazendo com que a umidade da madeira ajusta-se a um valor de equilíbrio, denominada de Umidade de Equilíbrio (UE), que deve ser determinada no local geográfico onde a madeira será empregada.

Segundo Menezes et al. (2014), a água na madeira pode ser classificada de dois modos: água livre ou de capilaridade; e água higroscópica ou de adesão. A água livre, que fica localizada nos vasos, canais e lúmen das células, está submetida às forças capilares, por esta razão é de remoção mais fácil, ou seja, no processo de secagem da madeira, a água livre contida nas estruturas supracitadas é a primeira a ser removida. Já a água higroscópica, para Galvão et al. (1985), é de remoção mais difícil por estar ligada a grupos hidroxílicos (OH) que retêm as moléculas de água.

Essas informações auxiliam no entendimento do processo de secagem na madeira e na ocorrência de alguns problemas ou defeitos que podem acometer a peça (Braz et al., 2015). Por ser um processo de baixa complexidade, é cada vez mais fácil reduzir o tempo de secagem e a incidência de defeitos com técnicas relativamente simples, sobretudo quando o processo é conduzido de modo eficiente, havendo a escolha de um método de secagem que influenciará positivamente na qualidade do material seco (Susin et al., 2014).

A secagem ocorre em três fases. Na primeira fase, a taxa de secagem é constante, havendo movimentação da água livre até a superfície devido à ação da capilaridade. A corrente de ar carregada de energia (calor) se movimenta na superfície da madeira vaporizando a água e liberando-a para o ambiente (Santos, 2002). Ainda conforme o mesmo autor, na segunda fase, parte da energia recebia pelo ar aquece a região, e gradualmente, é transferida para o centro da madeira, retirando a umidade por difusão e capilaridade até atingir o Ponto de Saturação das Fibras (PSF), e por fim, a terceira fase tem início quando a linha de evaporação da água restringe-se ao centro da peça e não há mais água livre no material, e a madeira segue perdendo água até atingir a UE de acordo com as características específicas de cada material.

Diferente de outros materiais, as tábuas podem ser secas de diferentes maneiras, como radiofrequência, ao ar livre e por altas temperaturas, sendo os dois últimos, os mais utilizados (Santos, 2002). Para o mesmo autor, a secagem ao ar livre é um dos métodos mais antigos de secagem e que exige pequena influência do homem, pois, depende basicamente de fatores ambientais. Entretanto, é prudente sempre tomar o cuidado de aplicar programas de secagem que não sejam severos demais, caso contrário, é inevitável a grande probabilidade a defeitos de secagem, como por exemplo, o desenvolvimento de colapso, rachaduras, empenamentos entre vários outros (Zen, 2016).

Nesse processo, deve-se sempre dar atenção ao pátio de secagem, tomando cuidado na escolha do local, preparo e arranjo das pilhas, distância entre a base das pilhas e o solo, entablicamento correto, proteção das pilhas, e as condições climáticas do local, sendo estes os principais fatores a serem considerados na secagem ao ar livre, para que no fim, seja produzido um material de boa qualidade e também tornando o processo mais econômico (Ducatti et al., 2001; Santos, 2002; Zen et al., 2019), sendo este método, o utilizado por 86% das empresas situadas no município de Sinop, Mato Grosso (Anjos et al., 2011).

Já as secagens por altas temperaturas, também chamadas de secagem convencional, os secadores, segundo Santos (2002), têm total controle da temperatura, variando de 35°C a 90°C, umidade e velocidade do ar (por meio de sistema de circulação forçada), favorecendo o equilíbrio entre a velocidade de evaporação da água na madeira e transferência de massa, bem como nas reações do material durante o processo, tornando a secagem mais rápida.

Tais processos de secagem, quando aplicados individualmente, possuem características particulares que não favorecem a secagem e que muitas vezes acabam não sendo recomendadas (Busatto, 2013; Zen, 2016). Para Anjos et al. (2011) e Zen (2016), as variações ambientais às quais as tábuas expostas à secagem ao ar livre estão sujeitas, são fatores que pesam contra esse método de secagem, uma vez que tornam o tempo de secagem demasiadamente longo e não alcançam os teores de umidade mais baixos, que são requeridos para pisos, lambris e móveis, influenciando também no desenvolvimento de tensões.

Por outro lado, a secagem por altas temperaturas proporciona controle total do processo, diminuindo a incidência de defeitos nas fases iniciais de secagem, contudo, a necessidade de mão de obra qualificada aumenta os custos operacionais, além de necessitar altos custos de investimento (Rosso, 2006) que geralmente encarecem o produto final inviabilizando a adoção de câmaras convencionais para a secagem da madeira (Anjos et al., 2011).

Portanto, o uso da secagem ao ar livre combinada com a secagem convencional tem sido empregado como método eficiente na redução de defeitos na madeira e melhoria de sua qualidade, tornando-se um método muito interessante (Zen, 2016; Zen et al., 2019). Para os mesmos autores, essa alternativa tem por objetivo reduzir os custos operacionais ao mesmo tempo em que acelera a secagem, retirando primeiro a água livre de forma lenta e diminuindo as tensões na madeira, e posteriormente, removendo a água de impregnação na estufa.

Entretanto, para Santos (2012), os equipamentos mais comuns de secagem da madeira continuam sendo as estufas convencionais, contudo, as estufas solares são recomendadas por serem muito promissoras ao otimizarem os custos de investimento e manutenção do empreendimento, sendo muito úteis em pequenas empresas pela secagem da madeira em quantidades menores.

Rezende et al. (2015), ressaltam outra técnica de secagem, denominada vaporização, que consiste na aplicação de vapor aquecido a altas temperaturas na madeira. Segundo os mesmos autores, a

vaporização é eficiente para o aumento da taxa de secagem e melhoria de sua qualidade, viabilizando aumento médio de 15% na taxa de secagem de tábuas de *Eucalyptus grandis*, o que provocou redução nos índices de defeitos de secagem de 20% a 52% quando aplicado o tratamento.

SERRARIA E MADEIRA SERRADA

O processo de transformação de uma tora de madeira de seção circular em peças de seções retangulares e quadradas é chamado sistema de desdobro (Murara Junior et al., 2013). Madeira serrada é aquela obtida pelo desdobro direto de toras em serras, com espessura superior a cinco milímetros, sendo que os formatos e dimensões das peças implicam em diferentes usos do material, que tem a indústria moveleira como o principal destino dessa produção, seguida pela construção civil e indústrias de embalagem (Perez et al., 2006). A partir dessa madeira serrada, são manufaturados produtos de maior valor agregado, a exemplo de EGP - Edge Glued Panels, molduras, portas, pisos, e outros do gênero (BRASIL, 2007).

As serrarias podem ser classificadas de diferentes formas, entretanto, segundo Salvador (2013), o aspecto mais relevante para tal é a produção, classificando-as em pequena, média e grande porte. O referido autor considera pequena quando a capacidade de processamento é de até 50 m³ de toras/dia; média quando o processamento é de 50 a 100 m³ de toras/dia; ou de grande porte quando o processamento é maior que 100 m³ de toras/dia.

O rendimento em madeira serrada é influenciado por diversos fatores, como: características da espécie, produtos, maquinário, mão de obra, e diâmetro das toras, que usualmente fica entre 15-25 cm para uso em serrarias; além desses fatores, o tratamento que é dado às toras ainda no pátio da serraria e outras decisões de como desdobrá-las ou não, são fatores fundamentais para que se atinjam bons níveis de rendimento (Murara Junior et al., 2005; Almeida, 2006).

A indústria de madeira serrada no Brasil, em conjunto com a indústria de painéis à base de madeira, destaca-se entre os produtores de produtos sólidos de madeira, pela utilização de madeiras oriundas de coníferas, que são classificadas como *softwood*, de cor clara, macia, fibra longa e densidade uniforme (Perez et al., 2006). Por essa razão, a produção de madeira serrada é uma grande oportunidade para o setor produtivo florestal brasileiro ampliar sua participação no mercado internacional (Petrauski et al., 2012).

Segundo o Ibá (2020), a produção de madeira serrada no Brasil em 2019 foi de 9,9 milhões de m³, com 90% da produção direcionada ao mercado doméstico do país. O relatório ainda aponta que as exportações recuaram 12% e as importações aumentaram 21% no mesmo ano, colocando o Brasil na 9ª posição no ranking entre os dez maiores produtores de madeira serrada no mundo, sendo a China e os Estados Unidos os principais produtores mundiais, com 90,3 e 82,5 milhões de m³ respectivamente.

A melhoria do nível tecnológico industrial é condição fundamental para o aproveitamento máximo da matéria-prima, assim, a eficiência técnica e econômica dos processos de transformação dos

recursos florestais em produtos pela indústria madeireira é fator básico para sua sobrevivência (Biasi et al., 2007), considerando, inclusive, ser irracional não promover o aproveitamento máximo dos subprodutos gerados no beneficiamento primário da madeira, a saber: cascas, costaneiras, refilos, aparas e serragem (Murara Junior et al., 2005).

Alguns autores ressaltam que o aproveitamento destes subprodutos, muitas vezes tidos como resíduo tem contribuído para a racionalização dos recursos florestais (Cabreira, 2011), além de contribuir para uma adequação ambiental no gerenciamento de resíduos sólidos industriais (Cerqueira et al., 2012), podendo gerar receitas através de agregação de valor aos produtos que tradicionalmente são abandonados e/ou queimados, proporcionando nova alternativa de ganho econômico às empresas com estrutura adequada para tal (Dutra et al., 2005).

Esses materiais residuais, segundo Santos et al. (2008) e Borges et al. (2015), podem ser reaproveitados como aglomerados e painéis de fibra, agregando valor aos subprodutos da serraria quando comparado à madeira *in natura*, a exemplo do aproveitamento dos resíduos da madeira de Candeia (*Eremanthus erythropappus*), utilizado para a produção dos materiais supracitados após a extração do óleo encontrado em sua madeira.

Há de se considerar também, a variação dimensional das peças serradas, que influi significativamente no seu rendimento e geração de resíduos, fazendo com que serrarias com maiores variações tenham rendimentos menores, isto porque quanto maiores às variações, maiores devem ser os acréscimos nas medidas das peças serradas (Eleotério et al., 1996). Os mesmos autores prosseguem afirmando que a variação mais crítica para o rendimento é a espessura, porém, a utilização de equipamentos sem vibrações, como os de serras delgadas, possibilita um bom rendimento.

Um sistema de desdobro convencional consiste em desdobrar toras sem classificação e sem uma definição exata de um modelo de corte para cada classe diamétrica (Murara Junior et al., 2005). As operações de desdobro de matéria-prima devem ser cuidadosamente planejadas, especialmente quando se utilizam processos convencionais e de baixo nível tecnológico, em que as toras são desdobradas de acordo com critérios escolhidos pelo operador da máquina principal, ou seja, é ele quem define a melhor maneira de se desdobrar uma tora, tornando a experiência e especialização da mão de obra fator de maior peso nos resultados do rendimento em madeira (Murara Junior et al., 2005; Bonato Junior et al., 2017).

Novak et al. (2009) trazem destaque à utilização de aplicativos computacionais como o SawCAM (Calculator software, a cutting pattern simulator), desenvolvido na Austrália, e o programa MaxiTora desenvolvido pela empresa OPTIMBER (Otimização e Informática Ltda), para facilitar e agilizar a tomada de decisões, e assim, otimizar o desdobro e obtenção de melhor rendimento, entretanto, estes sistemas não consideram as restrições de quantidades diamétricas existentes na madeira, inclusive a conicidade que as toras apresentam.

E tal característica, acaba por se tornar uma limitação dos referidos aplicativos, já que, para Valério et al. (2007) e Valério et al. (2009), durante a operacionalização em serrarias, os sistemas utilizados no

desdobro e as características da matéria-prima podem comprometer o rendimento e lucro desejados. Segundo Polzl et al. (2003), os rendimentos obtidos no processo de desdobro das toras em tábuas no Paraná seguem os mesmos níveis de utilização nacionais, de 40% a 45%, ainda sendo um processo com muitas perdas, inviabilizando a operação em muitos cenários.

A escolha dos operadores da serra principal, resserradeiras, canteadeiras e destopadeiras é absolutamente importante, considerando que estes, estão constantemente tomando decisões que dizem respeito a fatores que dependem do bom funcionamento das máquinas, afetando o desempenho da indústria na produtividade, qualidade do produto e o elevado índice de retrabalho para recuperação da matéria-prima, sendo os erros mais recorrentes o excesso de espessura das costaneiras, seleção errada do corte radial e subdimensionamento na largura e comprimento das peças (Murara Junior et al., 2005).

O valor dos produtos depende cada vez mais da tecnologia e inteligência a eles incorporada, e o Brasil ainda não se adaptou a esta realidade (Almeida, 2006). E nessa complexa “equação”, é prudente considerar o rendimento operacional de uma serraria, por isso, o rendimento em madeira serrada é medido pela relação entre o volume de toras desdobradas num período ou turno e o volume de madeira serrada produzido das respectivas toras (Batista et al., 2015b). A avaliação da eficiência em serrarias de grande porte está praticamente em desuso atualmente, por causa da grande automação e da mecanização, nas quais as atividades de produção são comandadas eletronicamente e por poucos operários (Batista et al., 2013).

Entretanto, para Batista et al. (2015b), em serrarias de menor porte - que possuem baixa automação, e muitas vezes, não têm informações precisas a respeito do desempenho operacional da sua produção - o conhecimento da eficiência produtiva é essencial para subsidiar decisões gerenciais que elevem o desempenho do empreendimento, possibilitando saber como e quando realizar a reestruturação interna do empreendimento, permitindo fazer ajustes nas operações produtivas, e/ou investimento no treinamento e qualificação da mão de obra, para, conseqüentemente, fortalecer a pequena empresa e evitando que ela quebre no futuro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos à cerca dos processos que envolvam tecnologias de serrarias e de secagem da madeira encontram-se escassos na literatura. Portanto, é necessário subsidio e incentivos a pesquisas voltadas ao desenvolvimento de equipamentos modernos nas serrarias que tragam avanços significativos na área, bem como nos processos de secagem da madeira. Especialmente quando se leva em consideração o comportamento individualizado que a madeira de cada espécie costuma apresentar. Assim, ampliam-se as espécies em estudo com potencial econômico para a indústria da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMCI (2016). Associação Brasileira Da Indústria De Madeira Processada Mecanicamente. Estudo Setorial da ABIMCI 2016. Ano base 2015/ABIMCI. Curitiba: STCP Engenharia de Projetos. 161p. Disponível em: <<https://abimci.com.br/wp-content/uploads/2019/03/estudo-setorial-abimci-2016-2.pdf>>. Acesso em: 04/07/2021.
- Almeida NA et al. (2011). Caracterização do ambiente de negócios para produção de madeira serrada no Brasil e no Canadá. *Revista Floresta*, 41(4): 751-764.
- Almeida, AN (2006). Estudo Econométrico da Demanda e Oferta de Madeira em Tora para o Processamento Mecânico no Estado do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná (Dissertação), Curitiba. 235p.
- Anjos VA et al. (2011). Caracterização do processo de secagem da madeira nas serrarias do município de Sinop, Mato Grosso. *Ciência da Madeira*, 2(1): 53-63.
- Baraúna EEP et al. (2009). Umidade de equilíbrio da madeira de angelim vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*), guariúba (*Clarisia racemosa Ruiz & Pav.*) e tauari vermelho (*Cariniana micrantha Ducke*) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. *Acta Amazonica*, 39(1): 91-96.
- Batista DC et al. (2013) Desempenho de uma Serraria com Base na Eficiência e na Amostragem do Trabalho. *Floresta e Ambiente*, 20(2): 271-280.
- Batista DC et al. (2015a). Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus sp.* *Ciência Florestal*, 25(3): 711-719.
- Batista DC et al. (2015b). Desempenho operacional de uma serraria de pequeno porte do município de Alegre, Espírito Santo, Brasil. *Revista Floresta*, 45(3): 487-496.
- Batista DC et al. (2016). Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade da secagem convencional da madeira de *Eucalyptus sp.* – Parte 2. *Floresta e Ambiente*, 23(1): 135-141.
- Biasi CP et al. (2007). Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. *Revista Floresta*, 37(1).
- Bonato Junior AI et al. (2017). Efeito do Sistema de Desdobro e das Classes Diamétricas no Rendimento em Madeira Serrada de *Araucaria angustifolia*. *Floresta e Ambiente*, 24: 1-8.
- Borges WMS et al. (2015). Carvão Ativado de Resíduo de Madeira de Candeia: Produção, Caracterização e Avaliação do Potencial Adsorptivo. *Revista Virtual de Química*, 7(6): 1952-1967.
- BRASIL (2007). Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Série Agronegócios; Cadeia Produtiva de Madeira, volume 6. Brasília: IICA:MAPA/SPA. 84p.
- Braz RL et al. (2015). Curva característica de secagem da madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao ar livre. *Floresta e Ambiente*, 22(1): 117-123.
- Busatto LA et al. (2013). Uso de secador solar para secagem de *Pinus sp.* *Ciência da Madeira*, 4(2): 176-190.

- Cabreira, MP (2011). Classificação de resíduos de serraria e seu potencial de utilização. Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pampa (Monografia); São Gabriel. 47p.
- Calil Junior, C. et al. (2003). Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. Barueri: Manole. 152p.
- Calonego FW et al. (2005). Efeito do diâmetro de toras na magnitude das tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. Energia na Agricultura, 20(2): 53-65.
- Cerqueira PHA et al. (2012). Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. Floresta e Ambiente, 19(4): 506-510.
- Ducatti MA et al. (2001). Condições operacionais da secagem convencional em indústrias madeireiras no município de Tietê, SP. Scientia Forestalis, 59: 101-113.
- Dutra RIJP et al. (2005). Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, 5: 1-19.
- Eleotério JR (1996). Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. Ciência Florestal, 6(1): 89-99.
- Fagundes HAV (2003). Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Dissertação); Porto Alegre. 173p.
- Ferreira S et al. (2004). Influência de métodos de desdobro tangencial no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* Cene, 10(1): 1-12.
- Ferro FS et al. (2015). Influência da posição dos instrumentos de medida na determinação do módulo de elasticidade da madeira na compressão paralela às fibras (E_{C0})¹. Revista Árvore, 39(4): 743-749.
- Fontes, PJR (1994). Autossuficiência energética em serraria de *Pinus* e aproveitamento dos resíduos. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, (Dissertação); Curitiba. 153p.
- Galvão APM et al. (1985). Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel. 111p.
- Hoeflich VA (2006). Desenvolvimento florestal sustentável: requerimentos de uma sociedade. (Embrapa Florestas. Documentos, 138), Colombo: Embrapa Florestas. 38p.
- IBÁ (2020). Instituto Brasileiro De Árvores. Relatório anual 2020. São Paulo: IBÁ. 122p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 04/07/2021.
- Menezes WM et al. (2014). Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. Ciência Rural, 44(6): 1019-1024.
- Murara Junior MI et al. (2005). Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. Revista Floresta, 35(3): 1-11.
- Murara Junior MI et al. (2013). Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. Floresta e Ambiente, 20(4): 556-563.


- Novak, RS et al. (2009). Um sistema de otimização aplicado ao desdobro de madeira. In: Anais do XLI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional; 2009; Porto Seguro, Porto Seguro: SBPO. p. 3030-3040. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2009/artigos/56055.pdf>>. Acesso em: 04/07/2021.
- Oliveira JTS et al. (2005). Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. *Revista Árvore*, 29(1): 115-127
- Perez PL et al. (2006). Mercado de madeira serrada. *Agroanalysis*, 26(8): 21-23.
- Petrauski SMFC et al. (2012). Competitividade do Brasil no mercado internacional de madeira serrada. *Cerne*, 18(1): 99-104.
- Polzl WB et al. (2003). Cadeia produtiva do processamento mecânico da Madeira – Segmento da madeira serrada no Estado do Paraná. *Revista Floresta*, 33(2): 127-134.
- Rezende RN et al. (2015). Efeito da vaporização na secagem de tábuas de *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, 21(1): 37-43.
- Rocha JS (1994). A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Dissertação), Piracicaba. 160p.
- Rosso S (2006). Qualidade da madeira de três espécies de eucalipto resultantes da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Floresta, Universidade Federal de Santa Maria (Dissertação), Santa Maria. 91p.
- Salvador FM (2013). Desempenho operacional de uma serraria na Microrregião Polo Linhares, Espírito Santo. Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (Monografia). Jerônimo Monteiro. 39p.
- Santos RC et al. (2008). Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. *Cerne*, 14(3): 241-250.
- Santos GRV (2002). Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* [Hill. Ex Maiden]. Programa de Pós-Graduação Ciências Florestais, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", (Dissertação), Piracicaba. 81p.
- Santos SRCA (2012). Histórico e evolução dos equipamentos de secagem de madeira para uso estrutural. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, (Dissertação), Campinas. 132p.
- Silva JC et al. (2003). Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. *Revista Árvore*, 27(2): 233-239.
- Susin F et al. (2014). Taxa de Secagem e Qualidade da Madeira Serrada de *Hovenia dulcis* Submetida a Dois Métodos de Secagem. *Floresta e Ambiente*, 21(2): 243-250.

- Valério AF et al. (2007). Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. Revista Floresta, 37(3): 387-398.
- Valério AF et al. (2009). Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Revista Floresta, 39(3): 619-628.
- Zen LR et al. (2019). Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto. Journal of Biotechnology and Biodiversity, 7(2): 291-298.
- Zen LR (2016). Métodos combinados para secagem da madeira de Eucalyptus: pré-secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná (Dissertação), Curitiba. 106p.


Redes neurais artificiais aplicadas na estimativa da altura total de *Eucalyptus* sp.


Recebido em: 14/07/2021


Aceito em: 20/07/2021

 10.46420/9786588319796cap7

Aline Roja Rolmos¹ 

Lucas Kröhling Bernardi^{2*} 

Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch³ 

Claudio Roberto Thiersch⁴ 

INTRODUÇÃO

O setor Florestal brasileiro se tornou um dos mais competitivos a nível global nos últimos anos e contribui determinadamente na movimentação da economia nacional. Em 2019 representou 1,3% de todo o PIB e 6,9% do PIB industrial. Contudo, neste mesmo período, a inflação do setor apresentou taxas de 6,77%, superiores à média nacional de 4,31% representados pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor - IPCA (IBÁ, 2020). Em outras palavras, os custos do setor Florestal cresceram 2,46% a mais do que o custo médio nacional, o que representa, então, um aumento no preço da atividade.

Mesmo com indicadores econômicos desfavoráveis, a atividade continua a apresentar resiliência, principalmente por sua posição como florestas mais produtivas do mundo. No entanto, para ganhar ainda mais representatividade mundial há muitos desafios a serem superados e oportunidades a serem desenvolvidas. Torna-se então, importante o fortalecimento da visão conjunta do setor, orientando a tomada de decisões numa perspectiva de curto, médio e longo prazo, em outras palavras, o Planejamento estratégico.

A operação de planejamento no negócio florestal pode representar a diferença entre o sucesso e o fracasso do empreendimento. Tendo em vista o horizonte da atividade com média de sete anos, a possibilidade de mudanças no cenário econômico é intrínseca. Através da predição de produção, do controle da redução de custos e da otimização das atividades, o exercício do planejamento tende a reduzir as incertezas, e aumentar as decisões assertivas.

Para ser bem-sucedido, é fundamental entender o comportamento do material, desta forma o gestor terá como saber se o crescimento da floresta está dentro do esperado ou se alguma medida mitigadora deverá ser adotada. Tais perspectivas são obtidas através de estimação de características das

¹ Engenheira Florestal.

² Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba.

³ Profa. Dra., Departamento de Administração, Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba.

⁴ Prof. Dr. Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba.

* Autor correspondente: bernardilucas@estudante.ufscar.br

árvores, como área basal, volume etc. Atualmente uma vasta gama de métodos está disponível para estimativa destas informações, dentre eles se destacam as técnicas tradicionais de regressão amplamente utilizada e as redes neurais artificiais (RNAs), que ganharam olhares do setor florestal recentemente.

A medição da altura das árvores é motivo de discussões no meio da biometria, pelo fato de sua aferição ser feita indiretamente e por dificuldades na obtenção da medição em situação de vento ou por falta de visibilidade do topo da árvore em florestas densas, como é o caso de povoamento de eucalipto. Ademais, a operação é considerada por Binoti et al. (2013), componente significativo no custo do inventário florestal. Desta forma, o uso da hipsometria, em que se estima a altura das árvores não medidas na parcela a partir da relação de seu diâmetro a 1,3 m do solo (dap) com as alturas das medidas, é empregada como forma de reduzir o custo do inventário.

Por serem seres biológicos, as respostas de crescimento são influenciadas também por variáveis ambientais e silviculturais, como por exemplo o material genético, podendo ser empregada em regressões para aumentar a precisão das estimativas e o maior realismo dos dados. Uma abordagem alternativa que tem sido considerada promissora na estimativa da altura, consiste no emprego de RNAs (Binoti et al., 2013; Vendruscolo, 2015). Assim como a regressão clássica, esta é capaz de lidar com problemas complexos, modelando diversas variáveis, incluindo suas relações não lineares, e lidando com modelagem numérica e categórica (Haykin, 2001).

Sendo assim, ao considerar importante a correta expressão dos valores estimados, bem como, buscar otimizar o trabalho de coleta de dados em campo, este estudo tem como proposta comparar as redes neurais artificiais com um modelo hipsométrico genérico visando verificar a capacidade destes em estimar a altura total considerando diferentes intensidades amostrais.

Análise de Regressão

Frequentemente utilizada no meio florestal, a análise de regressão é usualmente empregada na estimativa de volume de madeira em função do diâmetro e da altura das árvores. No inventário florestal, as informações são obtidas a partir de unidades amostrais com função de representar o povoamento para que a qualidade das informações obtidas no levantamento de campo adquira importância (Couto et al., 1989). Entretanto a medição da altura das árvores é uma atividade onerosa e por ser tomada indiretamente, está sujeita a grandes erros, enquanto o diâmetro das árvores é uma medida muito mais facilmente obtida. Para contornar a dificuldade, o valor de altura total das árvores da parcela pode ser estimado com a aplicação de modelos matemáticos que estabelecem uma relação biométrica entre os diâmetros e alturas observados, conhecidas como equações hipsométricas (Thiersch, 2007).

Em um inventário florestal feito utilizando hipsometria, mede-se o diâmetro na altura do peito (dap) de todas as árvores da parcela e a altura total (ht) de algumas árvores (Couto et al., 1989; Thiersch, 2007). Desta maneira a coleta de dados é feita com maior facilidade e o resultado do inventário mantém qualidade.

Desde Trorey (1932), citado por Machado et al. (1994), vários modelos matemáticos foram desenvolvidos para representar a relação hipsométrica de povoamentos florestais. Alguns dos autores conhecidos por estudar modelos hipsométricos ditos empíricos são Couto et al. (1989), Cardoso (1989), Scolforo (1997), Bartoszeck et al. (2003) e Barros et al. (2002).

Ao se adotar a técnica, é necessário dedicar atenção à alguns fatores, a fim de evitar erros na estimação dos valores. Diversos autores apontam que a relação ht/dap é afetada por outras características do povoamento, em especial a idade, a qualidade do sítio expressa pela altura dominante das árvores, a densidade e por práticas silviculturais em geral. Diante deste fato, Barros et al. (2002) apontam a importância de selecionar corretamente o modelo que se adeque às necessidades do povoamento estudado, muitas vezes homogêneo em características silviculturais. A solução para este cenário pode ser encontrada na aplicação de modelos genéricos, que permite estimar a variável de interesse para um conjunto de informações oriundas de povoamento com características silviculturais homogêneas.

Barros et al. (2002) destacam aspectos positivos da aplicação de modelos genéricos quando confrontados com os tradicionais. Dentre eles está a redução no custo de processamento dos dados ao eliminar a necessidade de ajustar equações específicas para cada parcela, e o aumento na precisão dos ajustes por permitirem entradas de informações silviculturais. Por outro lado, Soares et al. (2004), aponta em seu estudo que apesar do potencial de utilização dos modelos genéricos, os modelos hipsométricos ajustados por parcela são mais acurados.

Redes Neurais Artificiais

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são técnicas computacionais que se inspiram na estrutura Neural do cérebro humano e modelam o relacionamento entre um arranjo de sinais de entrada e de saída com finalidade de desempenhar uma tarefa específica. Assim como o modelo biológico, este é formado por células de processamento simples interconectadas chamadas de Neurônios Artificiais, formando um paralelo de processamento massivo (Rede) capaz de adquirir conhecimento através da prática e resolver coletivamente problemas complexos e ambíguos. Este processo de determinação de valor para os parâmetros de entrada são chamados Aprendizado ou Treinamento (Lantz, 2015; Bishop, 1995).

A temática emergiu na década de 40 com o trabalho de Warren McCulloch e Walter Pitts, que resultou na publicação do artigo "*A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*" (Um Cálculo Lógico das Ideias Imanentes na Atividade Nervosa), considerado referência para os demais pesquisadores de RNA. Ainda nesta década, o neuropsicólogo Donald Hebb avançou mais ao defender a teoria da plasticidade sináptica em seu livro "*The Organization of Behavior*" (A Organização do Comportamento), em que analisa o processo de aprendizagem através de condicionamento psicológico em seres biológicos (HEBB, 1949). Suas conclusões são referidas como Regra de Hebb ou Teoria Hebbiana e são utilizadas no treinamento de diferentes tipos de redes.

O entusiasmo pelo campo de estudo continuou crescendo durante dos anos de 50 e 60. Em 1958, Frank Rosenblatt propôs um modelo inovador de rede chamado *Perceptron*, com apenas uma camada de processamento simples, desenvolvido para lidar com problemas de reconhecimento de padrões. O modelo foi amplamente aplicado nos anos que se sucederam, entretanto no final dos anos 60, foi desconstruído pelos pesquisadores Marvin Minsky e Seymour Papert ao apontar importantes limitações à aplicação do modelo em seu livro “*Perceptrons: an introduction to computational geometry*” (Perceptrons: Uma introdução à geometria computacional) (Widrow et al., 1990).

Em uma tentativa de melhorar o desempenho do *Perceptron*, Rosenblatt propôs a rede *Perceptron Multilayers* (com múltiplas camadas), que nada mais é do que uma rede do tipo Perceptron, com pelo menos uma camada intermediária. Com a necessidade de aplicar um algoritmo de treinamento mais sofisticado e com o aumento dos recursos computacionais disponíveis, Rosenblatt e os pesquisadores Geoffrey Hinton, and Ronald Williams introduziram o poderoso *Backpropagation*, (1986) método que possibilita a retro propagação do erro e ajuste dos pesos (LANTZ, 2015).

Nos anos 50 também, Marvin Minsky, junto com outros pesquisadores da neurociência, desenvolveu o primeiro neuro computador chamado de Snark, bem-sucedido ao ajustar peso automaticamente. Apesar disso, o Snark nunca executou um processamento (Widrow et al., 1990).

Ao mesmo tempo em que Rosenblatt estava desenvolvendo o *Perceptron*, Bernard Widrow junto com seus colegas de trabalho, estavam trabalhando na mesma linha (Widrow et al., 1990). Em 1962, Widrow propôs uma estrutura de rede com processamento paralelo, chamada *Adaline*. Diferente da *Perceptron*, que sofreu uma perda de credibilidade, esta continua a ser aplicada para programação de Redes. O termo *Adaline* vem de *ADaptive LINear Element* (Elemento Linear Adaptativo), e se refere a uma única unidade de processamento com não-linearidade de limiar, da mesma forma que o *Perceptron* (Lantz, 2015).

Segundo Haykin (2001), todas as RNAs, incluindo aquelas do tipo simples ou em múltiplas camadas, contêm um ou mais neurônios artificiais de processamento. O funcionamento da RNA basicamente consiste na alimentação dela por meio de *inputs* na camada de entrada, responsável somente por receber e transmitir estes sinais para as camadas ocultas, e estas então processam os *inputs* nos neurônios através da aprendizagem.

Aprendizado Supervisionado

Lantz (2015) explica que dado um conjunto de dados de entrada, o algoritmo de aprendizado supervisionado busca otimizar o modelo para encontrar uma combinação de valores das variáveis (o conjunto de pesos em se tratando de RNAs) que resulte na saída desejada. O termo “supervisionado” não se refere a um supervisor humano, mas sim ao fato de que os valores-alvo fornecem um jeito para rede identificar o quão bem ela está aprendendo a tarefa desejada. Este método é aplicado em Modelos de Previsão (*Predictive Model*), justamente em virtude da característica do algoritmo de encontrar uma

relação entre os *outputs* e as demais variáveis. O algoritmo mais comumente aplicado para o aprendizado supervisionado é o *Backpropagation*, mencionado no item anterior (Andrade, 2011; Lantz, 2015).

Aprendizado não-supervisionado

Opondo-se ao aprendizado supervisionado, o não supervisionado não utiliza um supervisor para observar o processamento. Enquanto o primeiro prevê o objetivo de interesse, neste modelo nenhuma variável é mais importante que outra. Em virtude das suas características, o modelo em que se aplica este método é o Modelo Descritivo (*Descriptive Model*). Segundo Andrade (2011), para que seja possível o aprendizado neste tipo de modelo, se faz necessária a apresentação de dados regulares. Por suas características, o modelo é indicado para problemas em que se identificam características estatísticas como a separação em classes.

Problemas de Dimensionamento

A definição da arquitetura da rede, em outras palavras, determinar o número de camadas e o número de neurônios presentes em cada camada, é parte fundamental no processamento. Segundo Braga et al. (2007), o número de neurônios presente em uma rede é diretamente proporcional a sua complexidade, naturalmente então, a estrutura da Rede é dependente da complexidade do problema em questão. O dimensionamento inadequado da Rede pode prejudicar o desempenho do processamento, ocasionando em problemas de generalização. Redes superdimensionadas levam ao problema conhecido como *overfitting*, e as subdimensionadas podem provocar o chamado *underfitting* (Haykin, 2001).

Como mencionado, *overfitting* pode ser resultado do superdimensionamento da arquitetura da rede, ao se utilizar um número superior de neurônios ou de camadas ao necessário para o treinamento da rede. Outro cenário que justifique o problema é o excesso de épocas aplicadas no treinamento, fazendo com que a rede memorize os padrões de treino e se torne incapaz de responder genericamente (Haykin, 2001).

Haykin (2001) explica o *underfitting* como sendo a incapacidade da rede expressar resultados acurados, resultante da insuficiência de treinamento. Ao contrário do problema de *overfitting*, redes sofrem *underfitting* quando sua arquitetura está dimensionada com baixo número de neurônios ou de camadas ou o treinamento foi feito utilizando baixo número de épocas (Haykin, 2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo são provenientes da medição de parcelas permanentes do inventário florestal contínuo (IFC), feito em povoamento clonal de eucalipto com 307,77 ha de área no interior do estado de São Paulo.

A base de dados contém 6.050 árvores medidas no total, das quais 1.636 contém informação de altura total, alocadas em 109 parcelas circulares de aproximadamente 400 m². De todas as árvores foram extraídos os dap e identificado o material genético. Mediu-se a altura de todos os indivíduos que compõem as 2 fileiras centrais (cerca de 12 medidas por unidade) e a altura das 3 árvores de maior dap, consideradas altura dominante (hdom). Todos os indivíduos foram devidamente categorizados utilizando-se as seguintes categorias: normal, falha, morta, quebrada, dominada, dominante e múltiplos fustes.

A partir da análise prévia por categorias, eliminaram-se as árvores classificadas como falha, morta, quebrada e dominada, buscando com isso retirar indivíduos com relação entre diâmetro e altura não modeláveis. Em seguida, os dados restantes foram segregados em duas bases, uma para treinamento da rede e processamento do ajuste hipsométrico, e outra para a validação. Para a separação das bases, aplicou-se uma sequência numérica aos dados de 1 a no máximo 15, em que aqueles alocados entre 1 e 10 seguiram para o treinamento e processamento, enquanto o restante foi utilizado na validação.

A fim de melhorar o desempenho no treinamento e aplicação da rede, o tipo de normalização aplicada foi a transformação linear, obedecendo à equação 1.

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

onde: y_i é o valor normalizado, x_i é o valor original, x_{\min} assume o valor mínimo de x e x_{\max} o valor máximo de x .

Como consequência ao processo de normalização nos valores de entrada da rede, temos que os valores de saída estão também limitados entre (-1 e 1). Desta forma, estes valores de saída foram então submetidos ao processo inverso de transformação, obtendo-se assim os valores originais de altura esperada.

Cenários

Com o objetivo de analisar a resposta de ambas as metodologias de estimativa sobre diferentes intensidades amostrais, foram testados os ajustes com intensidade de 4, 6, 8 e 10 valores de altura total por parcela.

A base de dados utilizada na validação para todos os cenários foi a mesma, com amplitude de no máximo 5 alturas totais por parcela.

Treinamento e avaliação da RNA

As redes treinadas para todos os cenários propostos neste estudo, com o objetivo de estimar as alturas das árvores a partir do dap correspondente e da influência do material genético, foram do tipo *Perceptron* simples, com uma camada de neurônios artificiais que recebe e processa os dados de entrada.

Em geral, quanto mais complexa for a arquitetura da rede, fazendo maior número de conexões, é possível que ela aprenda a lidar com problemas mais complexos também. Entretanto, o excesso de neurônios ajustados trás o risco do empobrecimento da generalização, além de aumentar o custo computacional do processamento (Haykin, 2001). A escolha é baseada então, na alta correlação entre as variáveis altura total e dap, eliminando a necessidade de complexar a arquitetura para atingir um resultado satisfatório. A arquitetura enxuta reduz o tempo de processamento para bases de dados grandes e favorece o dinamismo do processamento. A melhor RNA em número de neurônios artificiais foi determinada com base na avaliação do poder de estimativa da rede, ou seja, a correlação das alturas estimadas pela rede com as reais. Para isso foi treinado um número duas vezes superior ao número de variáveis de entrada, totalizando 18 redes. Aquela que forneceu menor erro de estimativa foi aplicada à generalização.

Como variável categórica, o material genético na sua forma bruta não consegue ser processado pela rede. Para tanto, a entrada foi ajustada no modelo numérico como *Dummy Variable*, transformando a informação nominal em uma combinação de 0 e 1 (Wonnacott et al., 1969).

Ajuste hipsométrico

O modelo hipsométrico ajustado para este estudo agrega a influência do material genético e da altura dominante na determinação da relação ht/dap, bem como, busca tornar imparcial a comparação entre as metodologias. A equação aplicada para representar a relação hipsométrica foi o modelo genérico de Curtis em sua forma linearizada, descrito pela equação 2.

$$\ln(ht_i) = \text{matgen} + b1 * \left(\frac{1}{dap}\right) + b2 * \ln(hdom) + \varepsilon \quad (2)$$

onde ht_i representa a altura total da árvore i ; dap é o diâmetro do tronco da árvore i a uma altura de 1,30 m do solo; hdom é a altura das árvores dominantes; e ε o erro associado do modelo.

Critérios de avaliação

A avaliação das estimativas fornecidas por ambas as metodologias foi feita com base na análise gráfica dos resíduos e do histograma de erros percentuais, bem como na análise do erro padrão residual ($S_{yx}\%$), valor que expressa a diferença quadrática média entre os valores reais e estimados e pode ser representado pela equação 3.

$$S_{yx}(\%) = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}{n}} \quad (3)$$

onde $S_{yx}(\%)$ representa erro padrão da estimativa em porcentagem; y é o valor da altura observada; \bar{y} o valor de altura estimada e n indica o número de observações

Todo o processamento foi feito no *software* livre R, na versão 3.3.2, sendo que para o processamento das RNAs utilizou-se o pacote *neuralnet* (Fritsch et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO***Arquitetura da RNA***

Para Haykin (2001), a melhor prática quando se trata de dimensionar a arquitetura de uma RNA, é usar o menor número de nós que resultam em desempenho adequado em um conjunto de dados de validação. Na maioria dos casos, mesmo com apenas um pequeno número de neurônios escondidos a rede neural pode oferecer uma enorme quantidade de capacidade de aprendizagem.

Com base na simulação do desempenho das arquiteturas propostas por meio do erro padrão residual, definiu-se o número de neurônios ideal para compor a RNA, expresso junto à outras características inerentes ao processamento na Tabela 1.

Tabela 1. Características e desempenho das Redes Neurais selecionadas para estimar a altura dominante. Fonte: Os Autores.

| RNA | I.A. (ht/ha) | Arquitetura | Entradas Categóricas | Treinamento | | Generalização | |
|-----|--------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | S _{xy} (m) | S _{xy} (%) | S _{xy} (m) | S _{xy} (%) |
| A | 4 | 6-1 | MATGEN | 0,862 | 3,452 | 1,110 | 4,704 |
| B | 6 | 2-1 | MATGEN | 0,964 | 3,938 | 1,107 | 4,693 |
| C | 8 | 14-1 | MATGEN | 0,929 | 3,810 | 1,113 | 4,715 |
| D | 10 | 3-1 | MATGEN | 0,929 | 3,810 | 1,113 | 4,715 |

I.A. = Intensidade Amostral; Arquitetura: Número de neurônios em cada camada; Entradas categóricas: MATGEN = Material Genérico

Graficamente representado na Figura 1, nota-se certa estabilidade no comportamento da performance da arquitetura, com exceção do ajuste com somente quatro amostras de altura total. Este responde de forma instável e com maiores oscilações quanto ao erro.

Há também discrepância em todos os casos para arquiteturas de neurônio único, onde o erro padrão residual é mais elevado e destoia do comportamento, demonstrando que este modelo é inadequado na estimativa da variável de interesse. Contudo faz-se importante atentar ao fato de que o aumento na complexidade da arquitetura não necessariamente implica em uma melhora na estimativa. Haja vista a arquitetura selecionada com dois neurônios apenas, para descrever o cenário B.

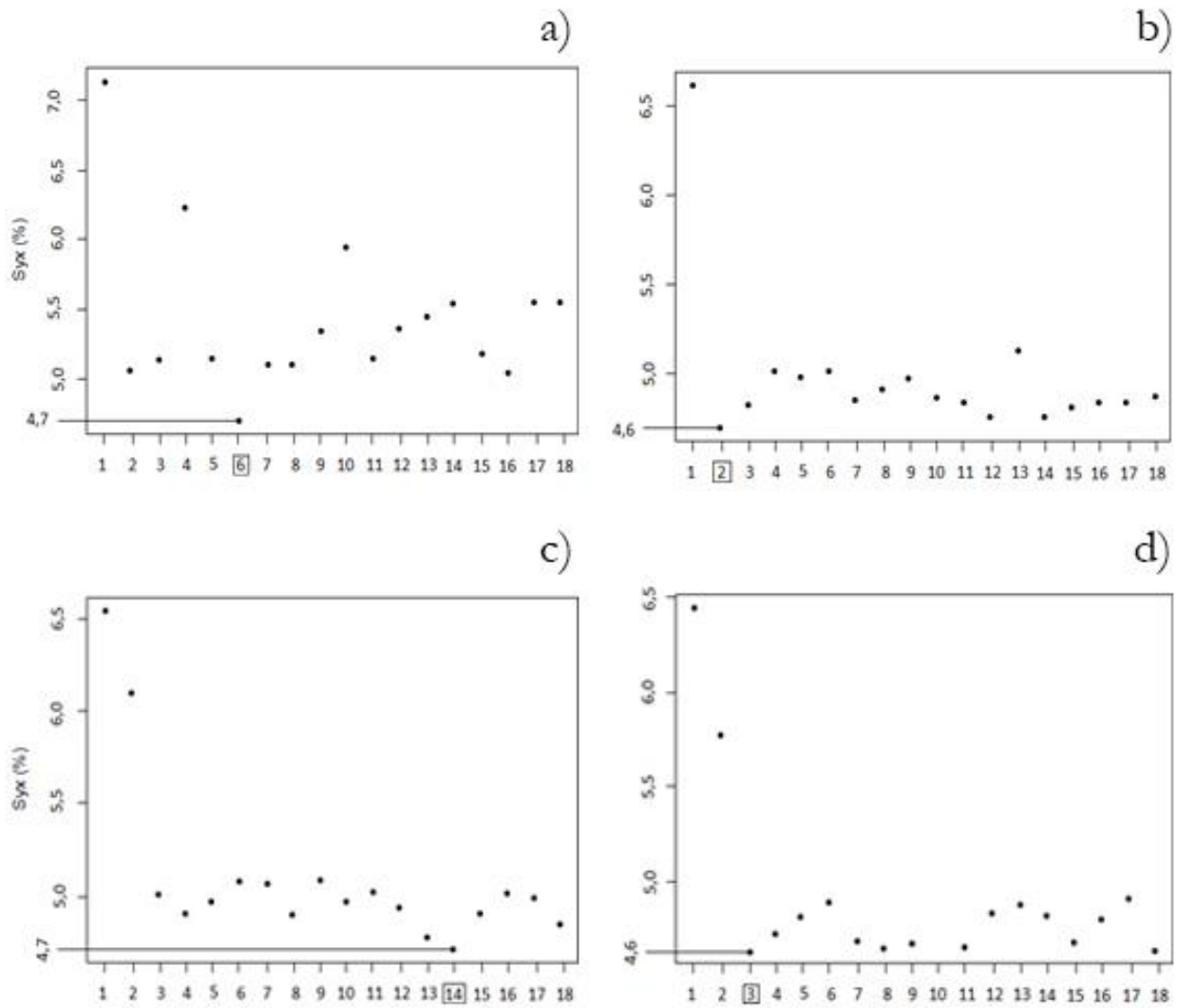


Figura 1. Gráfico do Erro Padrão Residual da Generalização para variação da arquitetura em número de neurônios nas intensidades amostrais de (a) Quatro, (b) Seis, (c) Oito e (d) Dez alturas. Fonte: Os Autores.

Erro Padrão Residual

O modelo hipsométrico normalizado na forma logarítmica fornece resultados também na forma logarítmica. Como forma de facilitar a comparação e o entendimento dos resultados, as estimativas foram transformadas para metros, unidade da variável de interesse ht, utilizando a solução deduzida por Furnival (1961), que propôs um índice de conversão descrito na equação 4.

$$IF = 2,3026 [V] S_1 \tag{4}$$

Os resultados do Erro Padrão Residual ($S_{yx}^0\%$) para cada situação Intensidade e Metodologia estão representados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2. Erro padrão residual das RNAs e Índice de Furnival para o modelo hipsométrico genérico considerando diferentes intensidades amostrais. Fonte: Os Autores.

| I.A. (ht/parcela) | S_{yx} (RNA) % | IF (Hipso) % |
|-------------------|------------------|--------------|
| QUATRO | 5.55 | 7.35 |
| SEIS | 4.86 | 6.74 |
| OITO | 4.85 | 6.71 |
| DEZ | 4.63 | 6.66 |

I.A. = Intensidade Amostral; RNA = Rede Neural Artificial; Hipso = Ajuste Hipsométrico

Este parâmetro indica o quão próximo os valores estimados são dos valores observados. Desta forma, quanto mais próximo de zero for o erro padrão residual ou o índice de Furnival de um ajuste, mais o valor estimado se aproxima do valor real, portanto melhor ele é (Rufino et al., 2010). Os processamentos da RNA e do ajuste hipsométrico apresentaram resultados abaixo de 8% sendo que a melhora no desempenho é progressiva com o aumento da intensidade amostral. O valor encontrado para S_{yx} neste estudo, por ser inferior a 10%, pode ser considerado adequado quando comparado à valores encontrados por outros autores utilizando metodologias tradicionais de estimativa (PONTES NETO 2012; SOUSA et al., 2013; BARROS et al., 2002).

Mesmo que haja melhora, com exceção da amostragem na intensidade de quatro indivíduos, a variação entre os demais resultados é diminuta, não ultrapassando a casa dos 0,2%. Entre as metodologias, a estimativa das RNAs se mostrou mais acurada do que o modelo genérico para a base ajustada.

Análise gráfica

A análise gráfica dos resíduos permite identificar tendências no comportamento dos valores estimados. Desta forma, ainda que os demais parâmetros sejam bons indicadores, este procedimento é decisivo na determinação da escolha mais adequada de estimativa. No entanto é necessário destacar que o procedimento de análise é visual, portanto, subjetivo, e deve ser feito em paralelo às demais análises estatísticas. A partir do gráfico também é possível verificar se há homogeneidade de variância.

A inspeção gráfica da dispersão dos resíduos (Figura 2) demonstra similaridade no comportamento de ambas as metodologias.

Em todos os modelos ajustados o erro de hora inflacionar, e outra hora deflacionar estiveram compreendidos entre 20 a -30%, no entanto a amplitude do desvio para o modelo genérico de Curtis foi mais acentuada (Figura 2), ainda assim permanecendo dentro esperado ao observar com os resultados obtidos por Barros et al. (2002) em seu estudo com modelos genéricos.

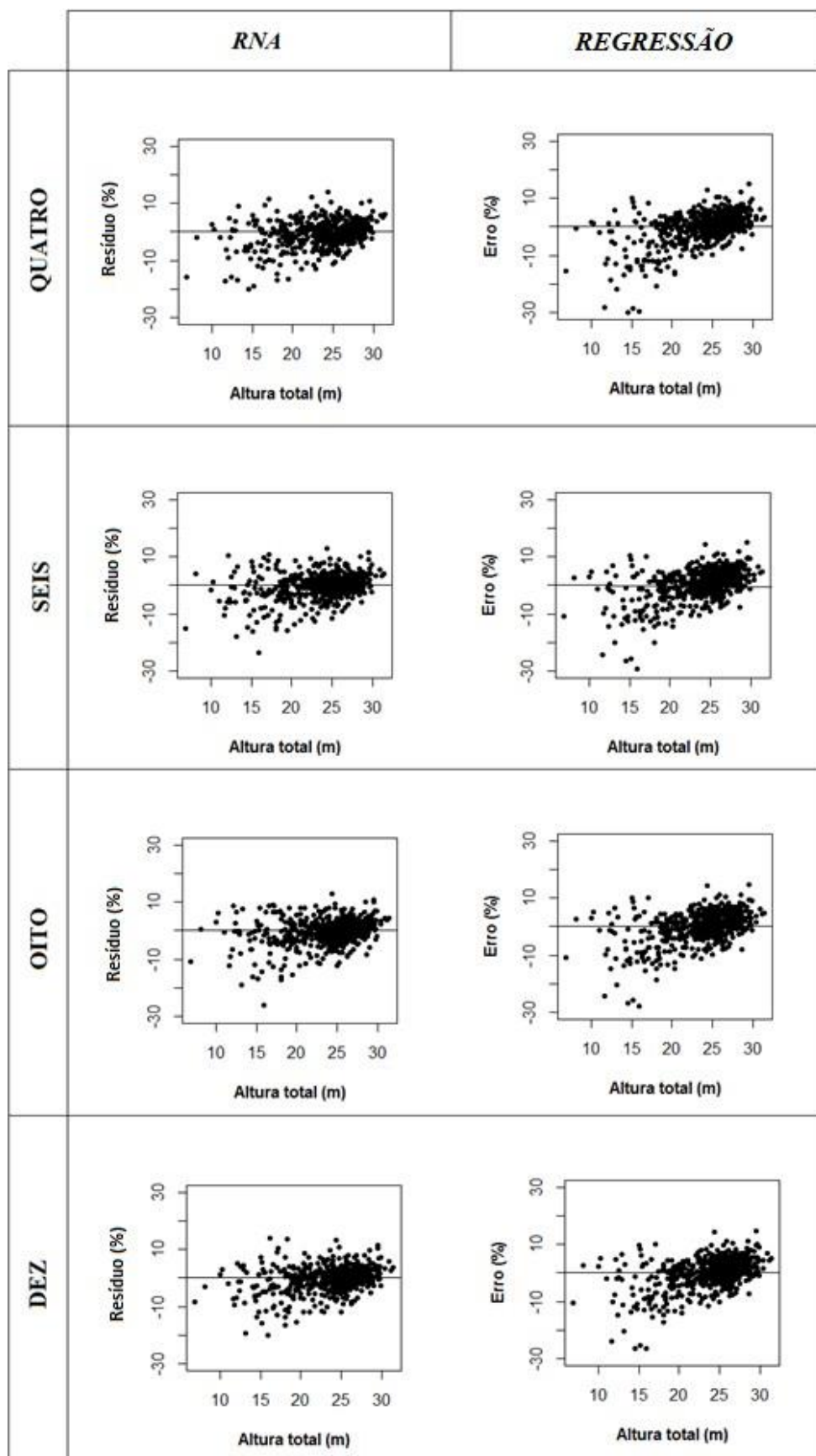


Figura 2. Gráficos de dispersão para cada intensidade amostral processada através do modelo genérico de Curtis. Fonte: Os Autores.

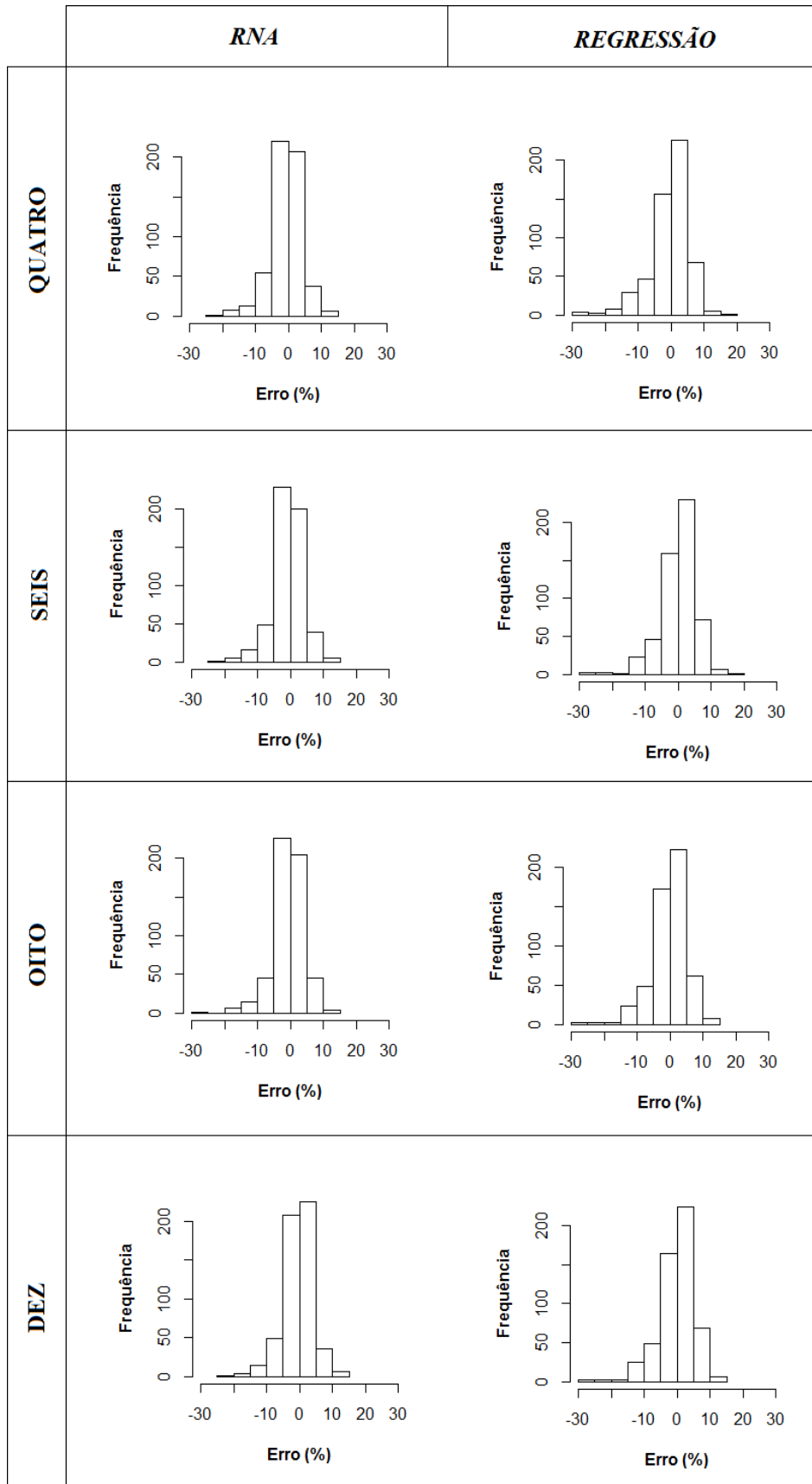


Figura 3. Histogramas da distribuição de resíduos para cada intensidade amostral processada através da Rede Neural Artificial e do modelo genérico de Curtis. Fonte: Os Autores.

Com um olhar mais atento, também se percebe que tanto o modelo genérico quanto as RNAs, apresentam tendenciosidade em superestimar os valores de Altura total na dispersão dos resíduos (Figura 2). Barros et al. (2002) afirmam que tal resultado é considerado inadequado.

Para Campos et al. (2013) a avaliação dos resíduos em forma de histogramas pode ser útil em situações em que há um grande número de observações, uma vez que somente os gráficos de dispersão podem levar ao risco de má interpretação em decorrência do risco de sobreposição dos pontos no gráfico (Vendruscolo et al. 2015). O histograma também demonstra se as estimativas descrevem um comportamento de distribuição normal.

Os histogramas de frequência dos erros para ambas as metodologias estimadoras, RNA e Regressão, apresentaram uma distribuição adequada segundo Vendruscolo et al. (2015), com as maiores frequências nas classes próximas a -10% e 10% de erro (Figura 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação do desempenho das redes neurais artificiais dimensionadas quanto ao número de neurônios, demonstra que arquiteturas de único neurônio perdem notavelmente a capacidade de produzir boas estimativas. Entretanto não é necessário o uso de elevado grau de complexidade ao estimar variáveis com alta correlação, podendo até mesmo ser prejudicial quanto ao custo computacional que isto implica.

Conforme descrito na metodologia, a análise de desempenho das ferramentas na estimativa das alturas foi realizada primeiramente com relação ao menor erro padrão residual. No entanto, os erros padrões residuais encontrados para todos os tratamentos foram muito semelhantes. Ainda assim, considerando a variação na intensidade amostral, todas as RNAs ajustadas obtiveram resultados inferiores na fase de treinamento, significando maior eficácia na estimativa de acordo com este parâmetro de avaliação. Para o mesmo indicador, a intensidade amostral de quatro indivíduos por parcela apresenta desempenho destoante, enquanto as intensidades de 6, 8 e 10 não apresentam melhora notável.

Para o critério de análise gráfica, ambas as metodologias para qualquer das intensidades amostrais propostas demonstraram tendenciosidade para superestimar os valores de altura.

Não foi possível identificar melhora significativa na estimativa com o aumento na intensidade amostral, entretanto ficou claro que o desempenho tanto do modelo hipsométrico quanto da Rede Neural Artificial com somente quatro medições de altura, é inferior aos outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade LN (2011). Redes Neurais Artificiais Aplicadas na Identificação Automática de Áreas Cafeeiras em Imagens de Satélite. Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação), Belo Horizonte. 92p.


- Barros DA et al. (2002). Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. Boletim de Pesquisa Florestal, (45): 3-28.
- Binoti DHB et al. (2013). Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias, 8(1): 125-129.
- Binoti MLMS et al. (2013). Aplicação de Redes Neurais Artificiais para Estimção da Altura de Povoamentos Equiâneos de Eucalipto. Revista Árvore, 37(4): 639-645.
- Bishop CM (1995). Neural networks for pattern recognition. Oxford University Press, Inc., USA. 482p.
- Braga AP et al. (2007). Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC. 260p.
- Campos JCC et al (2013). Mensuração Florestal: perguntas e respostas. 4. ed. Viçosa: UFV, 605p.
- Couto HT et al. (1989). Mensuração e Gerenciamento de Pequenas Florestas. Documentos Florestais, (5): 1-37.
- Fritsch S et al. (2016). Neuralnet package: Training of Neural Networks. v. 1.33. CRAN: R Documentation.
- Furnival GM (1961) An Index for Comparing Equations Used in Constructing Volume Tables, Forest Science, 7(4): 337-341.
- Haykin S (2001). Redes neurais: princípios e prática. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 900p.
- Hebb DO (1949). The Organization of Behavior: a neuropsychological theory. Nova York: John Wiley and Sons. 335p.
- Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual IBÁ 2020. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2020.
- Lantz B (2015). Machine Learning with R. 2 ed. Birmingham: Packt Publishing. 452 p.
- Machado AS et al. (1994). Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. Cerne, 1(1): 5-12.
- Mendonça AR et al. (2015). Modelos Hipsométricos Generalizados Mistos na Predição da Altura de Eucalyptus sp. Cerne, 21(1): 107-115.
- Pontes Neto TP (2012). Comparação de Modelos Lineares e não Lineares em Relações Hipsométricas para Clones se *Eucalyptus* spp., no Polo Gesseiro no Araripe-PE. Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco (Dissertação), Recife. 75p.
- Rufino RF et al. (2010). Ajuste de Modelos Hipsométricos para um Povoamento de Eucalipto Conduzido Sobre o Sistema de Rebrotas. Enciclopédia Biosfera, 6(10): 1-10.
- Soares TS et al. (2004). Uso de Diferentes Alternativas para Viabilizar a Relação Hipsométrica no Povoamento Florestal. Revista Árvore, 28(6): 845-854.
- Sousa GTO et al. (2013). Relações Hipsométricas pra *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadiano Sudoeste da Bahia. Scientia Plena, 9(4): 1-8.

- Thiersch CR (2007). Uma Nova Proposta Metodológica para Cubagem Rigorosa e Ajuste de Modelos Hipsométricos. Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (Tese), Lavras. 36p.
- Vendruscolo DGS et al. (2015). Estimativa da altura de eucalipto por meio de regressão não linear e redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Biometria*, 33(4): 556-569.
- Widrow B et al. (1990). 30 years of adaptative neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation. *Proceedings of the IEEE*, 78(9): 1415-1442.
- Wonnacott TH et al. (1969). *Introductory statistics*. Nova York: John Wiley and Sons. 269p.

As espécies de *Desmodium* (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional: potencialidades a pecuária na região de Alta Floresta, Mato Grosso


Recebido em: 14/07/2021


Aceito em: 21/07/2021

 10.46420/9786588319796cap8

José Martins Fernandes^{1*} 

Anderson Alex Sandro Domingos de Almeida² 

Karen Ribeiro Cruz³ 

Célia Regina Araújo Soares Lopes¹ 

INTRODUÇÃO

O Estado de Mato Grosso possui o maior rebanho bovino do Brasil, com cerca de 31 milhões de cabeças em 2020 (MT, 2018; INDEA, 2020), considerado o sexto maior produtor de gado do mundo (Mato Grosso, 2018). Em 2020, os principais municípios do estado em número de cabeças de gado, foram: Cáceres (1.082.172), Vila Bela da Santíssima Trindade (1.057.537), Juara (931.824), Alta Floresta (797.186), Juína (777.744), Pontes e Lacerda (699.528) e Colniza (650.298), conforme INDEA (2020). São municípios, que em sua maioria, estão situados no bioma Amazônia, posteriormente Pantanal e Cerrado (Borges et al., 2014).

O estado possui cerca de 23.011.251 hectares com pastagens, sendo 19.015.554 hectares plantados e 3.995.697 naturais (IBGE, 2017), importante fonte econômica ao estado, mas por outro lado, é uma prática que acarreta a perda de biodiversidade e o comprometimento de rios e nascentes, quando não implantadas práticas sustentáveis. A pecuária brasileira é caracterizada pelo sistema extensivo baseada na utilização das pastagens, as quais representam a fonte mais abundante e econômica na alimentação de ruminantes (Simioni et al., 2014).

Dentre as possibilidades na implantação de pastagens está a prática da consorciação, que é uma forma eficiente de diversificação das pastagens, além de ter uma produção animal sustentável, principalmente entre leguminosas e gramíneas, favorecendo o consumo dos animais e proporcionando

¹ Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado (UNEMAT), Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas, Herbário da Amazônia Meridional. Avenida Perimetral Rogério Silva, s/n, Bairro Jardim Flamboyant, Alta Floresta, MT, Brasil.

² Mestrando - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos (UNEMAT), Alta Floresta, MT, Brasil.

³ Graduanda - Curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas; Herbário da Amazônia Meridional (UNEMAT), Alta Floresta, MT, Brasil.

* Autor correspondente: jose.martins@unemat.br

melhor o desempenho animal, além de otimizar a utilização da área com um maior número de animais por hectare (Macedo, 2015).

As leguminosas forrageiras, em face da capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico e a sua contribuição para a produção animal, são essenciais para incrementar a produtividade e constituem um caminho na direção da sustentabilidade de sistemas agrícolas e pecuários, bem como no processo de recuperação de pastagens degradadas (Barcellos et al., 2008). Para alimento animal são utilizados não só as sementes das leguminosas, mas também os legumes tenros, as folhagens, as raízes e até as flores de certas espécies (Miotto, 2011).

A escolha da forrageira para implantação de pastagens é uma decisão difícil, mas extremamente importante para o sucesso da atividade pecuária, mas existem inúmeras espécies forrageiras para as condições brasileiras, sendo a maioria tropical ou subtropical, com origem na África ou brasileira, destacando-se as gramíneas e leguminosas (Machado et al., 2010). Segundo Simioni et al. (2014), é necessário o conhecimento das espécies desejadas para implantação de um consórcio, possuindo as características favoráveis para adaptação da consorciação.

As leguminosas vivem, em sua maioria, em simbiose com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que invadem as raízes jovens das leguminosas, provocando o desenvolvimento de nódulos; a planta fornece açúcares e outras substâncias nutritivas às bactérias e estas elaboram proteínas a partir do nitrogênio molecular (N₂) atmosférico, existente no solo; as leguminosas, portanto, não necessitam dos nitratos dissolvidos no solo que, de outra maneira, seriam sua única fonte de nitrogênio, em consequência disto, elas podem viver em terrenos muito pobres em nitratos e, ao mesmo tempo, os enriquecem com seus resíduos (folhagens e raízes) que se decompõe por ação microbiana (amonização e nitrificação), originando nitratos a partir das proteínas (Miotto, 2011; Flora do Brasil, 2020).

A família Leguminosae/Fabaceae é a terceira maior em riqueza no mundo com 19.580 espécies e 766 gêneros, distribuída principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (LPWG, 2017; Stevens, 2021), considerada a segunda família em maior importância econômica devido a produção de sementes, frutos, folhas e flores, correspondendo a cerca de 30% do consumo de proteína no mundo (Lewis et al., 1989; Grahan et al., 2003; Wojciechowski et al., 2004).

No Brasil, ocorrem 3.033 espécies e 253 gêneros, em todos os domínios fitogeográficos no país, destacando-se o Cerrado (1.283 spp.), à Amazônia (1165 spp.), e a Mata Atlântica (998 spp.) (Flora do Brasil, 2020). No estado de Mato Grosso, a família está representada por 648 espécies e 134 gêneros, sendo 492 spp., no Cerrado, 404 spp., na Amazônia e 131 spp., no Pantanal (Flora do Brasil, 2020).

Dentre os gêneros com ocorrência nativa no Brasil e com uso forrageiro, estão: *Adesmia* DC., *Aeschynomene* L., *Arachis* L., *Calopogonium* Desv., *Desmodium* Desv., *Indigofera* L., *Macroptilium* (Benth.) Urb., *Stylosanthes* Sw., *Trifolium* L., *Vigna* Savi e *Zornia* J.F.Gmel. (Lewis et al., 2005; Barcellos et al., 2008; Miotto, 2011; Fernandes et al., 2014; Flora do Brasil, 2020). São gêneros geralmente com muitas espécies e com

ampla distribuição no país, de fácil acesso aos pecuaristas pela ocorrência espontânea nas pastagens, como as espécies de *Desmodium*, popularmente conhecidas como focinho de boi.

O gênero *Desmodium* está representado por 275 espécies no mundo, com distribuição quase cosmopolita (Ohashi, 2005). No Brasil, possui 35 espécies, sendo 21 no estado de Mato Grosso (Lima, 2020). É facilmente reconhecido pelo hábito arbustivo ou subarbustivo, folhas uni ou trifolioladas, estípulas persistentes ou caducas, flores papilionáceas, geralmente lilases, reunidas em pseudo-racemos e pelos lomentos com tricomas uncinados (Lima, 2020).

É caracterizado como arbustos ou subarbustos prostrados, ascendentes, decumbentes ou eretos, com ou sem estolões, com ou sem xilopódio, ramos cilíndricos ou quadrangulares, densamente pilosos, glabrescentes ou glabros, glaucos ou não; estípulas auriculadas, ou não auriculadas, semiamplexicaules, amplexicaules ou não amplexicaules, caducas ou persistentes, livres ou soldadas entre si; folhas alternas, unifolioladas ou trifolioladas, venação broquidódroma, camptódroma, craspedódroma ou eucamptódroma; inflorescências pseudo-racemosas ou paniculadas, raro fasciculadas; flores com corola papilionácea, lilás, rósea, roxa, violeta ou púrpura, raro branca; androceu monadelfo ou diadelfo; ovário estipitado ou sésil, glabro ou piloso; frutos do tipo lomento, raro craspédio, com istmo central, marginal ou excêntrico, margem superior reta, arqueada ou sinuosa e margem inferior sinuosa ou crenada; artículos 1-8, uniformes ou bifformes, tortuosos ou não tortuosos (Lima et al., 2014; Lima, 2020).

Levando em consideração que Leguminosae é a principal família em número de espécies no Brasil e que a grande maioria é capaz de fixar nitrogênio no solo (Flora do Brasil, 2020), como em pastagens, e que muitas delas são forrageiras ou que possuem potencialidades forrageiras, como espécies do gênero *Desmodium*; e, que o Herbário da Amazônia Meridional (HERBAM) fundado em 2007 pela Universidade do Estado de Mato Grosso no município de Alta Floresta (Soares-Lopes, 2015) já possui 26.583 amostras de plantas (CRBH, 2021), principalmente da região de Alta Floresta, servindo de base para pesquisas em várias áreas do conhecimento, justificou a realização do presente trabalho.

O trabalho apresenta informações morfológicas para as espécies do gênero *Desmodium* (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional, fotografias para contribuir na identificação, comentários sobre fitogeografia e alimentação bovina para as espécies que são potencialidades forrageiras na região de Alta Floresta, Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado entre os meses de abril e julho de 2021, baseado nas exsicatas do gênero *Desmodium* (Leguminosae) depositadas no Herbário da Amazônia Meridional (HERBAM), da Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Universitário de Alta Floresta (Figura 1).



Figura 1. Herbário da Amazônia Meridional: A) parte externa e B) armários com exsiccatas. Fonte: J. M. Fernandes.

Também contou com coletas complementares no município de Alta Floresta (MT), localizado à 830 km da capital, Cuiabá (Mato Grosso, 2016). As coletas foram realizadas no perímetro urbano do município e em uma área de pastagem na Chácara Serrinha, localizada na comunidade rural São Bento, MT 325, à 11 km da MT 208 (Figura 2).

Durante as coletas, entre 3 a 5 ramos férteis dos indivíduos foram coletados, acondicionados em saco plástico, devidamente etiquetado e com dados anotados no caderno de campo. No Herbário, os materiais coletados foram colocados entre jornais e papelões, posteriormente prensados com grades de madeira e colocados em estufa à 60 °C, durante três dias. Maiores informações sobre os procedimentos de coleta e herborização estão em Fidalgo et al. (1989). Os espécimes examinados no estudo foram identificados ou confirmados fazendo uso da revisão taxonômica do gênero (Lima et al., 2014) e das informações disponíveis no site da Flora do Brasil (Lima, 2020).

As diagnoses morfológicas foram realizadas com órgãos vegetativos e reprodutivos, frescos ou reidratados nas dependências do Laboratório de Morfologia Vegetal, localizado no HERBAM, fazendo uso de um estereomicroscópio, papel milimetrado, régua, seringas com agulhas, micro-ondas e terminologias baseadas em Radford et al. (1974) e Barroso et al. (1999). Os mapas foram elaborados utilizando-se o *software* ArcGIS® 10.2.2, com uso dos recursos do ArcMap, tendo como bases cartográficas WGS-84 e o sistema de projeção UTM.

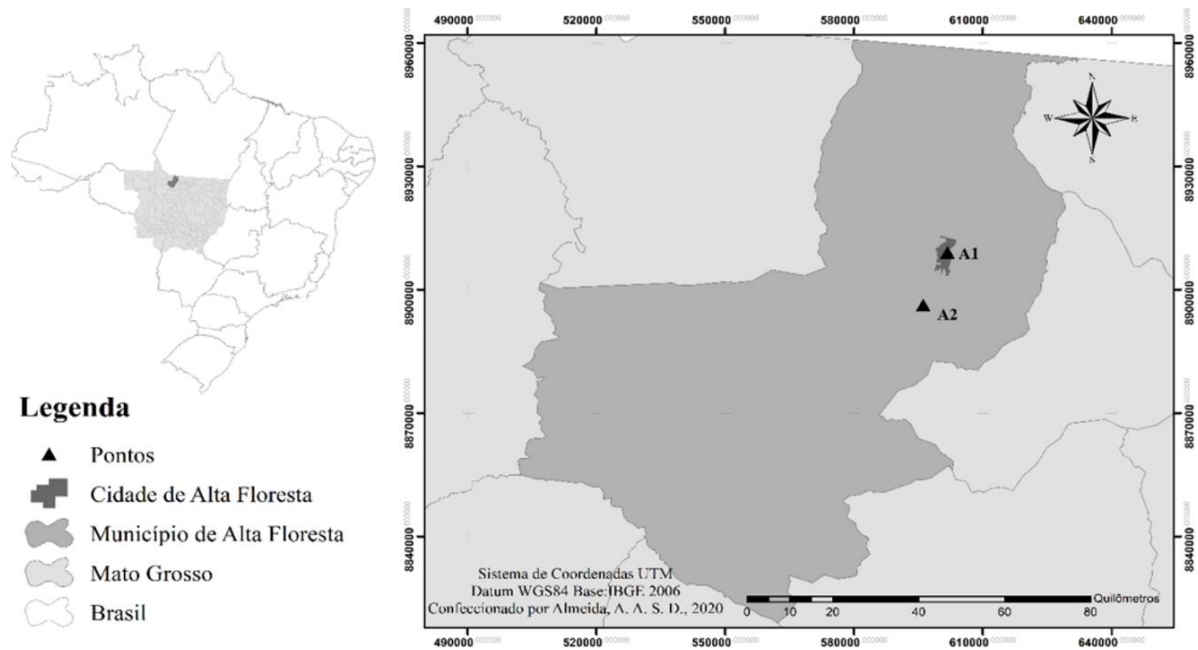


Figura 2. Locais com coleta botânica no município de Alta Floresta (MT): área urbana (A1) e Comunidade São Bento (A2). Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gênero *Desmodium* está representado no herbário da Amazônia Meridional (HERBAM) por sete espécies, são elas: *Desmodium axillare* (Sw.) DC., *Desmodium barbatum* (L.) Benth., *Desmodium cajanifolium* (Kunth) DC., *Desmodium incanum* (Sw.) DC., *Desmodium scorpiurus* (Sw.) Desv., *Desmodium tortuosum* (Sw.) DC. e *Desmodium triflorum* (L.) DC., amostradas nos municípios de Alta Floresta, Carlinda, Nova Canaã do Norte e Novo Mundo. São apresentados para cada espécie, a seguir, informações morfológicas sobre hábito, folha, inflorescência, flor, fruto e semente, fotografias que podem ajudar na identificação, comentários sobre fitogeografia e potencial forrageiro para bovinos, principalmente.

Desmodium axillare (Sw.) DC., Prodr. 2: 333. 1825.

Figura 4 A-C

Subarbusto 10–23 cm alt., prostrado, formando estolões enraizados nos nós; ramos jovens uncinados, não glaucos. Estípulas 7–9 mm compr., triangulares, não auriculadas, fundidas na base, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolo 4–5,7 cm compr., raque 0,4–0,7 cm compr., folíolo terminal 5,5–5,7 × 3,2–3,7 cm, ovado, folíolos laterais 2,7–4,5 × 1,7–2,2 cm, face abaxial seríceo-adpressa, face adaxial glabra, bronquidódroma, membranácea. Inflorescência pseudoracemosa. Pedicelo 5–6 mm compr., flores 4–5 mm compr., corola arroxeadas, vexilo com máculas na base; androceu diadelfo; ovário tomentoso. Lomento 1,1–1,7 cm compr., uncinado, istmo marginal superior, 1–2 artículos, 7–11 × 6–7 mm, oblongos; sementes não observadas.

Material examinado: **Novo Mundo**, Parque Estadual Cristalino, 28/01/2008, fl., fr., *D. Zappi et al.* 911 (HERBAM).

A espécie ocorre nos trópicos da América Central e da América do Sul (Tozzi, 2016). É nativa no Brasil, distribuída naturalmente no Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins (Norte), Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Sergipe (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Centro-oeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste) e Paraná (Sul), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Lima, 2020).

É conhecida no Brasil como amor-do-campo, amor-seco, carrapicho, carrapicho-namorado, focinho-de-boi e marmelada-de-cavalo (Lima et al., 2014).

A espécie foi coletada no município de Novo Mundo (Figura 3), no Parque Estadual do Cristalino. Nas pastagens nativas no bioma Pantanal, a espécie é considerada com valor forrageiro médio, presente principalmente em solos argilosos e secos (Pott, 1988). Produz forragem palatável e de boa qualidade com 17% em proteína e 0,30% de valor em fósforo (Alonso et al., 1998 apud Freitas, 2012).

Desmodium barbatum (L.) Benth., Pl. Jungh. 1: 224. 1852.

Figura 4 D-F

Subarbusto 15–50 cm alt., ereto ou prostrado, nunca formando estolões enraizados nos nós; ramos jovens hirsutos a tomentosos, não glaucos. Estípulas 9–12 mm compr., lanceoladas, não auriculadas, livres, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolo 0,5–1,9 cm compr., raque 0,2–0,6 cm compr., folíolo terminal 1,5–4,1 × 0,8–1,9 cm, elíptico, raramente obovado, folíolos laterais 1–3,5 × 0,5–1 cm, face abaxial seríceo-adpressa, raramente lanosa, face adaxial glabra a esparsamente seríceo-adpressa, bronquidódroma, cartácea. Inflorescência pseudoracemosa. Pedicelo 6–10 mm compr., flores 5–6 mm compr., corola branca-azulada, vexilo com máculas não observadas; androceu diadelfo; ovário esparsamente seríceo-adpresso. Lomento 7–11 mm compr., uncinado, istmo marginal superior, 2–4 artículos, 2–2,8 × 1–2 mm, oblongos; sementes 0,8–1,1 × 1,2–1,5 mm, assimétricas.

Material examinado: **Alta Floresta**, margem da MT 208, sentido Carlinda, 30/03/2012, fl., *C. R. A. Soares et al.* 7372 (HERBAM), fl., fr., *C. R. A. Soares et al.* 7387 (HERBAM), margem da MT 208, sentido Carlinda, 31/03/2012, fl., fr., *C. R. A. Soares et al.* 7411 (HERBAM).

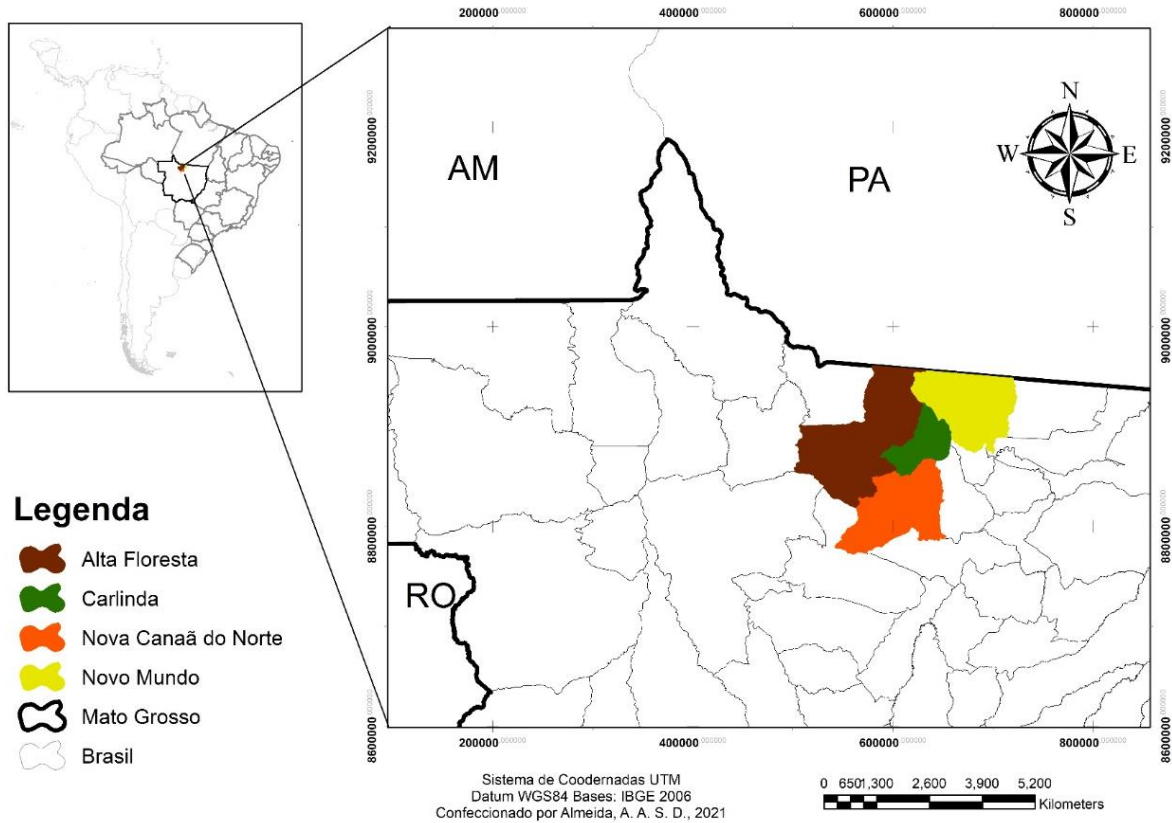


Figura 3. Municípios de Mato Grosso com espécimes de *Desmodium* (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional, município de Alta Floresta. Fonte: os autores.

Espécie com ampla distribuição na América Central e América do Sul, África e Ásia (Schubert 1980). Nativa no Brasil, com ocorrência no Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins (Norte), Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Centro-oeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste), Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Sul), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Lima, 2020).

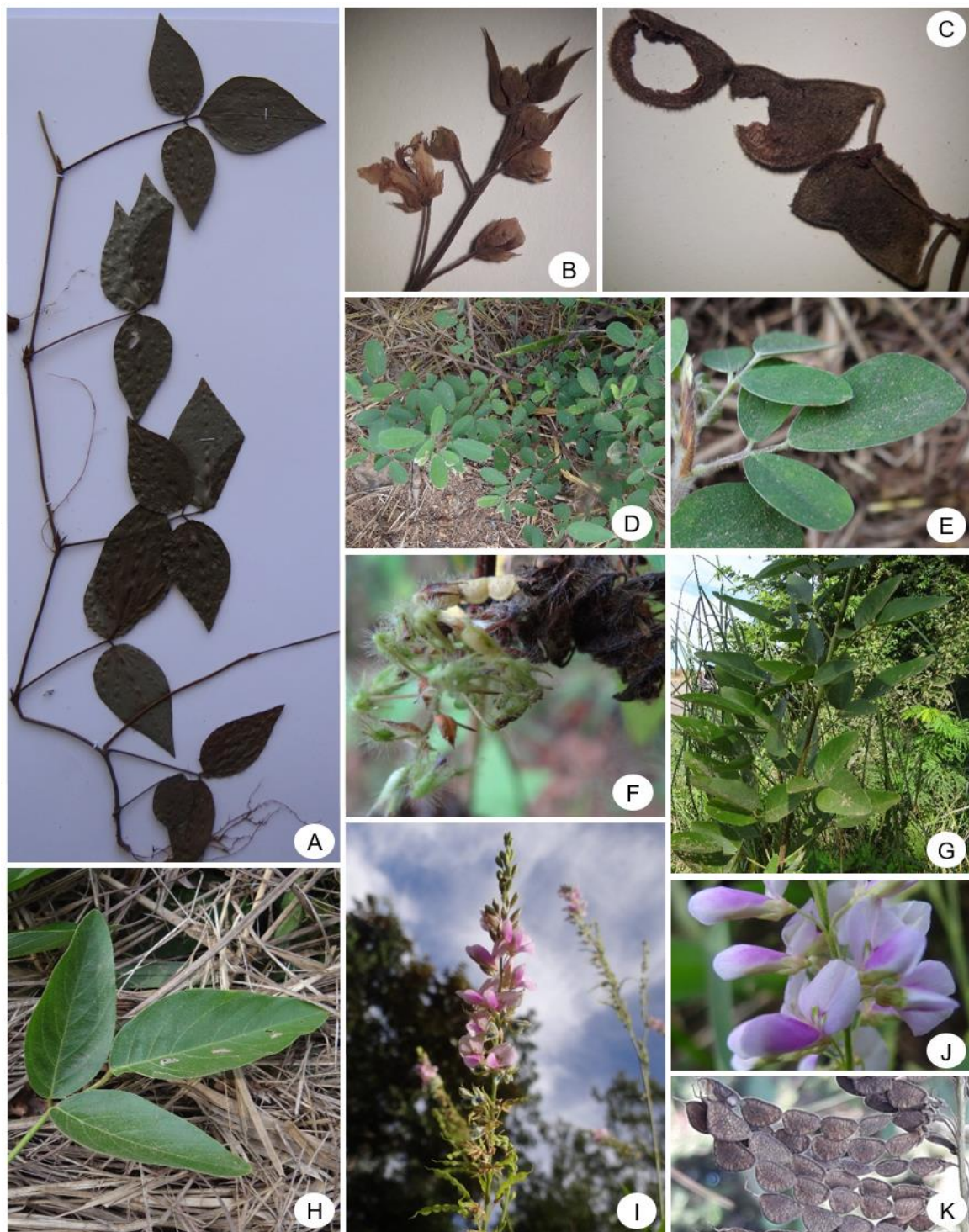


Figura 4. Espécies de *Desmodium* (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional: *Desmodium axillare* – estolões enraizados com folhas (A), inflorescência (B), frutos (C); *Desmodium barbatum* – hábito (D), folhas (E), flores murchas e frutos (F); *Desmodium cajaniifolium* – hábito (G), folha (H), inflorescência (I), botões e flores (J), frutos (K). Fonte: J.M. Fernandes A-K.

É popularmente conhecida no Brasil como amor-do-campo, barba-de-bode-de-praia, barbadinho, carrapicho, carrapichinho, carrapicho-beiço-de-boi, chique-chique, pega-pega e trevo-da-argentina (Lorenzi, 2008; Lima et al., 2014).

A espécie se desenvolve de forma vegetativa através dos estolões e rizomas emitidos dos nós, possibilitando que os indivíduos se estabeleçam em uma área muito rapidamente (Freitas, 2012).

Foi coletada no município de Alta Floresta (Figura 3) em margens de estradas e pastagens. Segundo Pott (1988), a espécie compõe as pastagens nativas no bioma Pantanal, considerada com valor forrageiro médio, em solos predominantemente arenosos e pouco alagados (Pott, 1988). De acordo com Oliveira (1983), a espécie é boa forrageira e apreciada pelo gado, com cultivo facilitado devido à grande quantidade de frutos e sementes de fácil colheita. Miotto (2011) cita que pode produzir um volume considerável de forragem e sementes, sendo muito consumida pelos animais, mas em observações feitas em ensaio de corte e adubação, em campo natural, demonstraram que a espécie não suporta cortes severos.

Análises químicas realizadas em plantas em estágio de rebrota deram valores de proteína de 10% e de fósforo de 0,10% (Fernández et al., 1988). Para Lorenzi (2008), é uma forrageira de boa qualidade nutritiva e com 17% de proteína bruta.

Desmodium cajanifolium (Kunth) DC., Prodr. 2: 331. 1825.

Figura 4 G-K

Subarbusto 1,5 m alt., ereto; ramos jovens uncinados, não glaucos. Estípulas 1,2–1,5 mm compr., ovadas, não auriculadas, livres, caducas; folhas trifolioladas, pecíolo 1,2–7 cm compr., raque 0,8–2 cm compr., folíolo terminal 4,5–11,5 × 1,5–5 cm, ovado, lanceolado, folíolos laterais 2,5–8 × 1,2–4,2 cm, face abaxial seríceo-adpressa, face adaxial glabra a puberulenta, bronquidódroma, cartácea. Inflorescência fasciculada. Pedicelo 4–5,2 mm compr., flores 8–9 mm compr., corola lilás, vexilo com máculas na base; androceu monadelfo na base; ovário tomentoso. Lomento 1,7–3,5 cm compr., uncinado, istmo marginal superior, 3-7 artículos, 4,8–5,8 × 3,2–4,2 mm, obovados; sementes 1,2–1,4 × 2–2,3 mm, transversalmente elípticas.

Material examinado: **Alta Floresta**, sentido Paranaíta, S9°52'4,24" W56°12'52,29", 14/04/2021, fl., J. M. Fernandes 1766 (HERBAM), S9°52'4,24" W56°12'52,29", 17/06/2021, fr., J. M. Fernandes 1794 (HERBAM); área de empreendimento da PCH da Fazenda área 2, 10°19'38"S, 56°58'30"W, 03/06/2014, fr., C. R. A. Soares-Lopes & D. G. Macedo 7560 (HERBAM).

A espécie ocorre na América Central, países das Antilhas, Bolívia, Brasil, Guiana, Guiana Francesa, Colômbia e Peru (Hoehne, 1921). É nativa no Brasil, com ocorrência no Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima Tocantins (Norte), Bahia (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Centro-oeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste), Paraná

(Sul), nos domínios da Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Lima, 2020). É conhecida no Brasil como andu-bravo, carrapicho e marmelada-de-cavalo (Lima et al., 2014).

No município de Alta Floresta (Figura 3) foi coletada no entorno de vegetação antrópica, próxima a pastagem e em área de empreendimento hidrelétrico. Essa espécie possui poucas informações sobre sua potencialidade forrageira. Hoehne (1921), em sua obra “Leguminosas forrageiras do Brasil I”, apresentou o estudo morfológico para *D. cajanifolium* mas ressaltou que não teve interesse em fazer análise química para verificar seus componentes nutricionais.

Essa espécie se comporta como subarbusto ou arbusto, sempre ereto, podendo chegar até 3 metros de altura, com folhas cartáceas (Lima et al., 2014). Geralmente as espécies forrageiras do gênero são plantas de pequeno porte, rasteiras, consideradas mais eficientes na cobertura do solo com os ramos intercalados ou entrelaçados com as gramíneas, o que facilita o pastejo do gado. No caso de *D. cajanifolium*, é uma espécie que não tem essas características, mas possui folhas grandes e com número elevado nos ramos, o que justifica mais investigações sobre suas potencialidades para alimentação bovina, principalmente como ração em pequenas propriedades.

***Desmodium incanum* (Sw.) DC., Prodr. 2: 332. 1825.**

Figura 5 A-D

Subarbusto 25–45 cm alt., ereto; ramos jovens uncinados, hirsutos, não glaucos. Estípulas 6–11 mm compr., triangular-subuladas, não auriculadas, unidas na base, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolo 0,6–2,6 cm compr., raque 0,2–0,7 cm compr., folíolo terminal 3–6,7 × 2,2–3,8 cm, elíptico, estreito-elíptico, amplo-elíptico a obovado, folíolos laterais 1,5–5,5 × 0,8–1,9 cm, face abaxial hirsuta a serícea, face adaxial curtamente uncinada, bronquidódroma, cartácea. Inflorescência pseudoracemosa. Pedicelo 5–8 mm compr., flores 6–7 mm compr., corola arroxeadada ou lilás, vexilo com máculas na base; androceu diadelfo; ovário tomentoso. Lomento 1–3,5 cm compr., uncinado, istmo marginal superior, 2–6 artículos, 4,5–5 × 3,2–3,5 mm, oblongos; sementes 1,8–2 × 2,3–3,1 mm, transversalmente elípticas.

Material examinado: **Alta Floresta**, Comunidade São Bento, Chácara Serrinha, área de pastagem, 15/06/2021, fl., J. M. Fernandes 1789 (HERBAM); Fazenda Universal, 01/12/2007, fl., L. Rodrigues 65 (HERBAM); Fazenda J.R. MT 208 próximo ao trevo de Paranaíta, 12/04/2018, f., fr., E. P. S. Gbiraldi 06 (HERBAM); Parque Municipal E, 12/02/2012, fl., fr., M. S. Medeiros 140 (HERBAM), 12/10/2011, fl., fr., M. S. Medeiros 51 (HERBAM). **Carlinda**, acesso a balsa Indeco, 03/04/2012, fl., fr., C. R. A. Soares et al. 7475 (HERBAM).

A espécie ocorre em áreas tropicais de quase todo o mundo, registrada a sua ocorrência na África, Ásia, Austrália, América Central e América do Sul (Tozzi, 2016). No Brasil, ocorre no Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins (Norte), Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio grande do Norte, Sergipe (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do

Sul, Mato Grosso (Centro-oeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste), Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Sul), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Lima, 2020).

É conhecida no Brasil por vários nomes, são eles: amor-de-velho, amorosa, amor-seco, amor-de-campo-sujo, amor-de-vaqueiro, barba-de-anta, barba-de-boi, beicho-de-boi, carrapichinho, carrapicho, carrapicho-beicho-de-boi, carrapicho-de-favinha, carrapicho-focinho-de-boi, carrapicho-miúdo, carrapicho-namorado, focinho-de-boi, mata-pasto, manduvurana, mela-bode, pega-pega, prega-prega, trevo-do-campo e venta-de-boi (Lima et al., 2014).

A espécie foi coletada nos municípios de Alta Floresta e Carlinda (Figura 3), em pastagem e beira de estrada. É uma espécie com presença constante em pastagens (Lorenzi, 2008) e que apresenta várias características desejáveis em plantas forrageiras, sendo moderadamente palatável, persistente (quando sob pastejo tem forte enraizamento nos nós, formando estolões) e prostrada (Miotto, 2011).

Nas pastagens nativas no bioma Pantanal, a espécie é considerada com valor forrageiro médio, em solos predominantemente arenosos e secos (Pott, 1988).

Análises químicas realizadas em plantas em estágio de floração deram valores de proteína bruta de 16% e conteúdo de fósforo de 0,16% (Fernández et al., 1988).

Desmodium scorpiurus (Sw.) Desv., J. Bot. Agric. 1: 122. 1813.

Figura 5 E-H

Subarbusto prostrado, ascendente, em média 15 cm alt.; ramos jovens curto-uncinados e esparsamente hirsutos, não glaucos. Estípulas 3–4 mm, auriculadas, livres, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolos 1,5–4 cm compr.; raque 3–7 mm compr., folíolo terminal 1,4–3,5 × 1–2,2 cm compr., elíptico a ovado, folíolos laterais 1,4–2,7 × 0,9–1,9 cm, faces adaxial e abaxial hirsutas, bronquidódroma, membranácea. Inflorescência pseudoracemosa. Pedicelo 4–6,4 mm compr., flores 4–5 mm compr., corola lilás a púrpura, vexilo com duas máculas na base; androceu diafelfo; ovário glabrescente. Lomento 2,4–3 cm compr., uncinado, istmo central, 4–7 artículos, 4–5 × 1,8–2 mm, estreito-elípticos; sementes 1–1,2 × 1,7–2 mm, transversalmente elípticas.

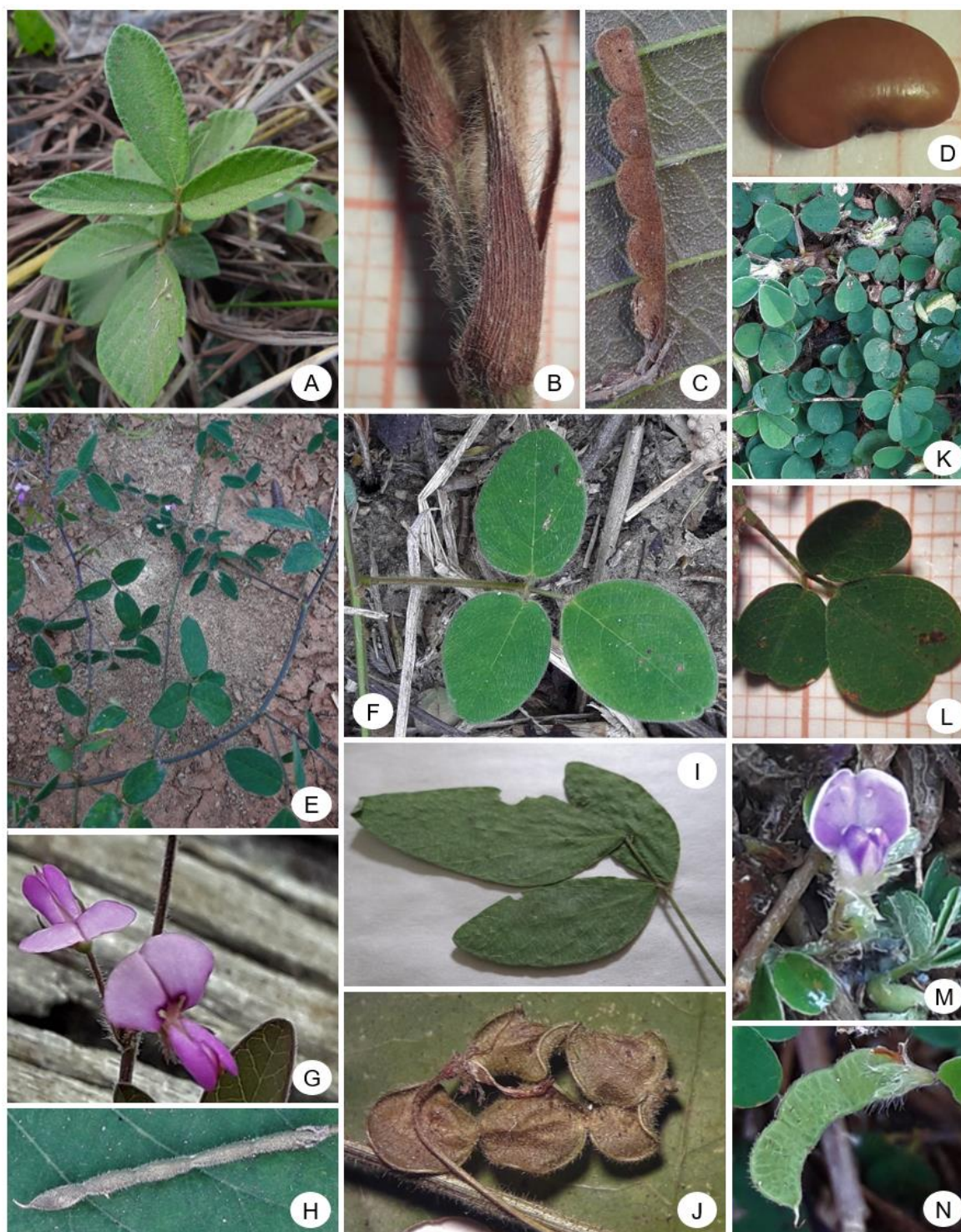


Figura 5. Espécies de *Desmodium* (Leguminosae) no Herbário da Amazônia Meridional: *Desmodium incanum* – hábito e folhas (A), estípulas (B), fruto (C), semente (D); *Desmodium scorpiurus* – hábito (E), folha (F), flores (G), fruto (H); *Desmodium tortuosum* – folha (I), fruto (J); *Desmodium triflorum* – hábito (K), folha (L), flor (M), fruto (N). Fonte: J.M. Fernandes A-N.

Material examinado: **Alta Floresta**, Comunidade São Bento, Chácara Serrinha, 15/06/2021, fl., fr., *J. M. Fernandes 1790* (HERBAM); Bairro Sol Nascente, 16/06/2021, fl., fr., *J. M. Fernandes 1792* (HERBAM), Bairro Sol Nascente, 16/06/2021, fl., fr., *J. M. Fernandes 1793* (HERBAM).

A espécie está distribuída em toda a América tropical, ocorrendo ocasionalmente como uma erva daninha em áreas tropicais do Pacífico e na África (Schubert, 1980). No Brasil, ocorre no Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima (Norte), Bahia, Pernambuco (Nordeste), Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Centro-oeste) e Minas Gerais (Sudeste), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga e Cerrado (Lima, 2020). É conhecida como carrapicho e beijo-de-boi (Lima, 2020).

A espécie foi coletada no município de Alta Floresta (Figura 3) em áreas de pastagem e área aberta no perímetro urbano do município. Foi observado que é muito comum em área de pastagem em Alta Floresta, com vários ramos cortados, provavelmente pelos bovinos, mas quase não possui informação sobre o seu potencial forrageiro. Obras importantes sobre leguminosas forrageiras no Brasil ou plantas daninhas com potencial forrageiro (Souza-Brito, 1918; Hoehne, 1921; Lorenzi, 2008) não mencionam a espécie, nem em artigos científicos atuais.

Análises químicas realizadas em ramos da espécie deram valores de 14,5% de proteína bruta, 28,44% de fibras e 0,41% de fósforo (Lebas et al., 2012), importante fonte de fibra e proteína para coelhos na Nigéria.

***Desmodium tortuosum* (Sw.) DC., Prodr. 2: 332. 1825.**

Figura 5 I-J

Subarbusto 37–55 cm alt., ereto; ramos jovens uncinados e esparsamente hirsutos, não glaucos. Estípulas 8–9 mm, semi-auriculadas, livres, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolos 0,7–2,3 cm compr.; raque 1–1,2 mm compr., folíolo terminal 6–7,2 × 2–4,2 cm compr., ovado a lanceolado, folíolos laterais 1,7–4,2 × 1,3–1,8 cm, faces adaxial e abaxial curto-seríceas a puberulentas, bronquidódroma, membranácea. Inflorescência pseudoracemosa ou panícula. Pedicelo 7–9 mm compr., flores 5 mm compr., cor da corola não observada; androceu monadelfo na base; ovário puberulento. Lomento 1,8–2 cm compr., uncinado, istmo central, 5–6 artículos, 3–3,5 × 3 mm, elípticos, oblatos; sementes imaturas.

Material examinado: **Alta Floresta**, Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, 01/05/2010, fl., fr., *Cabral, F. F. 264* (HERBAM).

A espécie está distribuída na Austrália, América do Norte, América Central e América do Sul (Tozzi, 2016). No Brasil, possui distribuição no Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima (Norte), Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe (Nordeste), Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Nordeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste), Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina (Sul), Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata

Atlântica, Pampa, Pantanal (Lima et al., 2020). É conhecida como amor-de-velho, barba-de-boi, carrapicho, desmódio e pega-pega (Lorenzi, 2008; Lima et al., 2014).

Foi coletada no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, entorno do fragmento florestal que fica no perímetro urbano de Alta Floresta (Figura 3). É uma espécie comum em áreas de caatinga sob pastejo (Cassuce, 2012). É uma planta tolerante a todos os tipos de solos, fixadora de nitrogênio e quando jovem pode ser usada na alimentação animal (Lorenzi, 2008). Foi encontrado para a espécie apenas informação sobre a quantidade de proteína na semente, que é de 34,8% (Santos et al., 2002).

***Desmodium triflorum* (L.) DC., Prodr. 2: 334. 1825.**

Figura 5 K-N

Subarbusto prostrado até 3 cm alt.; ramos jovens seríceos, não glaucos. Estípulas 2–3 mm compr., ovadas, não auriculadas, livres, persistentes; folhas trifolioladas, pecíolo 2,8–6 mm compr., raque 1–2 mm compr., folíolo terminal 4–5(-8) × 4–5,5(-9) mm, amplamente obovado, folíolos laterais 3,2–4,3(-7) × 2,7–4(-7) mm, face abaxial serícea a esparsamente serícea, com nervura principal serícea a lanosa, face adaxial glabra, bronquidódroma, membranácea. Inflorescência fasciculada. Pedicelo 3–4 mm compr., flores 3–4 mm compr., corola lilás, vexilo sem mácula; androceu diadelfo; ovário puberulento. Lomento 3,8–15 mm compr., uncinado, istmo marginal superior, 1–6 artículos, 3–5 × 2,5–3 mm, quadrangulares; sementes 1,7–1,8 × 1,8–2,5 mm, transversalmente elípticas.

Material examinado: **Alta Floresta**, Bairro Sol Nascente, 16/06/2021, fl., fr., *J. M. Fernandes 1791* (HERBAM); Fazenda JR, rodovia MT 208, próximo ao trevo do município de Paranaíta, 12/04/2018, fl., *E. P. S. Ghiraldi 07* (HERBAM). **Nova Canaã do Norte**, margem da MT 208, 09/04/2012, fl., fr., *C. R. A. Soares et al. 7579* (HERBAM).

A espécie é amplamente distribuída pelas regiões tropicais da África, Ásia, Austrália e Américas Central e do Sul (Tozzi, 2016). No Brasil, ocorre no Amazonas, Amapá, Pará, Roraima (Norte), Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio grande do Norte, Sergipe (Nordeste), Mato Grosso do Sul, Mato Grosso (Centro-oeste), Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo (Sudeste), Santa Catarina (Sul), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Lima, 2020). É conhecida como amor-de-velho, carrapicho-rasteiro e trevo (Lima et al., 2014).

Foi coletada em margens de estradas, vegetação antrópica no perímetro urbano e em pastagens nos municípios de Alta Floresta e Nova Canaã do Norte (Figura 3). Nas áreas de pastagens a espécie preenche bem os espaços entre as gramíneas, mas como não ultrapassa os 3 cm de altura, dificulta o pastejo. Segundo Hoehne (1921) é uma espécie rica em substâncias nutritivas mas é muito “minúscula”.

Análises químicas realizadas em ramos da espécie deram valores de 11,7% de proteína, 29,8% de fibra, 65,4% de digestibilidade e 1,8 g/kg de fósforo (Feedipedia, 2021). Em matéria fresca a espécie possui 4,80% de proteína, 13,9% de carboidrato e 12,39% de celulose (Hoehne, 1921).

CONCLUSÕES

O trabalho apresentou a morfologia das espécies de *Desmodium* coletadas em Alta Floresta e municípios próximos, mantidas no Herbário da Amazônia Meridional, município de Alta Floresta (MT). São espécies forrageiras, principalmente para bovinos, com mais informações na literatura para *D. axillare*, *D. barbatum*, *D. incanum* e *D. tortuosum*, enquanto que *D. cajanifolium* e *D. scorpiurus*, possuem poucas informações quanto aos valores nutricionais e aceitação pelos animais, sugeridas no presente trabalho para investigações aprofundadas na área de alimentação animal.

Desmodium triflorum foi entendida como uma espécie com pouco potencial forrageiro para bovinos, talvez seja mais indicada para animais menores, no entanto pode contribuir com a redução da erosão nas pastagens, fortalecendo a sustentabilidade na pecuária.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA), Unidade Regional de Alta Floresta, pelas orientações iniciais quanto ao uso dos dados disponíveis no site do instituto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barcellos AO et al. (2008). Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(1): 51-67.
- Barroso GM et al. (1999). Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. Viçosa: Imprensa Universitária. 443p.
- Borges HBN et al. (2014). Flora arbórea de Mato Grosso: tipologias vegetais e suas espécies. Cuiabá: Entrelinhas. 255p.
- Cassuce MR (2012). Fitossociologia e composição bromatológica de espécies herbáceas e subarbusivas em áreas de Caatinga sob pastejo. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (Dissertação), Areia. 76p.
- CRBH (2021). Catálogo da rede brasileira de herbários. Disponível em: <<https://www.botanica.org.br/catalogo-da-rede-brasileira-de-herbarios/>>. Acesso em: 02/07/2021.
- Feedipedia (2021). Animal feed resources information system. Disponível em: <<https://www.feedipedia.org/>>. Acesso em: 04/07/2021.

- Fernandes JM et al. (2014). Etnobotânica de Leguminosae entre agricultores agroecológicos na Floresta Atlântica, Araponga, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, 65(2): 539-554.
- Fernández JC et al. (1988). Las leguminosas forrajeras nativas del este de la Provincia de Corrientes. INTA, Ser. Téc., 26: 1-84p.
- Fidalgo O et al. (1989). Técnicas de coleta, preservação e herborização do material botânico. São Paulo: Instituto de Botânica. 61p.
- Flora do Brasil (2020). Flora do Brasil – algas, fungos e plantas. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 05/07/2021.
- Freitas DM (2012). O gênero *Desmodium* Desv. (Fabaceae-Faboideae) no estado de Santa Catarina. Departamento de Botânica, Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação), Florianópolis. 135p.
- Graham PH et al. (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131(3): 872-877.
- Hoehne FC (1921). Leguminosas forrageiras do Brasil I – *Meibomia* Moehr. (*Desmodium* Desv.). Anexo das Memórias do Instituto de Butantan, 1: 1-54p.
- IBGE (2017). Mato Grosso. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pesquisa/24/76693>>. Acesso: 07/07/2021.
- INDEA – Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (2018). Febre aftosa - resultado da vacinação etapa maio de 2020. Disponível em: <<http://www.indea.mt.gov.br/-/6099212-febre-aftosa?ciclo=>>>. Acesso em: 28/06/2021.
- Lebas F et al. (2012). Chemical composition of some raw materials available for rabbit feeding in Benin. Proc. 10th World Rabbit Congress, 3-6 September 2012, Sharm El-Sheikh, Egypt. 581-584p.
- Lewis GP et al. (1989). Legumes of the Ilha de Maracá. Kew: Royal Botanic Gardens. 95p.
- Lewis GP et al. (2005). Leguminosae of the world. Kew: Royal Botanic Gardens. 577p.
- Lima LCP (2020). *Desmodium*. Flora do Brasil – algas, fungos e plantas. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22930>>. Acesso em: 05/07/2021.
- Lima LCP et al. (2014). A Taxonomic Revision of *Desmodium* (Leguminosae, Papilionoideae) in Brazil. *Phytotaxa*, 169(1): 001-119.
- Lorenzi H (2008). Plantas daninhas do Brasil – terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 640p.
- LPWG (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. *Taxon*, 66: 44-77.
- Macedo TM (2015). Consorciação gramínea – leguminosa em pastejo intensivo: parâmetros de solo, planta e animal. Departamento de Medicina Veterinária Preventiva, Universidade Federal de Minas Gerais (Tese), Belo Horizonte. 83p.


- Machado LA et al. (2010). Principais espécies forrageiras utilizadas em pastagens para gado de corte. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/863923/principais-especies-forrageiras-utilizadas-em-pastagens-para-gado-de-corte>>. Acesso em: 06/07/2021.
- Mato Grosso (2016). Geografia. Disponível em: <<http://www.mt.gov.br/geografia>>. Acesso em: 15/01/2016.
- Mato Grosso (2018). Avanços na pecuária de Mato Grosso são apresentados em evento da cadeia produtiva. Disponível em: <<http://www.mt.gov.br/-/9585659-avancos-na-pecuaria-de-mato-grosso-sao-apresentados-em-evento-da-cadeia-produtiva>>. Acesso em: 28/06/2021.
- Miotto STS (2011). Espécies prioritárias - Forrageiras - Fabaceae. Coradin L et al. (eds.) Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial plantas para o futuro - Região Sul. Brasília: MMA. 354-400p.
- Ohashi H (2005). Desmodieae Tribe. Lewis G et al. (eds.). Legumes of the World. Kew: Royal Botanic Gardens. 433-453p.
- Oliveira MLAA (1983). Estudo Taxonômico do gênero *Desmodium* Desv. (Leguminosae, Faboideae, Desmodieae). Iheringia, Série Botânica, 3: 37-104.
- Pott A (1988). Pastagens no Pantanal. Corumbá: Embrapa. 58p.
- Radford AE et al. (1974). Vascular plant systematics. New York: Harper & Row. 891p.
- Santos JB (2002). Produção e características qualitativas de sementes de plantas daninhas. Plantas Daninhas, 20(2): 237-241.
- Schubert BG (1980). Flora of Panamá: *Desmodium* Desv. Annals of the Missouri Botanical Garden, 67(3): 622-662.
- Simioni TA et al. (2014). Potencialidade da consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras em pastagens tropicais. PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia, 8(13). Disponível em: <<http://pubvet.com.br/artigo/1298/p-styletext-align-justify-aligncenterstrongpotencialidade-da-consorciaccedilatildeo-de-gramiacuteneas-e-leguminosas-forrageiras-em-pastagens-tropicaisstrongp>>. Acesso em: 10/07/2021.
- Soares-Lopes CRA (2015). Herbário da Amazônia Meridional, Mato Grosso (HERBAM). UNISANTA Bioscience, 4(6): 36-38.
- Souza-Brito EC (1918) Apontamentos sobre as nossas principais forrageiras nativas e cultivadas. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional/Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. 45p.
- Stevens PF (2021) Angiosperm phylogeny website, Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb>>. Acesso: 23/03/2021.
- Tozzi AMGA (2016). *Desmodium* Desv. Tozzi et al. (eds.). Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo VIII. São Paulo: Instituto de Botânica. 244-254p.

Wojciechowski MF et al. (2004). A phylogeny of legumes (Leguminosae) based on analysis of the plastid *matK* gene resolves many well-supported subclades within the family. American Journal of Botany, 91(11): 1846-1862.


Germinação de sementes armazenadas de *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling

Recebido em: 14/07/2021

Aceito em: 21/07/2021

 10.46420/9786588319796cap9

Raquel Stefanello^{1*} 

Leandro Gonçalves Leite¹ 

Liliana Essi¹ 

Luiz Augusto Salles das Neves¹ 

INTRODUÇÃO

A semente de qualidade é fundamental para o sucesso de uma lavoura. Consiste em um organismo vivo, que necessita de cuidados especiais para preservar a sua capacidade de germinação e vigor (Kaefer et al., 2019). Neste contexto, o armazenamento pode ser uma excelente alternativa, visando manter ou reduzir a perda da qualidade fisiológica das sementes até a época da semeadura (Vijay et al., 2015).

Para o armazenamento de curto prazo, ambientes secos e frios podem ser utilizados sem prejudicar a germinação e o vigor das sementes, ao passo que, para o armazenamento a longo prazo, devem ser adotadas instalações com controle climático adequado (Selvi et al., 2018). Fatores como temperatura, umidade relativa do ar, concentração de oxigênio, tratos culturais, fertilidade, ação de microrganismos, condições de secagem, entre outros, refletem na germinação e no vigor das sementes e, conseqüentemente, na conservação das mesmas durante o armazenamento (Carvalho et al., 2012; Bewley et al., 2013; Marcos Filho, 2015).

As condições de armazenamento são determinantes para garantir a qualidade fisiológica das sementes e o controle do ambiente, temperatura e umidade relativa do ar, contribuem para diminuir o processo de deterioração (Bewley et al., 2013; Neves et al., 2014). A deterioração de sementes é inevitável, irreversível, muito agressiva, varia entre espécies e sementes individuais dentro de um mesmo lote e é uma consequência da constituição genética da semente, do ambiente durante seu desenvolvimento e de sua composição química (Baudet et al., 2012). Envolve uma série de alterações físicas, fisiológicas e bioquímicas que podem causar a morte da semente. Essas alterações são progressivas e determinadas por fatores genéticos, bióticos e abióticos (clima, insetos, microrganismos), procedimentos de colheita, secagem, beneficiamento, manuseio e armazenamento (Baudet et al., 2012; Marcos Filho, 2015).

Apesar desses desafios, o armazenamento de sementes ainda é uma estratégia importante para a conservação genética *ex situ*, visando a manutenção de germoplasma (Flores et al., 2018), melhoramento

¹ Universidade Federal de Santa Maria.

* Autora correspondente: raquelstefanello@yahoo.com.br

e propagação em massa (Rajjou et al., 2008; Borges et al., 2009). Isso gera novas perspectivas para a espécie *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling (Lamiaceae), popularmente conhecida como “espanta-pulga” que é incluída na lista das espécies brasileiras ameaçadas de extinção (Flora do Brasil, 2020).

Hesperozygis ringens é uma planta nativa endêmica do Brasil, encontrada na região sul e que pode ser propagada por sementes ou por estaquia (Flora do Brasil, 2020; Siqueira et al., 2020). Seu principal óleo essencial (pulegona) apresenta ação antimicrobiana e antiparasitária (Bandeira et al., 2017), anestésica e larvicida (Silva et al., 2014), antioxidante (Dolwitsch et al., 2020) e alelopática (Pinheiro et al., 2016, Lima et al., 2020).

O armazenamento de sementes de espécies nativas constitui uma importante ferramenta para evitar a perda de recursos genéticos, de modo a garantir a preservação da diversidade de plantas especialmente às ameaçadas de extinção (Hosomi, 2017). Compreender o comportamento das sementes durante o armazenamento é essencial para determinar seu manuseio e estratégias para sua conservação. Neste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar a germinação de sementes de *Hesperozygis ringens* antes e após o seu armazenamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Genética Vegetal, do Departamento de Biologia (Centro de Ciências Naturais e Exatas) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. Foram utilizados dois lotes de sementes de *Hesperozygis ringens* coletadas nas cidades de São Pedro do Sul (Lote A) e São Francisco de Assis (Lote B), Rio Grande do Sul, Brasil. As coletas foram realizadas com a devida autorização (autorização SISBIO número 60921). As plantas e sementes foram identificadas pelo segundo autor, a partir de comparação com material depositado no herbário SMDB e com uso de literatura taxonômica, e confirmado pela taxonomista (terceira autora). Depois de separadas manualmente, uma parte das sementes foi submetida ao teste de germinação, sendo outra parte armazenada em vidro transparente com tampa e acondicionada em ambiente refrigerado mantendo o pré-esfriamento à temperatura média de 5 a 7 °C, por um período de nove meses. Na literatura não foram encontrados relatos de dormência nas sementes desta espécie.

Antes da semeadura as sementes passaram por uma assepsia, com imersão em etanol 70% (10 segundos) e solução de hipoclorito de sódio com 1% de cloro (30 segundos) e, em seguida, enxaguadas três vezes com água destilada.

O teste de germinação foi realizado logo após a colheita (zero meses) e após nove meses de armazenamento, com quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em caixas plásticas transparentes (gerbox), sobre três folhas de substrato papel umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Após a semeadura, as caixas plásticas foram mantidas em câmara BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), na temperatura de 15 °C, na presença de luz (de acordo com testes preliminares

realizados pelos autores e em fase de publicação), sendo as contagens realizadas a cada sete dias, totalizando 21 dias.

O umedecimento do substrato foi realizado uma vez aos dez dias. Foram contabilizadas as sementes que atenderam ao critério botânico que considera germinadas as sementes em que uma das partes do embrião emergiu de dentro dos envoltórios, acompanhado de algum sinal de metabolismo ativo, como curvatura da radícula (Labouriau, 1983). Os resultados foram expressos em percentagem de sementes germinadas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, onde os tratamentos constituíram um fatorial 2 x 2 (2 locais de coleta x 2 tempos de armazenamento). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando constatado efeito significativo, foi efetuada a análise pelo programa SISVAR (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise dos dados de germinação foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre lote e tempo de armazenamento das sementes de *Hesperozygys ringens*. Além disso, aos 14 dias também foi constatada interação entre os fatores lote e tempo. No lote A, aos 14 dias após a semeadura observou-se redução da percentagem de germinação de 34 para 16%, após zero e 9 meses de armazenamento, respectivamente (Tabela 1). Aos 21 dias, a redução foi de 44% (0 meses) para 38% (9 meses). Para o lote B, após 14 dias ocorreu redução da germinação de 9 para 6% após o armazenamento. Por outro lado, aos 21 dias, também foi observado decréscimo na percentagem de germinação embora esta diferença não tenha sido significativa estatisticamente.

Tabela 1. Germinação (%) de sementes de *Hesperozygys ringens* antes e após o armazenamento em condição controlada. Fonte: os autores.

| Tempo (meses) | 14 dias | | 21 dias | |
|---------------|---------|--------|---------|--------|
| | Lote A | Lote B | Lote A | Lote B |
| 0 | 34 a A* | 9 a B | 44 a A* | 21 a B |
| 9 | 16 b A | 6 b B | 38 b A | 15 a B |
| CV (%) | 9,20 | | 13,04 | |

*Médias seguidas de mesma letra minúscula, em cada coluna, e letra maiúscula, em cada linha, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Embora a viabilidade de um lote de sementes seja normalmente mantida em um alto grau por um tempo relativamente longo, para a maioria das espécies, quando as sementes são armazenadas sob condições adequadas, sinais de deterioração aparecem à medida que avança o período de armazenamento (Nedel, 2003). A manifestação mais evidente da deterioração é a redução na taxa de crescimento das plântulas que se observa na primeira contagem de um teste de germinação, portanto uma redução no vigor. Outros indícios são aumento da taxa de plântulas anormais, alterações no metabolismo de reservas

e no sistema enzimático, aumento da condutividade dos lixiviados das sementes mais deterioradas (desestruturação do sistema de membranas), alteração de cor (escurecimento) e diminuição da resistência a microrganismos (Bewley et al., 2013; Marcos Filho, 2015). Além disso, outra manifestação é o atraso na emergência da radícula, seguido por uma perda progressiva da capacidade de germinação (Sano et al., 2016). O meristema da raiz é particularmente sensível à deterioração, resultando em falha no crescimento contínuo da radícula, mesmo se a sua protrusão tiver ocorrido devido à expansão celular (Bewley et al., 2013).

O envelhecimento natural é comum durante o armazenamento porque as substâncias de reserva, como proteínas, lipídios e carboidratos, são significativamente afetados (Ghasemnezhad et al., 2009). O aumento da idade da semente pode reduzir a germinação à medida que o seu sistema metabólico começa a se decompor, resultando em sementes lentas ou mesmo incapazes de germinar, e desenvolvimento deficiente da plântula e menor estabelecimento para sementes envelhecidas que germinam. Assim, o armazenamento eficaz depende de desacelerar o metabolismo normal das sementes tanto quanto possível, sem incorrer em danos (De Vitis et al., 2020). Contudo, é importante destacar que o principal objetivo do armazenamento de sementes é armazenar a produção, mantendo a qualidade, principalmente dos atributos fisiológicos e sanitários, reduzindo ao mínimo a deterioração e que evidentemente a qualidade da semente não é melhorada pelo armazenamento (Baudet et al., 2012).

Em ambos os lotes os primeiros sinais visíveis de germinação, mesmo em baixas percentagens, puderam ser observados aos sete dias após a semeadura. No entanto, o lote B apresentou menor qualidade inicial que pode ser em parte atribuída ao teor de umidade das sementes, aos diferentes locais de coleta, à carência de conhecimento sobre a ocorrência de dormência e a presença de microrganismos. Estes resultados corroboram com Fracaro (2006) onde assinalou que a propagação desta espécie apresenta problemas devido à viabilidade das sementes e à baixa germinação. Além disso, a constituição química, as características do tegumento, as reservas, as mudanças fisiológicas, o arranjo celular interno da semente e as condições de temperatura e umidade são fatores que irão influenciar a qualidade inicial e a intensidade da deterioração durante o período de armazenamento (Zuchi, 2018).

A capacidade de armazenamento das sementes varia entre espécies em condições favoráveis idênticas de armazenagem. Essa capacidade é influenciada pelo período de tempo em que as sementes morrem ou permanecem vivas (Baudet et al., 2012). Muitos fatores podem afetar a qualidade inicial da semente antes do armazenamento, particularmente a maturidade da semente na colheita, as condições durante a secagem, o manuseio subsequente e qualquer armazenamento anterior antes de a viabilidade começar a ser monitorada (Bewley et al., 2013). Além disso, em um lote de sementes, nem todas germinam ou morrem ao mesmo tempo, já que, por ser uma característica individual, o potencial de armazenamento afeta a porcentagem de viabilidade do lote de sementes. Assim sendo, em um mesmo grupo genético, nem todas as espécies, variedades ou sementes individuais, sobrevivem ao mesmo período de tempo, sob ampla faixa de condições de armazenamento (Baudet et al., 2012).

O armazenamento eficaz de sementes após a obtenção é imprescindível para os profissionais de restauração e produtores de sementes nativas, pois é fundamental para manter a viabilidade das sementes. Consequentemente, o armazenamento inadequado pode levar ao desperdício de recursos naturais e econômicos quando sementes de má qualidade são semeadas (De Vitis et al., 2020). O conhecimento das características das sementes permite-nos determinar as condições de armazenamento adequadas, uma vez que, se as sementes forem viáveis e longevas, mas não germinarem, podem apresentar dormência, o que pode torná-las suscetíveis a armazenamento prolongado (Jiménez-Vázquez et al., 2021).

Por fim, apesar de serem encontrados relatos sobre sua caracterização taxonômica, medicinal e alelopática, os resultados deste trabalho indicaram que a germinação de sementes de *Hesperozygis ringens* foi reduzida após nove meses de armazenamento. Essas informações são pioneiras e fundamentais para o entendimento da manutenção da viabilidade das sementes armazenadas desta espécie e podem ser utilizadas para a propagação e conservação da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Bandeira G Jr et al. (2017). Potential uses of *Ocimum gratissimum* and *Hesperozygis ringens* essential oils in aquaculture. *Industrial Crops and Products*, 97: 484-491.
- Baudet LML et al. (2012). Armazenamento de sementes. Peske ST et al. (org.). Pelotas: UFPel. 573p.
- Bewley JD et al. (2013). *Seeds - physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. New York: Springer. 392p.
- Borges S et al. (2009). Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. *Scientia Forestalis*, 37(84): 475-481.
- Carvalho NM et al. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 5 ed. Jaboticabal: Funep. 590p.
- De Vitis M et al. (2020). Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*, 28(S3): S249-S255.
- Dolwitsch CB et al. (2020). *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling: a study involving extraction, chemical profiling, antioxidant and biological activity. *Natural Product Research*, 10: 1-6.
- Ferreira DF (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6): 1039-1042.
- Flora do Brasil (2020). Algas, Fungos e Plantas. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP>> Acesso em: 5 jul 2021.
- Flores AV et al. (2018). Physiological and biochemical alterations on the storage of *Cedrela fissilis* Vellozo seeds. *Floresta*, 48(1): 1-8.
- Fracaro F (2006). *Ecologia molecular, variabilidade genética, química e cultivo in vitro de Hesperozygis ringens* Benth. Universidade Federal de São Carlos (Tese), São Carlos. 89p.

- Ghasemnezhad A et al. (2009). Influence of storage conditions on quality and viability of high and low oleic sunflower seeds. *International Journal of Plant Production*, 3(4): 39-48.
- Hosomi ST (2017). Sementes de orquídeas: conservação e avaliação de viabilidade. Universidade do Oeste Paulista (Tese), Presidente Prudente. 162f.
- Jiménez-Vázquez AM et al. (2021). Seed longevity, viability and germination of four weed-ruderal Asteraceae species of ethnobotanic value. *Botanical Sciences*, 99(2): 279-290.
- Kaefer JT et al. (2019). Influência do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Ciência & Tecnologia*, 3(1): 13-22.
- Labouriau LG (1983). A germinação das sementes. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos. 174p.
- Lima CS et al. (2020). Allelopathic potential of *Hesperozygis ringens* extracts on seed germination of soybeans and beggarticks. *Journal of Agricultural Science*, 12(11): 1-7.
- Marcos Filho J (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed. Londrina: ABRATES. 660p.
- Nedel JL (2003). Fundamentos da qualidade de sementes. Peske ST et al. (org.). Pelotas: UFPel. 573p.
- Neves G et al. (2014). Viability and longevity of seeds *Tabebuia aurea* Benth. & Hook. under different storage methods. *Bioscience Journal*, 30(1): 737-742.
- Pinheiro CG et al. (2016). Seasonal variability of the essential oil of *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling. *Brazilian Journal of Biology*, 76(1): 176-184.
- Rajjou L et al. (2008). Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Comptes Rendus Biologies*, 331(10): 796-805.
- Sano N et al. (2016). Staying alive: molecular aspects of seed longevity. *Plant Cell and Physiology*, 57(4): 660-674.
- Selvi DT et al. (2018). Seed viability, seed deterioration and seed quality improvements in stored onion seeds: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 93(1): 1-7.
- Silva DT et al. (2014). Larvicidal activity of Brazilian plant essential oils against *Coenagrionidae* larvae. *Journal of Economic Entomology*, 107(4): 1713-1720.
- Siqueira J et al. (2020). Vegetative propagation of an endemic species of the Pampa biome. *Ciência e Natura*, 42: e68.
- Vijay K et al. (2015). Accelerated ageing test to study the relative storage potential of hybrid sunflower-RSFH-130 (*Helianthus annuus*). *African Journal of Agricultural Research*, 10(35): 3502-3506.
- Zuchi J (2018). Armazenamento de sementes. *Revista Seed News*, 22(4): 34-37.

Micoparasitismo no Controle Biológico da Ferrugem Asiática da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*)

Recebido em: 15/07/2021

Aceito em: 21/07/2021

 10.46420/9786588319796cap10

Bianca Rosini^{1*} 

Gustavo dos Santos Cotrim² 

Aline Francieli da Silva^{1*} 

Gilsemara dos Santos Cagni^{1*} 

Hélio Conte^{1*} 

INTRODUÇÃO

Phakopsora pachyrhizi é o agente causal da ferrugem asiática, principal doença foliar da cultura da soja (*Glycine max*), cuja alta severidade está relacionada a substanciais perdas de rendimentos em grãos, causando grandes impactos financeiros para a cadeia produtiva (Miles et al., 2011; Lu, 2013; Paul et al., 2020). O patógeno é endêmico em diversos países, e a redução de produtividade na soja > 50% (Kelly et al., 2014; Sikora et al., 2014) foram atribuídas a alta severidade da doença, causando perdas registradas em 2003 da ordem de US\$ 2 bilhões no Brasil (Yorini et al., 2005).

Atualmente, o principal método de controle da ferrugem asiática da soja (FAS) utilizada pelos produtores é a aplicação de fungicidas, vazão sanitário, bem como, a utilização de germoplasma tolerante/resistente (Sikora et al., 2014; Paul et al., 2020). Entretanto, o cenário atual é de limitação em grupos químicos de fungicidas disponíveis e populações de *P. pachyrhizi* resistentes ao controle químico, tornando o manejo da FAS complexo e financeiramente pouco viável (Ward et al., 2011; Hassan et al., 2014; Silva, 2020).

Diante deste cenário, atualmente discute-se a necessidade de alternativas biotecnológicas passíveis de contribuir no controle de *P. pachyrhizi* no sistema de produção de soja. A utilização de microrganismos no controle de fitopatógenos, sem prejuízo à cultura, tem se consolidado uma alternativa sustentável e eficaz, além de contribuir para redução da aplicação de agroquímicos (Brimmer et al., 2003; Benitez et al., 2004). Nesse sentido, relatórios publicados anteriormente, evidenciaram que estruturas de *P. pachyrhizi* foram colonizadas por outras espécies de fungos, em uma interação ecológica de antagonismo fungo-fungo denominada de micoparasitismo (Saksirat et al., 1990; Havugimana, 2017; Okane et al., 2020).

O parasitismo entre fungos consiste na nutrição do micoparásita, por meio de penetração física associado a secreção de enzimas e/ou metabólitos especializados, que garantem o sucesso na colonização

¹ Pós-Graduação em Biotecnologia Ambiental, Universidade Estadual de Maringá – UEM

² Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

* Autora correspondente: biancarosini@hotmail.com

do hospedeiro (Gauthier et al., 2014). Esta associação pode ser explorada e possivelmente aplicada no controle biológico do agente causal da ferrugem asiática, bem como, outros fitopatógenos, contribuindo para o manejo integrado de doenças na agricultura (Daguerre et al., 2014). Portanto, está revisão objetiva reunir os principais resultados publicados entre o período de 2010 a 2020 de fungos micoparasitas reportados por colonizar *Phakopsora pachyrhizi* e, portanto, serem passíveis de objeto de estudo para o desenvolvimento de alternativas biotecnológicas para o manejo da ferrugem asiática da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica descritiva, utilizando artigos científicos como fontes primárias de informação. A revisão bibliográfica procedeu utilizando as bases de dados: *Google Scholar*, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)* e *Science Direct*. Os manuscritos reportados nesta revisão compreendem publicações entre 2010 a 2020, dos quais foram selecionados utilizando as palavras-chaves: *mycoparasitism*, *mycoparasitic fungus*, *mycoparasite fungi*, *Phakopsora pachyrhizi mycoparasitism*, *biological control* e *Phakopsora pachyrhizi bioproducts*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A soja é uma cultura oleaginosa de alta relevância no cenário de produção mundial. Na safra de 2020/21 cerca de 362,947 milhões de toneladas de grãos foram produzidos (USDA, 2021). Atualmente, o Brasil está consolidado como o maior produtor de soja do mundo (37%), seguido dos Estados Unidos da América (31%) (CONAB, 2021; USDA, 2021). O manejo integrado de doenças na cultura da soja possui o desafio do controle da ferrugem asiática, para manter-se os altos rendimentos na produção.

Phakopsora pachyrhizi é um fungo basidiomiceto biotrófico obrigatório e além da soja, outras leguminosas cultivadas foram reportadas por ser hospedeiras deste fitopatógeno, como *Phaseolus vulgaris* e *Vigna unguiculata* (Nunkumar et al., 2008). *P. pachyrhizi* inicialmente foi identificado em nabo-mexicano (*Pachyrhizus erosus*) no Japão em 1902 (Bromfield, 1984). Subsequentemente, relatos da incidência do patógeno ocorreram em outros países, como Austrália (1934) e Índia (1951). O primeiro relato da FAS ocorreu na Zâmbia (África) em 1978 (Javaid et al., 1978; Hartman et al., 2005) e, posteriormente, em *Vigna subterranea* no ano de 1981 em regiões da Tanzânia (Teri et al., 1981).

Considera-se que o patógeno possui especialização fisiológica na soja (Bromfield, 1984). Além disso, embora os sintomas de infecção da FAS possam ser observados em todos os estádios de desenvolvimento da soja, estima-se que perdas elevadas de produtividades ocorram devido à infecção do patógeno entre R1-R6 (Twizeyimana et al., 2011). Além disso, atribui-se que as perdas nos rendimentos de grãos sejam causadas pela redução da atividade fotossintética das folhas colonizadas pelo patógeno, causando lesões, desfolha prematura, redução no número de vagens, tamanho e peso de sementes (Kumudini et al., 2008).

Atualmente as estratégias disponíveis no controle da FAS, incluem a utilização de fungicidas (Sikora et al., 2014; Twizeyimana et al., 2017), cultivares resistentes, mudanças no calendário de semeadura e vazio sanitário (Twizeyimana et al., 2011). Porém, os fungicidas comumente utilizados tiveram sua eficácia reduzida, ao longo dos anos, devido à resistência do patógeno. Fungicidas da classe dos triazóis e estrobilurinas, isolados ou em mistura, são empregados amplamente para controle da FAS no Brasil e EUA (Godoy, 2012; Sikora et al., 2014). No entanto, a administração de produtos químicos para controle de pragas e doenças, apesar de contribuir substancialmente na produção mundial de grãos (Viterbo et al., 2010a), são potencialmente nocivos à saúde humana (Kim et al., 2016) e aos recursos renováveis (Gomes et al., 2015). Portanto, alternativas biotecnológicas, como o controle biológico em uma abordagem passível de utilizar microrganismos ou seus metabólitos (Twizeyimana et al., 2019), podem consolidarem estratégias viáveis no controle de *P. pachyrhizi* e, conseqüentemente, caminhar para a redução da administração de fungicidas.

Diante da dificuldade no combate do agente causal da ferrugem asiática, investigações foram conduzidas na busca de estratégias biotecnológicas para o controle do fitopatógeno, bem como, reduzir a severidade desta doença na soja. Nesta revisão, abordaremos avanços no conhecimento de fungos micoparasitas reportados por terem *P. pachyrhizi* como seu hospedeiro.

O micoparasitismo é uma interação entre dois fungos, no qual um é capaz de infectar seu hospedeiro e utilizar-se deste como fonte de nutrientes (Chamoun et al., 2015). Nessa interação, várias estratégias são utilizadas pelo fungo parasita, como a produção de metabólitos antifúngicos e enzimas passíveis de degradar a parede celular do hospedeiro (Benitez et al., 2004; Druzhinina et al., 2011). Sanz et al. (2004) reportaram que a degradação da quitina, principal constituinte da parede celular dos fungos, pelos micoparasitas em seus hospedeiros envolviam a atividade de enzimas, como quitinases, glucanase, N-acetilglucosaminidase e proteases.

Microrganismos na biotecnologia são considerados efetivos agentes de biocontrole quando estes são geneticamente estáveis, não possuem variações em suas atividades antagônicas entre as gerações, efetivos em populações baixas, compatíveis com demais métodos de controle e por não acarretarem riscos a plantas e animais (Medeiros et al., 2018). Portanto, a interação ecológica do micoparasitismo, pode ser investida como alternativa biotecnológica passível de ser empregada no controle biológico de doenças, pois gera o mínimo de resíduos que possam contaminar ambientes, bem como, não são prejudiciais à saúde humana, pois os fungos micoparasitas em geral são especialistas em seus hospedeiros (Kim et al., 2016).

Nos últimos anos (2010-2020), diversos estudos reportaram a utilização de fungos do gênero *Trichoderma*, como agentes antagonistas no controle biológico (Viterbo et al., 2010b; Gruber et al., 2011; Kubicek et al., 2011; Qualhato et al., 2013; Vinale et al., 2013), assim como *Clonostachys* e *Coniothyrium*, mostraram-se consideravelmente efetivos contra os fitopatógenos *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium* spp. (Zeng et al., 2014; Karlsson et al., 2015). Além disso, cepas distintas

de *Trichoderma harzianum* mostraram eficácia no controle de *Fusarium solani*, *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *Pythium ultimum*, *R. solani*, *B. cinerea*, *Alternaria alternata* e *A. tenuissima* importantes fitopatógenos, com percentual superior a 44% (Asran-Amal et al., 2010; Mastouri et al., 2010; Ambuse et al., 2012; Gveroska et al., 2012; Karima et al., 2012; El-Mohamedy et al., 2013; Ferrigo et al., 2014;). Não somente, de acordo com Twizeyimana et al. (2019), a linhagem *Trichoderma harzianum* T-22 reduziu a esporulação (67-88%) de *P. pachyrhizii* em bioensaios conduzidos em casa-de-vegetação, quando aplicadas no mesmo dia, um dia anterior ou posterior da inoculação do patógeno.

Outras espécies de fungos também foram reportadas por serem micoparasitas de *P. pachyrhizii*. A caracterização morfológica e baseada em homologia utilizando de bancos de dados para os genes ITS, permitiram identificar o fungo *Simplicillium lanosoniveum*, isolado de grãos de soja nos Estados da Louisiana e Flórida (Estados Unidos da América) em 2007 (Ward et al., 2011). Ward et al. (2012) reportaram que *S. lanosoniveum* é capaz de reduzir significativamente a severidade da FAS em condições de campo ao colonizar estruturas de *P. pachyrhizii*. Resultados revelam que a partir de 14 dias após a inoculação do fitopatógeno, plantas de soja já apresentavam sintomas visíveis da infecção e, logo em seguida, o fungo *S. lanosoniveum* colonizou as estruturas de *P. pachyrhizii*. Aliado a esses resultados, Gauthier et al. (2014) reportaram que após cinco dias da inoculação de *S. lanosoniveum* em folhas da soja, 90% dos urediniósporos avaliados de *P. pachyrhizii* foram colonizados, corroborando a efetividade deste micoparasita.

Recentemente, Pilla et al. (2019) reportaram um micoparasita de *P. pachyrhizii* que obteve resultados satisfatórios em bioensaios conduzidos *in vitro*, ao ser incubado em BOD a 25°C com fotoperíodo de 12 luz/escuro durante 14 dias, o fungo alcançou um crescimento equivalente quando inoculado em folha fresca em condições semelhantes, com medidas resultantes de 3-5 µm x 2-3 µm (folha fresca) e 4-6 µm x 2-3 µm (cultura). Os resultados denotam o potencial deste isolado para futuros bioensaios com objetivo de desenvolver alternativas biotecnológicas para o manejo da FAS.

Cruz-Triana et al. (2017) mencionaram o potencial inibitório de *Trichoderma asperellum* contra *P. pachyrhizii* em condições de campo após 66 dias de germinação da soja, o qual também contribuiu com o crescimento das plantas, corroborando com os resultados *in vitro* reportados por Baiswar et al. (2014), utilizando uma espécie do mesmo gênero (*T. roseum*).

Fungos do gênero *Lecanicillium* também foram efetivos na supressão de estruturas de colonização e reprodutivas de *P. pachyrhizii*, a severidade da FAS foi reduzida em 84% por *L. muscarium* (Havugimana, 2017), e suprimida para 15,9% por *L. lecanii* (Bintan et al., 2012), revelando ser isolados prósperos para constituir agentes de biocontrole. Além disso, Holz (2020) ao utilizar isolados de três espécies de *Metarhizium*, *M. anisopliae* BR-01, *M. robertsii* BR-02 e *M. humberii* BR-03, amplamente reconhecidos no controle biológico de insetos, em bioensaios *in vivo* e *in vitro* contra *P. pachyrhizii*, reportaram que os isolados BR-01 e BR-03 apresentaram efeitos sobre a doença, bem como, elicitou resistência sistêmica na soja. Não somente, BR-02 foi efetivo em inibir *P. pachyrhizii* em 66% na menor concentração e 99% em

concentrações superiores e, portanto, essas cepas foram consideradas promissoras para bioensaios futuros no controle da FAS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle biológico é uma excelente alternativa para compor manejo integrado de doenças, por ser um método com baixo potencial de impacto ao ambiente, efetivo e economicamente viável quando comparado as atuais alternativas de controle. Observa-se que infelizmente há poucos relatos na literatura sobre a interação de micoparasitas tendo *P. pachyrhizii* como hospedeiro, mesmo considerando que esse fitopatógeno seja responsável por uma das principais doenças nos países produtores de soja. No entanto, os manuscritos publicados apresentam resultados promissores de fungos isolados quando avaliado sua capacidade em redução da severidade da doença, bem como, sua efetividade como micoparasita ao colonizar estruturas de *P. pachyrhizii*. Portanto, entende-se que investimentos em novas pesquisas serão necessárias para caracterização das espécies reportadas, bem como, sua efetividade e potencial no controle de *P. pachyrhizii* na cultura da soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambuse MG et al. (2012). Influence of *Trichoderma* spp. against *Alternaria tenuissima* inciting leaf spot of *Rumex Acetosa* L. Bioscience Discovery, 3(2): 259-262.
- Asran-Amal A et al. (2010). In vitro antagonism of cotton seedlings fungi and characterization of chitinase isozyme activities in *Trichoderma harzianum*. Saudi Journal of Biological Sciences, 17(2): 153-157.
- Baiswar P et al. (2014). Evaluation of different fungi as mycoparasite for eco-friendly management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizii*). Journal of Eco-friendly Agriculture, 9(1): 101-103.
- Benitez T et al. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology, 7(4): 249-260.
- Bintan R et al. (2012). Efficacy of mycoparasite fecal fungi *Lecanicillium lecanii* against rust disease (*Phakopsora pachyrhizii*) at soybean (*Glycine max* L. Merril). Natural B, 1(4): 319-327.
- Brimmer T et al. (2003). A review of the non-target effects of fungi used to biologically control plant diseases. Agriculture, Ecosystems and Environment, 100(1): 3-16.
- Bromfield KR (1984). Soybean rust. American Phytopathological Society. USDA, Agricultural Research Service (Monograph).
- Chamoun R et al. (2015). Identification of signatory secondary metabolites during mycoparasitism of *Rhizoctonia solani* by *Stachybotrys elegans*. Frontiers in Microbiology, (6): 353.
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2021). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 10, julho. 2021.

- Cruz-Triana A et al. (2017). Evaluación de la actividad antifúngica de *Trichoderma asperellum* Samuels ante patógenos fúngicos que afectan al cultivo de la soya (*Glycine max* L.). *Cultivos Tropicales*, 38(4): 15-21.
- Daguerre Y et al. (2014). Fungal proteins and genes associated with biocontrol mechanisms of soil-borne pathogens: a review. *Fungal Biology Reviews*, 28(4): 97-125.
- Druzhinina IS et al. (2011). *Trichoderma* the genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 9(10):749-759.
- El-Mohamedy RSR et al. (2013). Bio-priming seed treatment for biological control of soil borne fungi causing root rot of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural Technology*, 9(3): 589-599.
- Ferrigo D et al. (2014). *Trichoderma harzianum* T22 induces in maize systemic resistance against *Fusarium verticillioides*. *Journal of Plant Pathology*, 96(1): 133-142.
- Gauthier NW et al. (2014). Mycoparasitism of *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, by *Simplicillium lanosoniveum*. *Biological Control*, 76(1): 87-94.
- Godoy CV (2012). Risk and management of fungicide resistance in the Asian soybean rust fungus *Phakopsora pachyrhizi*. *Fungicide Resistance in Crop Protection: Risk and Management*. Tarlochan ST (org.). 87-95p.
- Gomes EV et al. (2016). The Cerato-Platanin protein Epl-1 from *Trichoderma harzianum* is involved in mycoparasitism, plant resistance induction and self cell wall protection. *Scientific Reports*, 5(1): 17998.
- Gruber S et al. (2011). Analysis of subgroup C of fungal chitinases containing chitin-binding and LysM modules in the mycoparasite *Trichoderma atroviride*. *Glycobiology*, 21(1): 122-133.
- Gveroska B et al. (2012). *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent against *Alternaria alternata* on tobacco. *Applied Technologies and Innovations*, 7(2): 67-76.
- Hartman GL et al. (2005). Breeding for resistance to soybean rust. *Plant Disease*, 89(6): 664-666.
- Hassan FSC et al. (2014). Breeding for resistance to soybean rust. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 67:322-328.
- Havugimana JP (2017). Studies on *Lecanicillium muscarium* as a mycoparasite of the soybean rust fungus, *Phakopsora pachyrhizi*. University of KwaZulu-Natal (Dissertation), Pietermaritzburg. 96p.
- Holz S (2020). Potencial de isolados de *Metarhizium* spp. no controle alternativo da ferrugem-asiática da soja. Universidade de São Paulo (Dissertação), Piracicaba. 92p.
- Javaid I et al. (1978). Some observations on soybean diseases in Zambia and occurrence of *Pyrenochaeta glycines* on certain varieties. *Plant Disease Reporter*, 62(1): 46-47.
- Karima HE et al. (2012). In vitro study on *Fusarium solani* and *Rhizoctonia solani* isolates causing the damping off and root rot diseases in tomatoes. *Nature and Science*, 10(11): 16-25.


- Karlsson M et al. (2015). Insights on the Evolution of Mycoparasitism from the Genome of *Clonostachys rosea*. *Genome Biology and Evolution*, 7(2): 465-480.
- Kelly HY et al. (2015) From select agent to an established pathogen: the response to *Phakopsora pachyrhizi* (soybean rust) in North America. *Phytopathology*, 105(7): 905-916.
- Kim SH et al. (2016). Relationship between mycoparasites lifestyles and biocontrol behaviors against *Fusarium* spp. and mycotoxins production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(12): 5257–5272.
- Kubicek CP et al. (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. *Genome Biology*, 12(4): 1-15.
- Kumudini S et al. (2008). Mechanisms involved in soybean rust-induced yield reduction. *Crop Science*, 48(6): 2334-2342.
- Lu F (2013). *Phakopsora pachyrhizi* growth in tissue of leaves from resistant and susceptible soybean germplasm. *Crop Sciences University of Illinois (Dissertation)*, Illinois. 92 p.
- Mastouri F et al. (2010). Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology*, 100(11): 1213-1221.
- Medeiros FHV et al. (2018). Controle biológico de doenças de plantas. In: *Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos*. Ouro Fino: Agronômica Ceres., 261-274p.
- Miles MR (2011). Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. *Plant Disease*, 95:577-581.
- Nunkumar A et al. (2008). Alternative hosts of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 25(1): 62-63.
- Okane I et al. (2020). A new species of *Leptobacillium*, *L. symbioticum*, isolated from mites and sori of soybean rust. *Mycoscience*, 61(4): 165-171.
- Paul C et al (2020). Reactions of soybean germplasm accessions to six *Phakopsora pachyrhizi* isolates from the United States. *Plant Disease*, 101(4): 1087-1095.
- Pilla T et al. (2019). Caracterização de um micoparásita de *Phakopsora pachyrhizi*, agente causal da ferrugem-asiática da soja. In: *Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 14, 2019, Londrina. 120-128p.
- Qualhato TF et al. (2013). Mycoparasitism studies of *Trichoderma* species against three phytopathogenic fungi: evaluation of antagonism and hydrolytic enzyme production. *Biotechnology Letters*, 35(9): 1461-1468.
- Saksirirat W et al. (1991). Degradation of Uredospores of the Soybean Rust Fungus (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) by Cell-Free Culture Filtrates of the Mycoparasite *Verticillium Psalliotae* Treschow. *Journal of Phytopathology*, 132(1): 33-45.
- Sanz L et al. (2004). Cell wall-degrading isoenzyme profiles of *Trichoderma* biocontrol strains show correlation with rDNA taxonomic species. *Current Genetics*, 46(5): 277-286.
- Sikora EJ et al. (2014). A coordinated effort to manage soybean rust in North America: A success story in soybean disease monitoring. *Plant Disease*, 98(7): 864-875.

- Silva C (2020). Controle químico da ferrugem asiática da soja em diferentes sistemas de aplicações. *Enciclopédia Biosfera*, 17(32).
- Teri JM et al. (1981). New records of plant diseases and pathogens in Tanzania. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 46(1/4): 97-98.
- Twizeyimana M et al. (2011). Dynamics of soybean rust epidemics in sequential plantings of soybean cultivars in Nigeria. *Plant Disease*, 95(1): 43-50.
- Twizeyimana M et al. (2017). Sensitivity of *Phakopsora pachyrhizi* isolates to fungicides and reduction of fungal infection based on fungicide and timing of application. *Plant Disease*, 101(1): 121-128.
- Twizeyimana M et al. (2019). Effect of selected biopesticides in reducing soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) development. *Plant Disease*, 103(9): 2460-2466.
- USDA - World Agricultural Production. Brazil Soybeans: Record MY 2020/21 Production Revised Upward. Circular Series WAP 7-21. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- Vinale F et al. (2013). Harzianic acid: a novel siderophore from *Trichoderma harzianum*. *FEMS Microbiology Letters*. 347(2): 123-129.
- Viterbo A et al. (2010a). Mycoparasitism. *Cellular and Molecular Biology of Filamentous Fungi*, 676–693.
- Viterbo A et al. (2010b). Characterization of ACC deaminase from the biocontrol and plant growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* T203. *FEMS Microbiology Letters*, 305(1): 42-48.
- Ward NA et al. (2011). Colonization of soybean rust sori by *Simplicillium lanosoniveum*. *Fungal Ecology*, 4(5): 303-308.
- Ward NA et al. (2012). Effects of *Simplicillium lanosoniveum* on *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, and its use as a biological control agent. *Biological Control*, 102(8): 749-760.
- Yorinori JT et al. (2005). Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. *Plant Disease*, 89(6): 675-677.
- Zeng LM et al. (2014). Degradation of oxalic acid by the mycoparasite *Coniothyrium minutans* plays an important role in interacting with *Sclerotinia sclerotiorum*. *Environmental Microbiology*, 16(8): 2591-2610.

As características agronômicas da soja são influenciadas pelo tipo de irrigação e aplicação de doses de potássio


Recebido em: 15/07/2021


Aceito em: 22/07/2021

 10.46420/9786588319796cap11


Carlos Eduardo Soares da Silva¹³ 


Luane Nathalyne da Silva¹ 


Roney Eloy Lima² 

Jorge González Aguilera^{1*} 

Rafael Felipe Ratke¹ 

Alan Mario Zuffo³ 

Yilan Fung Boix⁴ 

Leandris Argentel Martinez⁵ 

INTRODUÇÃO

Um dos fatores importantes em relação à produção de soja (*Glycine max* L.) é a demanda mundial crescente, estimada em 362,947 milhões de toneladas para 2021, o que demanda 127,842 milhões de hectares de área cultivada segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2021). O Brasil é o maior produtor mundial de soja com uma produção estimada de 135,409 milhões de toneladas em 38,502 milhões de hectares de área cultivada e com uma produtividade de 3,517 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

Dentre os estados produtores da oleaginosa no Brasil se destaca o estado de Mato Grosso do Sul, na safra de 2020/2021 teve uma produção de 13,305 milhões de toneladas e produtividade dos grãos de 62,8 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2021). O clima das principais regiões produtoras da cultura limita muitas vezes a produção devida a períodos de falta de chuva, chamados de estiagens, na época de primavera e verão. Assim sendo, emprego da irrigação c podem auxiliar ao produtor a ter o maior desempenho da cultura. A irrigação feita em épocas de seca deve ser feita para complementar a falta de água da chuva que por sua vez proporciona um maior resultado na produção. A irrigação é uma técnica cuja eficácia já é comprovada. Atualmente, a irrigação com água tratada magneticamente (ATM) vem ganhando espaço na agricultura. A ATM tem vários benefícios dentre eles a melhoria da qualidade e quantidade da água de irrigação, aumento da produtividade, economia de água, redução do uso de fertilizantes, diminuição do

¹³ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Departamento de Agronomia, 79560-000, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

² Universidade Federal do Santa Maria, Departamento de Engenharia Agrícola, 97105900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

³ Editor chefe da Pantanal Editora.

⁴ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente (UO), 90600, Santiago de Cuba, Cuba.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. Calle 600, Block 611, Bácum, San Ignacio Río Muerto, Sonora, México. C. P. 85275.

* Autor(a) correspondente: j51173@yahoo.com

entupimento nas tubulações, “efeito memória” na água e outros (Shine et al., 2011; Aguilera et al., 2016; da Silva et al., 2016; Abedinpour et al., 2017; Hozayn et al., 2020; Aguilera et al., 2021).

Além de condições de estresses hídricos que limitam a cultura da soja a disponibilidade de nutrientes é um dos fatores mais relevantes na produção é o manejo da cultura (Sediyama, 2016). Dentre as principais maneiras utilizadas para ocasionar o incremento produtivo na soja se destaca a adubação mineral, e dentre esta, a adubação potássica. Um dos principais elementos químicos exigidos pela soja é o potássio (K) junto com nitrogênio (N) e fosforo (P). O K é encontrado em baixas concentrações nos solos tropicais brasileiros, mas com efeito direto no rendimento de grãos, proteínas e óleos (Lima et al., 2017). Do ponto de vista fisiológico, as principais funções do potássio estão ligadas a ativação de sistemas enzimáticos relacionados ao processo de respiração e fotossíntese (Taiz et al., 2017), assim como, ligado à abertura e fechamento dos estômatos (Novais et al., 2007).

Outro benefício do K está relacionado à tolerância a estresses abióticos, estudos tem demonstrado que a adubação potássica contribuiu para a tolerância ao frio em cultivo de *Brassica napus* L (Mendonça et al., 2016). A combinação de doses de K com sistemas de irrigação podem ser eficientes em minimizar os danos por estresses que poderiam ocorrer na safra da soja nas condições do cerrado brasileiro.

O presente trabalho tem como objetivo verificar se o uso de ATM combinado com doses de potássio pode melhorar o desempenho agrônômico da soja quando comparado com a irrigação convencional e condições de sequeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus de Chapadão do Sul – MS (18° 47' 39" S 52° 37' 22" W e altitude média de 790 m), no período de 03/12/2020 à 05/04/2021. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com precipitação, temperatura média e umidade relativa anual de 1.261 mm, 23,97 °C, 64,23%, respectivamente. A umidade relativa, temperatura do ar e o acumula de chuva foram monitoradas e mostrados na Figura 1.

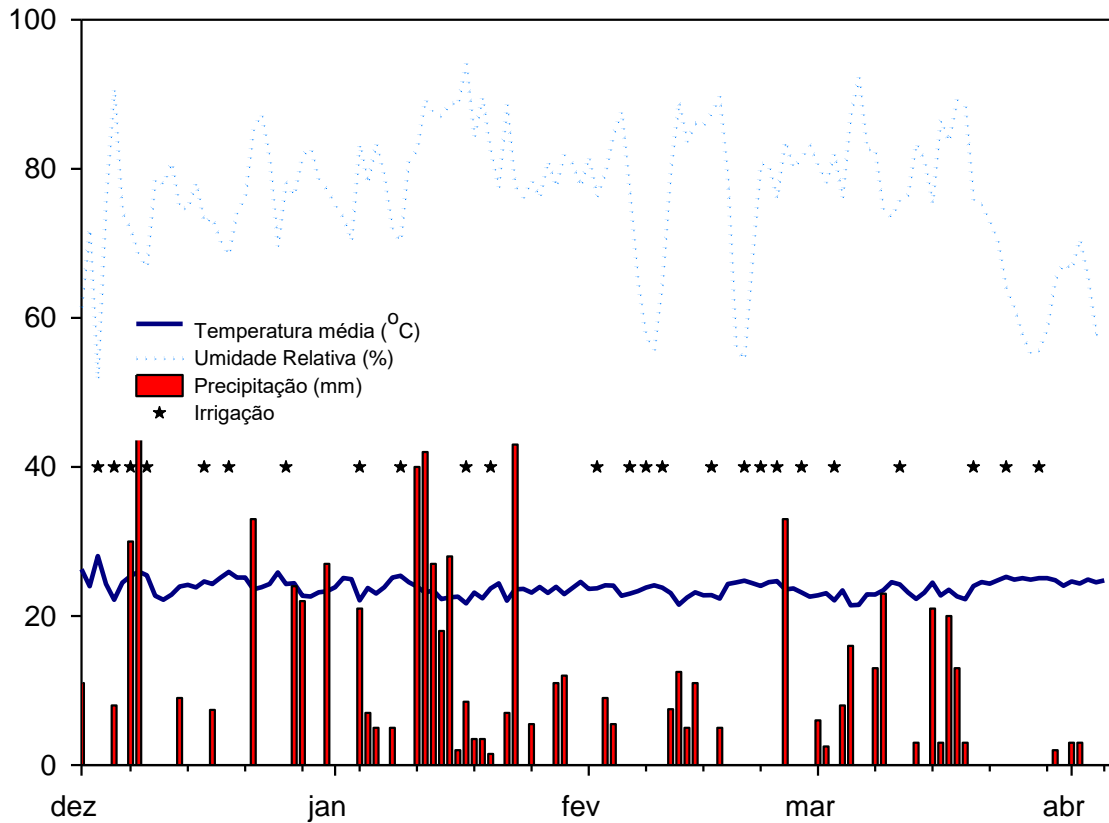


Figura 1. Variáveis climatológicas registradas durante a condução do experimento em Chapadão do Sul – MS. Experimento foi conduzido do 1/12/2020 até 5/4/2021. Fonte: Os autores.

A área do experimento selecionada, possui a classe de solo Latossolo Vermelho distrófico típico (Santos et al. 2017). A composição química do solo da área experimental está descrita na Tabela 1.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (Santos et al. 2017). Anterior a instalação do experimento foi realizada amostragem da camada de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, de profundidade do solo, retirando-se 6 amostras simples com o auxílio de um trado tipo “holandês”, com a finalidade de caracterizar o solo da área. As amostras obtidas foram homogeneizadas e enviadas para análise físico químicas, sendo estas realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, segundo metodologia de Teixeira et al. (2017). A composição química do solo da área experimental está descrita na Tabela 1. A granulometria do solo da área experimental é classificada como Franco-Argilosa, apresentando 540 g kg^{-1} , 50 g kg^{-1} e 410 g kg^{-1} de Argila, Silte e Areia.

Tabela 1. Propriedades químicas do solo empregado no experimento.

| Profundidade (m) | pH | MO ¹ | P | H+Al | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | CTC ² | SV ³ |
|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | CaCl ₂ | (g dm ⁻³) | (mg dm ⁻³) | ----- cmolc dm ⁻³ ----- | | | | | | |
| 0,00 – 0,20 | 5,2 | 27,5 | 6,0 | 3,8 | 0,12 | 3,20 | 1,10 | 0,25 | 8,4 | 54,5 |
| 0,20 – 0,40 | 4,8 | 30,1 | 5,5 | 4,8 | 0,07 | 2,70 | 0,80 | 0,20 | 8,5 | 43,5 |

¹MO: matéria orgânica; ²CEC: capacidade de troca catiônica a pH 7.0; ³SV: saturação de bases. Fonte: Os autores.

A acidez do solo foi corrigida com a aplicação superficial de 513 kg ha⁻¹ do calcário (CaO: 29%; MgO: 20%); valor neutralizante relativo total: 90,1%, em relação ao carbonato de cálcio). O cálculo da dose de calcário foi realizado pelo método de saturação por bases, para elevar a saturação por bases do solo da camada 0,00 a 0,20 m a 60%, conforme recomendação de Souza et al. (2004). A aplicação e incorporação do calcário foi realizada 60 dias antes da implantação do experimento.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em arranjo fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de cloreto de potássio (0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de KCl) e três tipos de irrigação [água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM) e sequeiro (SEQ)], com três repetições. Utilizou-se sementes da cultivar de soja C2379 IPRO da TMG Tropical. A unidade experimental foram cinco linhas de 3 m e delas três linhas do centro foram selecionadas com 2m de comprimento representando as repetições, e dentro delas foram amostradas 5 plantas. A semeadura das sementes foi de modo manual. As sementes de soja receberam tratamento com fungicida, inseticida e foram inoculadas com *Bradyrhizobium* sp. (100 ml para 50 kg de sementes), antes do plantio.

As doses de cloreto de potássio foram aplicadas manualmente nas parcelas individuais. Aos 30 dias após a germinação da soja, foram aplicadas as doses de 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de K₂O. Como fonte de potássio foi empregado o KCl (60% de K₂O). O sistema de irrigação foi estabelecido com mangueira de irrigação por gotejamento Streamline™ Plus Netafim com espaçamento entre emissores de 30 cm. A irrigação proporcionou 1,3 L h⁻¹, com intervalos de 24 h nas primeiras duas semanas, sendo aplicada a cada 48 h para garantir o bom desenvolvimento da cultura nos períodos que demandam irrigação (Figura 1), sendo necessárias sete irrigações em dezembro, quatro em janeiro, nove em fevereiro e cinco em março totalizando 25 irrigações de 8 horas de duração cada.

Os três tratamentos tiveram o mesmo sistema de irrigação, entretanto, no tratamento de sequeiro foi mantida a irrigação apenas 30 dias após a emergência (DAE) das sementes para garantir a emergência e o desenvolvimento inicial das sementes. O tratamento magnético foi realizado por um dispositivo magnético composto por ímãs permanentes que foram concebidos, construídos e caracterizados no Centro Nacional de Eletromagnetismo Aplicado (CNEA) de Santiago de Cuba, Cuba. Esses equipamentos possuem um campo magnético estático não uniforme ou heterogêneo entre 20 e 200 mT. O magnetizador foi instalado num cano de ½” e nele acrescentada a mangueira de gotejo.

A soja recebeu tratamento fitossanitários durante o cultivo, as plantas daninhas foram controladas através de capina manual. Durante o desenvolvimento das plantas, para o manejo de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados os produtos: glifosato, mancozeb, mosprid, orquestra, Engeo pleno, Applaud e savior (Fipronil) nas doses recomendadas pelo fabricante.

A colheita de soja foi realizada manualmente no estágio fenológico R₈ (quando 95% das vagens ter a coloração típica de vagens maduras) onde foram colhidas cinco plantas dentre as repetições em cada um dos tratamentos sendo avaliados: AP: altura da planta, A1V: altura inserção da primeira vagem, NTV: número total de vagens, NVP: número de vagens por planta, NGV: número de grãos por vagens, P1000: peso de 1000 grãos, Prod: produtividade dos grãos, corrigida a 13% de umidade. A AP e A1V foi aferida com o auxílio de uma régua métrica. O NTV, NVP e NGV foi feito através da contagem das vagens e grãos dentre de cada planta coletada. O P1000 foi realizado ao contar de modo individual 1000 grãos dentre de cada repetição por tratamento e numa balança analítica feita a pesagem. A Prod. foi estimada em relação ao peso das parcelas (5 plantas) e estimado em relação ao estande que foi de 8,5 plantas em média corrigido para 13% de umidade e expresso em sacas ha⁻¹.

Para verificar a relação entre as variáveis em relação a irrigação empregada, foi feito um gráfico de dispersão contendo as correlações de Pearson e a dispersão de cada característica. Os dados foram empregados para fazer uma análise multivariada por meio do método das variáveis canônicas biplot para visualizar a variabilidade geral do experimento e as tendências multivariadas dos dados. Foi utilizado o software Rbio (Bhering, 2017) e o SigmaPlot 10.0[®] (Systat Software Inc.) na confecção dos gráficos e empregado o R (R Core Team, 2014) no pacote “GGally”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações de Pearson e dispersão dos resultados amostrais de cada variável analisada no desempenho da soja em relação a irrigação empregada estão apresentados na Figura 2.

Correlações moderadas e significativas foram obtidas entre as variáveis NVP x NTV (0,50, $p < 0,01$), P1000 x NTV (-0,45, $p < 0,01$), NGV x NVP (-0,35, $p < 0,05$) e P1000 x NVP (-0,50, $p < 0,01$). Correlações mais elevadas e significativas foram obtidas apenas entre Prod x NVP (0,71, $p < 0,001$). O tratamento ACTM manifestou correlações significativas para as combinações das variáveis P1000 x AP (0,74, $p < 0,01$) e Prod x NVP (0,75, $p < 0,01$) mostrando o efeito do tratamento sob essas variáveis. O tratamento ASTM manifestou correlações significativas para as variáveis NTV x AP (0,59, $p < 0,05$), NVP x NTV (0,72, $p < 0,01$), Prod x NTV (0,76, $p < 0,01$), P1000 x NVP (-0,69, $p < 0,05$) e Prod x NVP (0,90, $p < 0,001$). O tratamento SEQ manifestou correlações significativas para a combinação das variáveis Prod x AP (-0,66, $p < 0,05$), NVP x NTV (0,78, $p < 0,01$), Prod x NTV (0,75, $p < 0,01$), P1000 x NVP (-0,71, $p < 0,01$) e Prod x NVP (0,66, $p < 0,05$). Estas correlações manifestam as relações individuais e gerais das

variáveis entre elas e as variáveis dentre os diferentes tratamentos de irrigação testados na soja no presente trabalho (Figura 2).

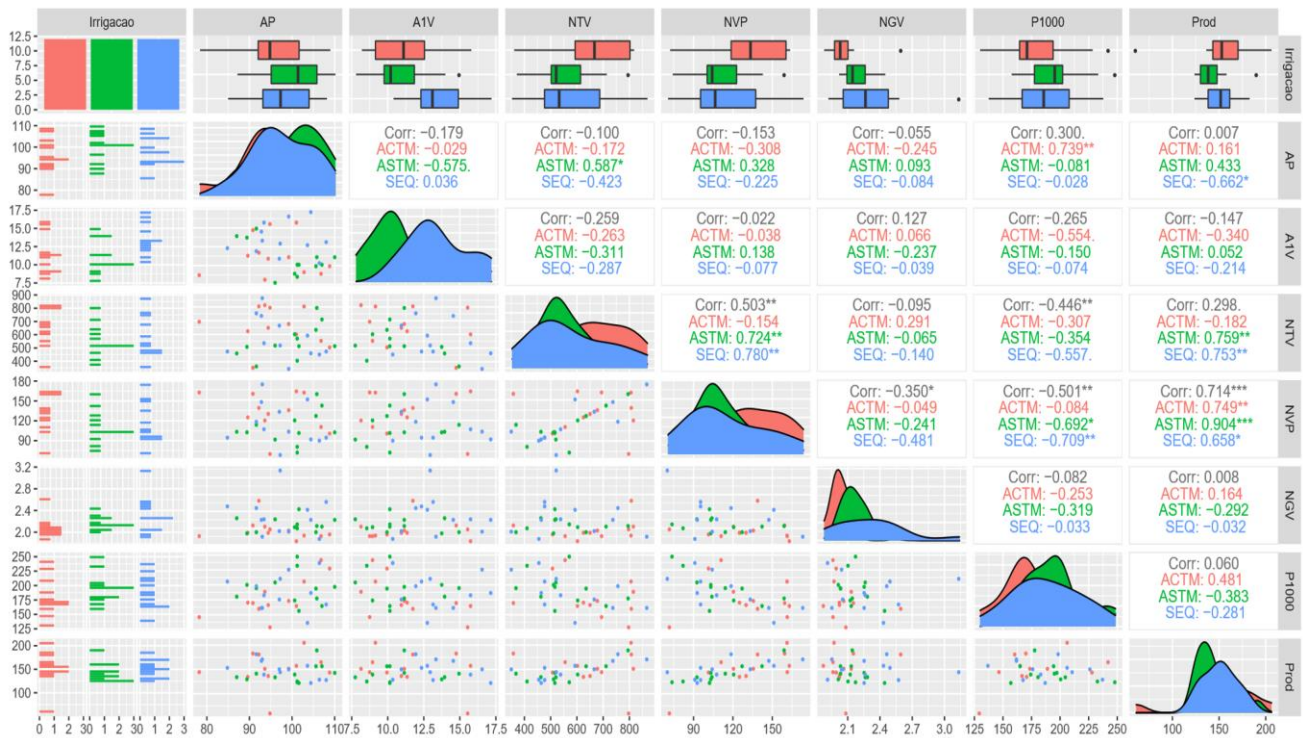


Figura 2. Gráfico de correlações e dispersão entre as variáveis avaliadas ao considerar diferentes tipos de irrigação [água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM) e sequeiro (SEQ)] na cultura da soja em Chapadão do Sul, 2021. Nos gráficos a cor vermelha está associada ACTM, a cor verde ASTM e a cor azul a SEQ. Variáveis AP: altura da planta, A1V: altura inserção da primeira vagem, NTV: número total de vagens, NVP: número de vagens por planta, NGV: número de grãos por vagens, P1000: peso de 1000 grãos, Prod: produtividade. Fonte: os autores.

Os resultados da análise multivariada são mostrados na Figura 3. A Figura 3A e Figura 3B mostraram que houve efeitos significativos entre as doses de KCl e as irrigações respectivamente, quando consideradas as variáveis AP, A1V, NTV, NVP, NGV, P1000 e Prod. Esses resultados possibilitaram a obtenção de informações relevantes sobre o comportamento da soja nos diferentes níveis de adubação e de irrigação empregados.

Na Figura 3A as duas primeiras variáveis canônicas representadas na figura explicam 90,4% da variação dos dados obtidos ao aplicar diferentes níveis de adubação potássica na cultura da soja. Dentre as doses a de 600 kg ha⁻¹ se mostrou fortemente associada as variáveis P1000, NVP, AP e Prod evidenciando o efeito direto que teve esta dose sobre os valores obtidos para esta variável. A adubação potássica se destaca na cultura da soja, devido ao fato de que o potássio é considerado o segundo elemento mais extraído pela planta e de aí a importância de fornecer ele em quantidades adequadas (Sediyama, 2016; Lima et al., 2017). Resultados similares foram obtidos por Antigo et al. (2020) que ao aplicar diferentes doses na adubação potássica da cultura da soja observaram uma correspondência

significativa com o desenvolvimento da cultura proporcionando o aumento das variáveis produtividade e altura da planta.

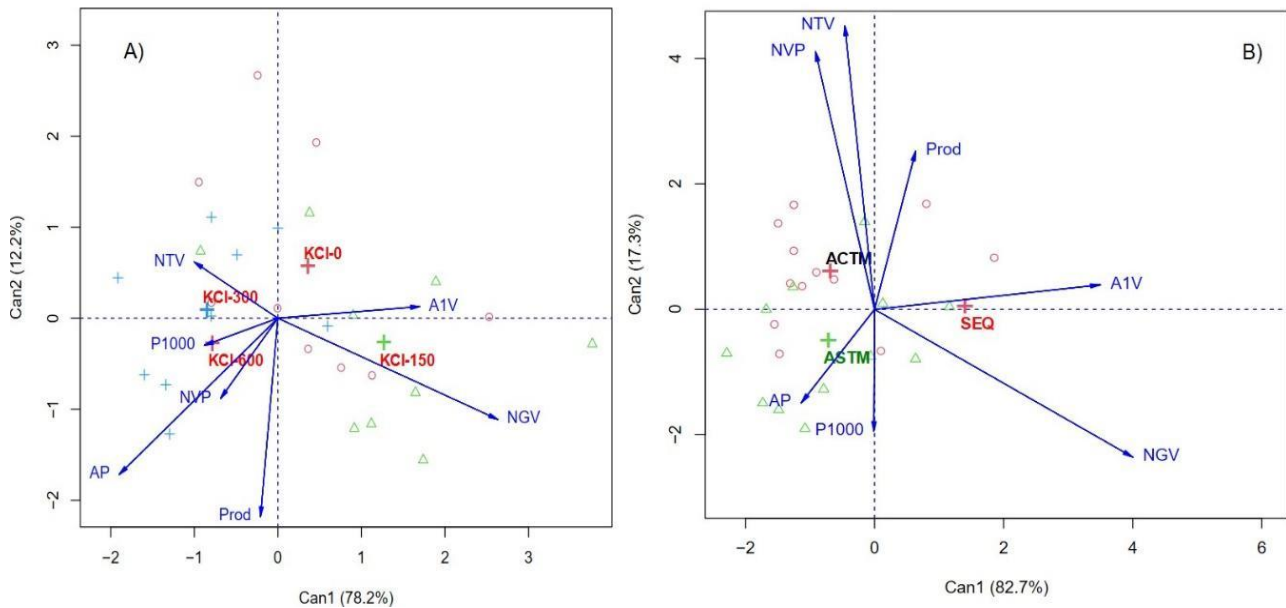


Figura 3. Variáveis canônicas obtidas ao avaliar doses de cloreto de potássio (A) e diferentes tipos de irrigação (B) na cultura da soja em Chapadão do Sul, 2021. AP: altura da planta, A1V: altura inserção da primeira vagem, NTV: número total de vagens, NVP: número de vagens por planta, NGV: número de grãos por vagens, P1000: peso de 1000 grãos, Prod: produtividade. Doses de KCl: KCl-0 (0 kg ha⁻¹), KCl-150 (150 kg ha⁻¹), KCl-300 (300 kg ha⁻¹), KCl-600 (600 kg ha⁻¹), água com tratamento magnético (ACTM) e sem (ASTM) e sequeiro (SEQ). Fonte: os autores.

Na Figura 3B as duas primeiras variáveis canônicas explicam 100% da variação dos dados obtidos ao aplicar diferentes irrigações na cultura da soja. Dos tratamentos empregados o sequeiro foi quem mais influenciou as variáveis A1V e NGV, e o tratamento sem tratamento magnético à água (ASTM) influenciou a AP e P1000. Já a irrigação com água tratada magneticamente (ACTM) teve uma forte incidência sob as variáveis NVP, NTV e Prod. O déficit hídrico é o principal fator que reduz a produtividade da cultura da soja no Brasil nas principais regiões produtoras (Novais et al., 2007; Sedyama, 2016). A resposta da produtividade da cultura da soja utilizando manejos de irrigação no período chuvoso para o Cerrado foi o objetivo deste trabalho, tendo destaque para a irrigação com ACTM.

Nas condições avaliadas manifestou-se um acumulado de chuva de 730 mm (Figura 1) o que permitiu fazer apenas 25 irrigações e assim observar o efeito que teve a ACTM em relação a ASTM e o sequeiro. Silva et al. (2020) e Barbosa et al. (2020) ao avaliar a irrigação no centro oeste (Rio Verde, GO; Cristalina, GO; Barreiras, BA e Peixe, TO) e no cerrado Piauiense respectivamente, constataram aumento de produtividade da soja e aumento da eficiência do uso da água dependente da adoção de manejos adequados a região, com destaque para os tratamentos com irrigação. O magnetismo empregado como uma ferramenta que permite um melhor aproveitamento da água e disponibilidade de nutrientes para as plantas tem sido relatado em pesquisas anteriores (Shine et al., 2011; Abedinpour et al., 2017; Aguilera et

al., 2016; Aguilera et al., 2021), entretanto, no cultivo de soja em campo poucos relatos são descritos evidenciando a importância do presente estudo.

Shine et al. (2011), relatam o efeito benéfico do tratamento magnético de pré-semeadura da soja na melhoria dos parâmetros de germinação e acúmulo de biomassa que pode redundar no aumento da produção da cultura como obtido nesse trabalho. Vários estudos indicam que o tratamento magnético da água de irrigação oferece muitos benefícios na agricultura, como a melhoria da germinação, crescimento, produção, maturação precoce das lavouras, redução de doenças em plantas e estresse salino, melhor qualidade da safra, maior eficiência dos fertilizantes e menor custo para operações agrícolas (Shine et al., 2011; Aguilera et al., 2016; da Silva et al., 2016; Abedinpour et al., 2017; Hozayn et al., 2020; Hozayn et al., 2020; Aguilera et al., 2021). O efeito da água tratada magneticamente depende das espécies de plantas, do comprimento do caminho no campo magnético e da velocidade do fluxo de água (da Silva et al., 2016).

CONCLUSÕES

A doses de 600 kg ha⁻¹ combinada com a irrigação com água tratada magneticamente melhora o desempenho agrônômico da soja nas condições edafoclimáticas da região dos Chapadões no centro-oeste brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Abedinpour M et al. (2017). Effects of magnetized water application on soil and maize growth indices under different amounts of salt in the water. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7(3): 319-325.
- Aguilera JG et al. (2016). Água tratada magneticamente estimula a germinação e desenvolvimento de mudas de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 6(1): 47-53.
- Aguilera JG et al. (2021). Efeito da água tratada magneticamente na emergência e desenvolvimento de mudas de pimentão amarelo. Em: Zuffo AM, Aguilera JG (Org.). *Pesquisas agrárias e ambientais: volume IV*. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora. 158-165.
- Artigo V et al. (2020). Avaliação de parâmetros agrônômicos da cultura soja em resposta a diferentes doses de adubação potássica. *Enciclopédia Biosfera*, 17(32): 113-121.
- Barbosa JR et al. (2020). Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado Piauiense. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 14(4): 4200-4210.
- Bhering LL (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17: 187-90.
- CONAB (2021). Acompanhamento de safra brasileira: grãos. Brasília, DF: Conab, 2021. Quarto Levantamento -V.8 –Safra 20/21. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.

- da Silva JA et al. (2016). Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*, 253(2): 231-248.
- Hozayn M et al. (2020). Influence of magnetic brackish-water treatments on growth, anatomical structure, yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plant Archives*, 20(2): 8271-8278.
- Lima MD et al. (2017). Potassium fertilization and sowing seasons on protein yield in soybean cultivars. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21: 392-397.
- Mendonça JÁ et al. (2016). A. Canola (*Brassica napus* L.) ESALQ. Série Produtor Rural, nº61, Piracicaba, 32p.
- Novais RF et al. (2007). Fertilidade do Solo. SBCS/UFV, Viçosa. 92- 132p.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing.
- Sediyama T (2016). Produtividade da soja. Ed. 1, Mecenas, Londrina. 310p
- Shine M et al. (2011). Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pretreatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 32: 474–484.
- Silva LP et al. (2020). Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. *Agrometeoros*, 28: e026702.
- Sousa DMG et al. (2004). Cerrado: correção do solo e adubação (2a ed). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 416p.
- Taiz L et al. (2017). Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888p.
- Teixeira PC et al. (2017). Manual de métodos de análises de solos (3a). Embrapa.
- USDA (2021) Foreign Agricultural Service (FAS). Grain: world mar-kets and trade. United States: United States Department Of Agriculture/FAS, Jul. 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdon-line/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2021.


Efectos de los oligogalacturónidos y sustrato orgánico en el comportamiento morfoproductivo de la habichuela Lina (*Vigna unicalata* L.)

Recibido em: 15/07/2021

Aprobado em: 22/07/2021


 10.46420/9786588319796cap12

Ariel López Duany¹ 

Erisneldis Aquino Rodríguez² 

Sucleidi Nápoles Vinent³ 

Claudio Osmar Alarcón Méndez³ 

Jorge González Aguilera^{4*} 

INTRODUCCIÓN

Es evidente, que la habichuela (*Vigna unicalata* L.) es una de las cinco leguminosas más importantes en el consumo humano (Smýkal et al., 2015); esto permite que en algunos países de América Latina y el Caribe, sea extremadamente codiciada por sus propiedades alimenticias y nutricionales; por ser una especie rica en vitaminas, minerales, fibra (Smith et al., 2005), proteínas y carbohidratos (Menssen et al., 2017).

Precisamente en Cuba, la habichuela del género *Vigna* se destaca entre las hortalizas, porque es una de las preferidas en las producciones de destinadas a la agricultura urbana y consumo en natura (Nápoles et al., 2016), pues económicamente es un cultivo de ciclo corto, rentable para diferentes formas de producción y de poca exigencia tecnológica (Fang et al., 2013; Segura et al., 2013), destacándose especies de hábito determinado e indeterminado.

En cambio, en la actualidad su presencia y ofertas en mercados agropecuarios es insuficiente, debido a los bajos rendimientos que se obtienen por unidad de superficie (Rodríguez, 2017) a causa de condiciones de sequía y altas temperaturas de la región oriental del país.

Es incuestionable, que antes las actuales circunstancias económicas, los gobiernos locales les confieran especial atención a los autoabastecimientos municipales como alternativa efectiva para potenciar el desarrollo endógeno, sustituir importaciones, promover renglones exportables y consolidar la seguridad y soberanía alimentaria del país.

¹ Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Centro Universitario Municipal San Luis, Santiago de Cuba, Cuba.

² Empresa Atención a Productores Agropecuarios (Azcuba), Paquito Rosales, San Luis, Santiago de Cuba, Cuba.

³ Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Santiago de Cuba, Cuba.

⁴ Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

*autor de correspondencia: j51173@yahoo.com

En respuesta a esta situación, constituye una necesidad la utilización de alternativas agroecológicas sostenibles, sustentables y económicamente viables adaptadas a las condiciones de las diferentes regiones donde se produce. Siendo así, una de las metas es complementar producciones de habichuela con el uso del sustrato orgánico Cachaza y oligogalacturónidos (MOGs); así, promover un mejor equilibrio fisiológico de las plantas (Martínez et al., 2016).

Algunas experiencias previas en especies hortícolas han resultado en beneficios para la producción (Baldaquín et al., 2018; Pérez et al., 2019; Bayard et al., 2020); sin embargo, escasos estudios han indagado el impacto del uso del sustrato orgánicos como la Cachaza y los oligogalacturónidos (MOGs) en el desarrollo productivo de la variedad de habichuela Lina obtenida sobre condiciones de tecnología intensiva de organopónico.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el presente trabajo se proyectó como objetivo, evaluar los impactos del sustrato orgánico cachaza y los oligogalacturónidos (OGAs) en el desarrollo de la habichuela (*Vigna unicalata* L.) y su correlación bajo producción intensiva de organopónico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del área experimental

La presente investigación se desarrolló entre los meses julio- agosto (período óptimo) del 2020 en el agroecosistema productivo de la Cooperativa de Producción Agropecuaria, Sabino Pupo Milián, localizada en Consejo Popular Paquito Rosales, San Luis, Santiago de Cuba.

Tabla 1. Características químicas del sustrato utilizado para la siembra del cultivo de la habichuela.

| pH | P₂O₅ | K₂O | MO |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|
| (H ₂ O) | (mg 100 g) | (mg 100 g) | (%) |
| 8,5 | 25,00 | 8,7500 | 2,1 |

pH: Concentración de iones de hidrógenos. P₂O₅: Pentóxido de difósforo. K₂O: Óxido de potasio. MO: Materia orgánica. Fuente: Departamento provincial de suelos y fertilizantes Granma.

El experimento se desarrolló sobre suelo pardo carbonatado según la clasificación de Hernández et al. (2015) y su caracterización química fue determinada en el Departamento Provincial de Suelos y Fertilizantes Granma. Según el estudio de suelo, se determinó el pH, así como los contenidos de P₂O₂ (mg 100 g), K₂O (mg 100 g) y el % de materia orgánica (%), cuya característica química se muestran en la Tabla 1.

Material vegetal utilizado

Se utilizó la variedad de habichuela Lina, que se caracteriza por presentar una altura de vástago floral de 55 cm, con flores de color violeta y vainas verde oscuro de 31 cm de longitud y peso promedio

de 7g, con semillas color crema rayada o en rojo, que pueden ser cosechadas entre los 48 y 52 días después de realizada la siembra con rendimiento promedio que oscilan entre los 2,5 -3,5 kg·m² (Rodríguez et al., 2011).

Siembra del cultivo

Se ejecutó la siembra sobre canteros tradicionales de 1 m de ancho y 10 m de largo, de forma manual, directa y a dos hileras, depositando dos semillas por nido a una distancia de 25 cm entre plantas. Se utilizaron semillas procedentes de la Granja Urbana Rafael Reyes, con un 95% de germinación y la materia orgánica empleada fue la cachaza.

Aplicación foliar de oligogalacturónidos (MOGs): Se realizaron tres aplicaciones foliares de Enerplant® (a los 10, 20 y 30 días posteriores a la germinación; utilizando para ello una mochila MAX FILL de 5 litros de capacidad, con boquilla de cono a presión constante, en horario temprano del día para aprovechar la apertura estomática en las hojas de las plantas tratadas. Por supuesto que, al mismo tiempo las plantas pertenecientes al testigo de referencia, fueron tratadas con agua en las mismas proporciones.

Tratamientos en estudio.

T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹.

T2: Cachaza a razón de 2 kg m²

T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹.

T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs).

Diseño experimental

En cuanto, al montaje del experimento, se utilizó un diseño de bloque al azar, conformado por tres réplicas y cuatro tratamientos. Para la evaluación de las variables morfoproductivas, se seleccionaron al azar cinco plantas por réplicas.

Variables de respuesta y su evaluación.: A cada una de las plantas muestreadas se le determinó, a los 45 días después de la siembra (DDS):

Variables morfológicas y productivas

Longitud de la raíz (cm): se utilizó una cinta métrica para medir la magnitud en centímetros desde la base de tallo de la planta hasta el ápice de la raíz.

Número de hojas (u), se hizo mediante conteo visual el número de unidades trifoliadas por planta.

En el momento de la cosecha se determinó:

Longitud de las vainas (cm): se utilizó una cinta métrica para medir la magnitud en centímetros desde la base hasta el ápice de la vaina.

Número de granos (u): se realizó mediante conteo visual el número de semillas por vainas.

Rendimiento (kg m^{-2}): se realizó mediante el uso de balanza comercial. Se colectaron las vainas de todas las plantas del área de cálculo y se anotan los valores para cada cosecha, para luego expresar la sumatoria de todos los datos. Se obtuvieron valores promedios de las cosechas, con un total de 1 dato por cada parcela experimental.

Evaluaciones biométricas

Se realizaron a través del programa estadístico InfoStat 20191, los datos experimentales fueron sometidos a análisis de varianza de clasificación simple, mediante el Test Duncan y de correlación canónica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal como lo ilustra la Figura 1, los resultados en la longitud de la raíz, a partir de la evaluación los bioproductos utilizado en la variedad de habichuela Lina, nos permite inferir un mejor comportamiento en este indicador en el tratamiento T3; es decir, en las medida que las plantas fueron sometidas inicialmente a una aplicación inicial de cachaza a razón de 2 kg m^{-2} , más tres aplicaciones foliares de MOGs a razón de $1,3 \text{ mL ha}^{-1}$, se pudo apreciar una longitud promedio de $22,67 \text{ cm}$, superior y significativa al resto de los tratamientos: T1 $< 20,11\%$, T2 $< 34,32\%$, T4 $< 50,51 \%$. Conforme a Falcón et al. (2015) los oligosacáridos pécticos promueven el desarrollo de raíces en plantas; en este sentido. Montero (2018) confirmó el efecto del PectinHydrol sobre los incrementos en longitud total de la raíz la zanahoria (*Daucus carota* L.) al emplear 30 mg L^{-1} . Por su vez Álvarez et al. (2011) al evaluar la aplicación de 10 mg L^{-1} de oligogalacturónidos, observaron que se favoreció la longitud radical en lechuga (*Lactuca sativa*) y en rábano (*Raphanus raphanistrum*). En el cultivo de la papaya (*Carica papaya*), la concentración de 9 mg L^{-1} de Pectimorf otro producto oligogalacturónido combinado con 2 mg L^{-1} de auxina (AIB), garantizó un mayor número de raíces y un alto porcentaje de enraizamiento ($84,2 \%$) con respecto al control (Posada et al., 2016).

Como se revela en orden ascendente en la Figura 2, las plantas de habichuela tratadas con T3 (Cachaza a razón de 2 kg m^{-2} + MOGs a razón de $1,3 \text{ mL ha}^{-1}$) ofrece mejores resultados en cuanto a la formación promedio de unidades foliares trifoliadas por planta; por tanto, existe diferencias significativas de este con el resto de los tratamientos evaluados: T1 ($+29,20\%$), T2 ($+35,49\%$), T4 ($+45,65\%$).

De acuerdo a los resultados obtenidos en este indicador, se confirma lo planteado por Forero et al. (2010), que la cachaza como material orgánico, tiene un efecto positivo sobre el aumento del área foliar de las plantas por su aporte de nitrógeno que ejerce importante papel en los procesos fotosintéticos de la planta y eso redundando en más masa verde o producción de hojas en *Phaseolus vulgaris* L. (Estupiñán et al., 2013) y *Zea mays* (Forero et al., 2010). Por otra parte, oligosacáridos pécticos son utilizados en la

producción de alimento agrícolas, debido a los diversos efectos biológicos que estos producen en las plantas (Lorenzo et al., 2015; Nápoles et al., 2016; Dell'Amico et al., 2017). La combinación de ambos entonces no tratamiento T3 influcio positivamente estas características y su combinación aún no había sido relatada en otros estudios.

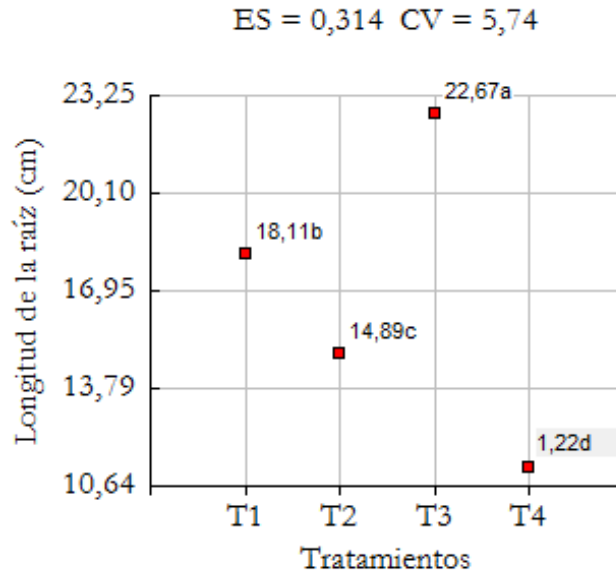


Figura 1. Longitud de la raíz. Valores promedios con letras no comunes diferentes entre sí a $p < 0,05$. T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T2: Cachaza a razón de 2 kg m², T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

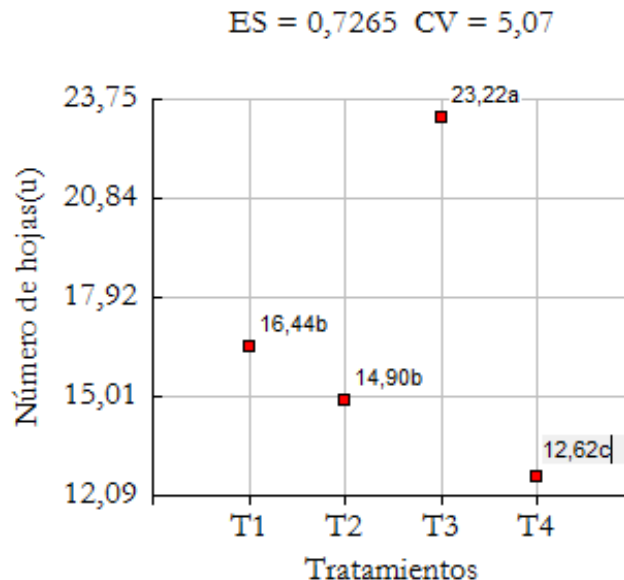


Figura 2. Número de hojas. Valores promedios con letras no comunes diferentes entre sí a $p < 0,05$. T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T2: Cachaza a razón de 2 kg m², T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

Entorno a la Figura 3, se puede observar que T3, indujo en la variedad de habichuela Lina, un crecimiento longitudinal promedio en las vainas superiores al resto de las alternativas utilizadas. Nótese que T3, difiere significativamente del resto de los tratamientos: T1 (+11.38%), T2 (+12.65%), T4 (+23.54%).

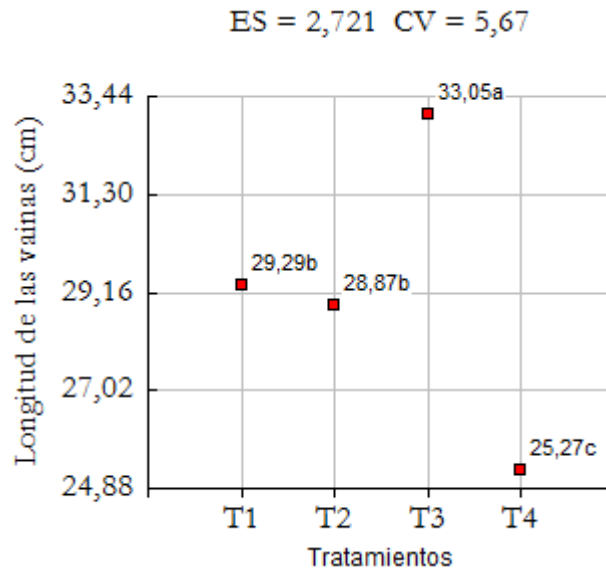


Figura 3. Longitud de las vainas. Valores promedios con letras no comunes diferentes entre sí a $p < 0,05$. T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha^{-1} , T2: Cachaza a razón de 2 kg m^{-2} , T3: Cachaza a razón de 2 kg m^{-2} + MOGs a razón de 1.3 mL ha^{-1} , T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

Similarmente, diversos autores han reportado resultados positivos a favor del crecimiento longitudinal del fruto. Al evaluar, sustratos orgánicos usados para la producción de ají chay (*Capsicum annuum* L.) en un huerto orgánico intensivo del trópico, evidenció que las plantas tratadas con cachaza, la longitud del fruto fue superior ($p < 0,05$) a los demás, lográndose en éstos, los frutos más grandes (Vega et al., 2009).

Se encontró que en plantas de habichuela tratadas con humus de lombriz y aplicación foliar de Enerplant, incrementaron la longitud promedio de las vainas en $42,02 \text{ cm}$ (Baldaquín et al., 2018).

Mientras que, los resultados relacionados con la longitud de las vainas al momento de la cosecha, corroboraron la efectividad del Pectimorf[®], alcanzándose los valores más altos en los tratamientos tratados con este producto, entre los cuales no se mostró diferencias significativas (Nápoles et al., 2016).

Definitivamente, la aplicación combinada de la Cachaza y el Enerplant[®] configuran una dinámica diferente en el proceso de formación de granos por vainas en la variedad de habichuela Lina. La Figura 5 confirma, que las plantas que fueron sometidas a T3, lograron formar más granos promedios por vainas; de ahí, que sea la fórmula más efectiva para promover este proceso fisiológico. Por supuesto, se puede percibir que entre T3 y el resto de los tratamientos evaluados, se produce una diferencia significativa notable: (+ 12.91%) T1, (+20.67%) T2, (+42.37 %) T4.

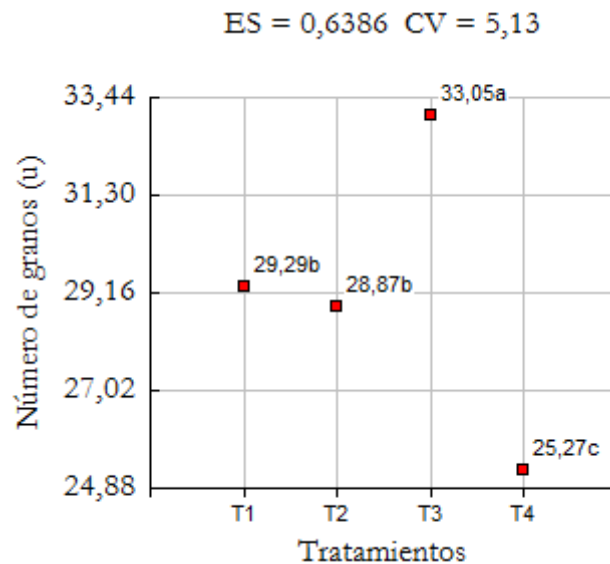


Figura 4. Número de grãos. Valores promedios con letras no comunes diferentes entre sí a $p < 0,05$. T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha^{-1} , T2: Cachaza a razón de $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, T3: Cachaza a razón de 2 kg m^2 + MOGs a razón de 1.3 mL ha^{-1} , T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

Al utilizar el lixiviado de humus de lombriz, como fuente orgánica de fertilización en la variedad de habichuela Lina, confirma que, T4 (450 mL de lixiviado) obtuvo la mayor media (18,47), superando significativamente al resto de los tratamientos, cuyas medias fueron respectivamente de 15,38 para T3 (300 mL de lixiviado), 11,63 para T2 (150 mL de lixiviado) y de 9,41 para T1 (testigo sin aplicación del bioestimulante) (Rodríguez, 2017). Al evaluar las plantas de los tratamientos T100 (regado al 100% de la ETc (Evapotranspiración estándar del cultivo) + Pectimorf los resultados arrojaron que, las variables número de vainas por planta y número de grãos por vaina fueron las de mayor contribución al rendimiento en el cultivo del frijol (Dell'Amico et al., 2017).

Otros trabajos relatan que, al aplicar cachaza, mayor masa fresca en el cultivo del maíz es obtenida, así como, aumento del número de grãos por mazorca, por lo que el empleo de esta enmienda orgánica ayuda a aumentar los niveles de producción y suplir, en este caso, la fertilización química (Forero et al., 2010).

Indiscutiblemente, el rendimiento agrícola en la variedad de habichuela Lina que se cultivó bajo condiciones intensiva de organopónico, a ser sometida a diferentes variantes de tratamientos, arrojó disímiles comportamientos en esta variable. Como se evidencia en la Figura 5, T3 muestra diferencias significativas con los demás tratamientos; siendo así, el incremento del rendimiento por unidad de superficie es considerable: (+19.95%) T1, (+27.20%) T2, (+33.06 %) T4.

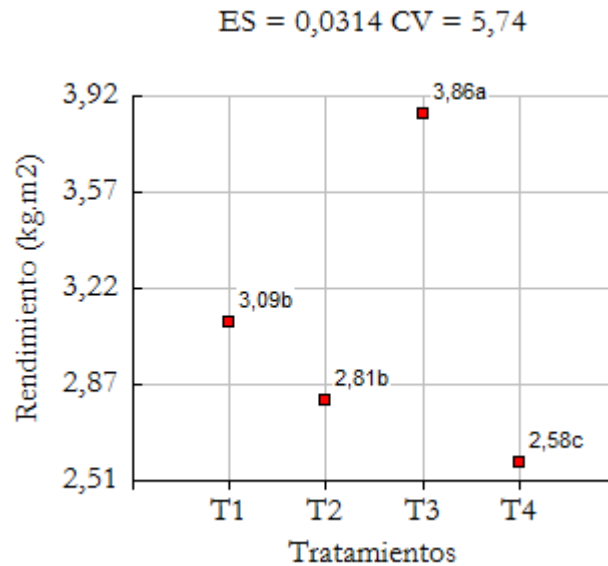


Figura 5. Rendimento. Valores promedios con letras no comunes diferentes entre sí a $p < 0,05$. T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T2: Cachaza a razón de 2 kg·m², T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

Tanto la aplicación de cachaza como las mezclas de estiércoles ovino y vacuno favorecieron el rendimiento de la habichuela y el rabanito, así como, la modulación en la habichuela según Pérez et al. (2019). En caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), la cachaza tiene alto potencial, pues cuando se aplicó en dosis de 5t ha⁻¹·año⁻¹ el rendimiento se incrementó substancialmente (Forero et al, 2010).

Al medir el Efecto de Enerplant[®] en el rendimiento y calidad de la cebolla (*Allium cepa* L.), encontraron que al aplicar a 1,3 mL ha⁻¹, este indicador se incrementa en comparación con el resto de los tratamientos y el control negativo (Alarcón et al., 2018).

Correlación canónica entre las variables morfológicas y productivas en la variedad de habichuela Lina

Como método de análisis multivariado, el análisis de correlaciones canónicas, nos permitió significar, la influencia del grupo de variables de desarrollo vegetativo sobre los grupos de variables productivas en la variedad de habichuela Lina.

De los resultados de la matriz de correlación que se ofrecen en la Tabla 2, los coeficientes de correlación en cada una de las variables evaluadas en la variedad de habichuela Lina, tienen un comportamiento positivo y alto (LR, NH, LV, NG, R); obsérvese las mayores correlaciones entre la longitud de la raíz y el número de hojas (0.94); así como entre el rendimiento y el número de hojas promedio por planta (0.93). Los altos niveles de correlación pueden ser resultados de la aplicación de los bioproductos agrícolas utilizados y de la interacción directa que tienen estos caracteres agronómicos en la habichuela Lina.

Tabla 2. Matriz de correlación. Variables morfoproductivas de la variedad de habichuela Lina.

| | LR | NH | LV | NG | R |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| LR ¹ | 1,00 | | | | |
| NH | 0,94 | 1,00 | | | |
| LV | 0,83 | 0,83 | 1,00 | | |
| NG | 0,92 | 0,88 | 0,90 | 1,00 | |
| R | 0,91 | 0,93 | 0,77 | 0,83 | 1,00 |

¹LR: Longitud de la raíz (cm), NH: Número de hojas (u), LV: Longitud de las vainas (cm), NG: Número de granos (u), R: Rendimiento (Kg·m²). (α=0,001) Fuente: Autores.

Los resultados del análisis de correlación canónica evidencian que existe una asociación entre las variables morfológicas y productivas de la variedad de habichuela Lina (Figura 6). El tratamiento T3 continúa siendo el tratamiento que más influencia las variables evaluadas en su totalidad, como manifestado en el grafico em relación a la posición relativa de las variables.

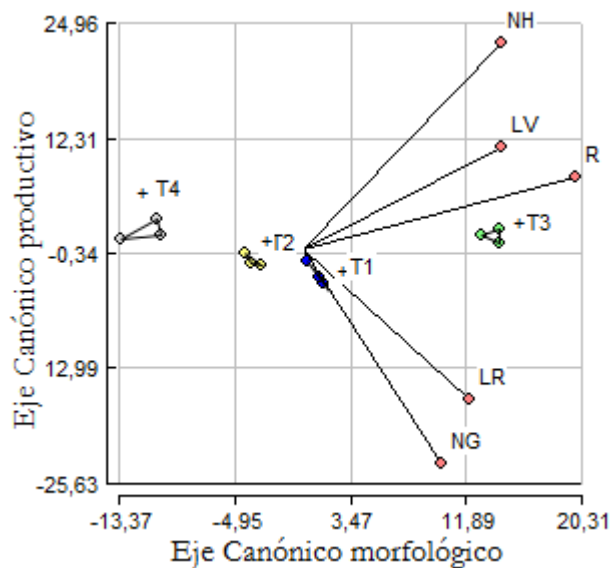


Figura 6. Variables canónicas (L1). T1: MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T2: Cachaza a razón de 2 kg·m², T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1.3 mL ha⁻¹, T4: Testigo de referencia (plantas sin materia orgánica, ni MOGs). Fuente: los autores.

Los dos indicadores del desarrollo morfológico se correlacionan alta y positivamente con la variable canónica compuesta por ellos. La longitud de la raíz (LR) es el indicador más correlacionado con la variable canónica (r=0,99); seguido del indicador número de hojas (NH) (r=0,98). En cambio, las variables productivas, las tres se correlacionan alta y positivamente con la variable correspondiente; siendo el rendimiento (R) la de mayor correlación (r=0,97), seguido del número de granos (NG) (r=0,95); siendo la longitud de las vainas de la menor correlación (LV) (r=0,87).

Los coeficientes de combinaciones lineales reflejan, que dentro del conglomerado de variables morfológicas, la variable longitud de la raíz (LR) fue la de mayor contribución al desarrollo vegetativo de la variedad de habichuela Lina (0.57), con un incremento en relación a la contribución del número de hojas (NH) de 21.05 %; en cambio, dentro de las variables reproductivas, el rendimiento fue la de mayor contribución a la variable productiva (0.57) la variable número de granos aumentó su contribución al desarrollo productivo, superando en 24.6 % al número de granos (0,43) y en 92.98 % a la longitud de las vainas (0,04).

Dentro de las variables morfológicas, cuando el crecimiento longitudinal de la raíz se incrementa; entonces, el número de unidades trifoliadas promedio por planta se incrementa. Por otra parte, el incremento del rendimiento agrícola en la variedad de habichuela Lina en Kg m², significó también un incremento en el número de granos y la longitud de las vainas en cm.

Por último, un incremento longitudinal de la raíz, acompañado de un incremento sustancial en el número de hojas trifoliadas por plantas; produce un aumento del rendimiento agrícola, el número de granos y la longitud de las vainas por plantas.

CONCLUSIONES

El tratamiento que mejor impacto tuvo sobre el desarrollo morfoproductivo de la variedad de habichuela Lina bajo condiciones intensiva de organopónico fue T3: Cachaza a razón de 2 kg m² + MOGs a razón de 1,3 mL ha⁻¹, resultado que fue corroborado con el análisis de variables canónicas.

Las variables morfoproductivas evaluadas evidenciaron una correlación alta y positiva en la variedad de habichuela Lina.

El incremento longitudinal de la raíz y el número de unidades trifoliadas promedio por plantas, contribuyeron esencialmente al incremento del rendimiento agrícola [kg m², número de granos (u) y longitud de las vainas (cm)].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón et al. (2018). Efecto de Enerplant[®] en el rendimiento y calidad de la cebolla. Revista Centro Agrícola, 45(2):12-20.
- Álvarez et al. (2011). Efectos de una mezcla de oligogalacturónidos en la morfología de hortalizas de importancia económica. Cultivos Tropicales, 32(3): 69–74.
- Baldaquín et al. (2018). Respuesta agronómica del cultivo habichuela (*Vigna unguiculata* L.) ante la aplicación de Humus de lombriz y Enerplant. Revista Granmense de Desarrollo Local, 2(2): 1–10.
- Bayard et al. (2020). Fertilización de Habichuela Larga con biopreparados bacterianos, materia orgánica y fertilizante NPK. Rev. Cubana Química, 32(2): 299-310.

- Dell'Amico et al. (2017). Efecto de dos variantes de riego y aplicaciones foliares de Pectimorf en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 38(3), 129-134.
- Estupiñán et al. (2013). Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Tunja, Boyacá. *Ciencia y Agricultura*, 10(1), 67-79.
- Falcón et al. (2015). Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Cultivos Tropicales*, 36 (especial):111-129.
- Fang et al. (2013) Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. *Journal of Functional Foods*, 5: 260-266.
- Forero et al. (2010). Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Rev. U.D.C.A.*, 13(1): 77-86.
- Hernández et al. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA. 91p.<https://core.ac.uk/download/pdf/287219339.pdf>
- Lorenzo et al. (2015). Efecto del Pectimorf en el cultivo de ápices de plantas in vitro de yuca (*Manihot esculenta* crantz), clones 'CMC-40' y 'Señorita'. *Cultivos Tropicales*, 36(4): 55-62.
- Martínez et al. (2016). Efecto de productos bioactivos en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) biofertilizadas. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 165-171.
- Menssen et al. (2017). Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entries from East Africa. *Scientia Horticulturae*, 226: 268-276.
- Montero (2018). Efectos de *Brevibacillus borstelensis* B65 y el bioestimulante PectinHydrol en el cultivo de la Zanahoria (*Daucus carota* L.). Facultad de Ciencias Naturales y Exacta, Universidad de Oriente (Tesis de maestría), Santiago de Cuba.42p.
- Nápoles et al. (2016). Respuesta del cultivo de habichuela (*Vigna unguiculata* L.) var. Lina a diferentes formas de aplicación del Pectimorf. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 172-177.
- Pérez et al. (2019). Evaluación de sustratos para huertos intensivos y organopónicos. *Universidad & Ciencia*, 8 (Especial): 368-379.
- Posada et al. (2016). Efecto del Pectimorf en el enraizamiento y la aclimatización in vitro de brotes de papaya (*Carica papaya* L.) cultivar Maradol Roja. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 50-59.
- Rodríguez et al. (2011). Manual técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprottegida. Habana, Cuba: Ediciones caribe.
- Rodríguez. (2017). Impacto del lixiviado de humus de lombriz sobre el crecimiento y productividad del cultivo de habichuela (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Ciencia en su PC*, 2, 44-58.
- Segura et al. (2013) Antioxidant activity of *Vigna unguiculata* L. walp and hard-to-cook *Phaseolus vulgaris* L. protein hydrolysates. *CyTA - Journal of Food*, 11(3): 208-215.
- Smith et al. (2005). Field performance of two snap bean cultivars at varying levels of exchangeable aluminum. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 237-246.

- Smýkal et al. (2015). Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34: 43-104.
- Vega et al. (2009). Sustratos orgánicos usados para la producción de ají chay (*Capsicum annuum* L.) en un huerto orgánico intensivo del trópico. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2): 1-9.

ÍNDICE REMISSIVO

A

altura de plantas, 27, 29, 31, 32, 48
 aprendizagem, 65, 66, 70
 armazenamento, 41, 96, 97, 98, 99, 100, 101

B

biodiversidade, 78
 bioproductos, 122, 127

C

Cachaza, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128
 clima, 6, 7, 16, 26, 34, 43, 96, 110, 111
 coentro, 4, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
 correlación, 120, 122, 126, 127, 128
 curvas anamórficas, 7, 8

D

densidades, 4, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49
 desdobro, 56, 57, 58, 60, 61, 62
 desempenho, 4, 22, 43, 46, 47, 48, 49, 58, 66,
 67, 68, 70, 72, 76, 79, 110, 111, 114, 117
Desmodium, 4, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 87,
 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94
 deterioração, 96, 98, 99

E

efeito misto, 16
 envelhecimento acelerado, 33, 35, 38, 39, 40
Eruca sativa M., 42

F

fORAGEIRAS, 79, 80, 87, 88, 90, 92, 93, 94

G

germinação, 4, 33, 35, 36, 38, 39, 44, 96, 97, 98,
 99, 100, 101, 105, 113, 117

H

habichuela, 4, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 126,
 127, 128, 129
 HERBAM, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 90, 91, 94
Hesperozygis ringens, 4, 96, 97, 100, 101
 hidroponia, 42, 43, 44, 48

I

índice de sítio, 7, 8, 10, 14
 Intensidade Amostral, 70, 72
 irrigação, 4, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117,
 118

L

Lecanicillium muscarium, 107
 leguminosas, 78, 79, 90, 92, 93, 94, 103, 119

M

magnetismo, 117
 maquinário, 56
Metarhizium, 105, 107
 micoparasitismo, 4, 102, 104
 modelo hipsométrico, 64, 69, 71, 72, 76
 modelos de dupla entrada, 15, 17, 22
 modelos de simples entrada, 15, 17, 20, 22
 mudas, 4, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 44, 50, 51,
 117, 118

N

nitrogênio, 33, 34, 41, 79, 80, 91, 111

P

plantios florestais, 53
 potássio, 35, 42, 50, 110, 111, 113, 116
 produtos de madeira, 53

R

regressão, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 34, 36,
 40, 64, 77
 regressão quantílica, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
 rendimento, 40, 56, 57, 58, 60, 62, 111

S

Simplicillium lanosoniveum, 105, 107, 109
 soja, 4, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 101, 102,
 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111,
 113, 114, 115, 116, 117, 118
 superdimensionamento da arquitetura da rede,
 67

T

tecnologia, 40, 58, 100

tetrazólio, 33, 35, 36, 38, 39



Trichoderma asperellum, 105, 107, 109

U

ureia, 34

SOBRE OS ORGANIZADORES



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 158 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 124 resumos simples/expandidos, 59 organizações de e-books, 33 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Atualmente, possui 62 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 40 organizações de e-books, 25 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora e da Revista Agrária Acadêmica, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com, jorge.aguilera@ufms.br.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

