

Ecofisiologia e Nutrição de Espécies Frutíferas e Arbóreas

Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon
Organizadores



2020

Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon
Organizadores

ECOFISIOLOGIA E NUTRIÇÃO DE
ESPÉCIES FRUTÍFERAS E ARBÓREAS



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora

Edição de Arte: A editora. Imagens de capa e contra-capa: Canva.com

Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- 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. 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. 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
- Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- 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. Patrícia Maurer
- 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
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E19	<p>Ecofisiologia e nutrição de espécies frutíferas e arbóreas [recurso eletrônico / Organizadores Cleberton Correia Santos, Silvana de Paula Quintão Scalon. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2020. 150p.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-31-4 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319314</p> <p>1. Adubação fosfatada. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Santos, Cleberton Correia. II. Scalon, Silvana de Paula Quintão. CDD 581.7</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos e-books e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es) e não representam necessariamente a opinião da Pantanal Editora. Os e-books e/ou capítulos foram previamente submetidos à avaliação pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação. O download e o compartilhamento das obras são permitidos desde que sejam citadas devidamente, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais, exceto se houver autorização por escrito dos autores de cada capítulo ou e-book com a anuência dos editores da Pantanal Editora.



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

O livro “Ecofisiologia e Nutrição de Espécies Frutíferas e Arbóreas” apresenta, em seus dez capítulos, informações provenientes de revisão de literatura e trabalhos técnicos científicos com intuito de fortalecer o conhecimento sobre as respostas morfofisiológicas de espécies de interesse da cadeia produtiva da fruticultura e silvicultura.

O padrão da biodiversidade em diferentes fitofisionomias em áreas florestais, especialmente nativas, tem reduzido em função de diversas práticas desordenadas, as quais são provenientes da ação antrópica realizada de maneira intensiva sobre os recursos naturais renováveis. Além disso, a exploração dos recursos fitogenéticos de maneira extrativista, não amigável, é um agravante que pode implicar na extinção de muitas espécies, que além dos serviços ecossistêmicos gerados, também possuem propriedades medicinais e alimentícias promissoras para sua agregação de valor em bioprocessos.

Em função das alterações na ecologia da paisagem e de práticas inadequadas nos agroecossistemas, mudanças ambientais tem ocorrido constantemente no Mundo, refletindo em aumento pronunciado da temperatura, irregularidade de precipitações ou inundações temporárias em algumas regiões, podendo afetar drasticamente tanto as fruteiras de interesse comercial tradicionalmente cultivadas, bem como das espécies nativas e essências florestais.

Portanto, o conhecimento acerca das respostas ecofisiológicas e de crescimento em função dos fatores abióticos, tal como água, luz, e da nutrição mineral de plantas, bem como às tecnologias biológicas no solo e de mitigação do estresse são imprescindíveis para obtenção de mudas de elevada qualidade, as quais podem ser inseridas em áreas em processo de recuperação ambiental, enriquecimento de matas nativas ou sistemas integrados de produção e pomares comerciais.

Assim, os capítulos apresentados são constituídos de resultados de pesquisa de trabalhos sobre os efeitos do déficit hídrico, alagamento, luminosidade, toxicidade de alumínio, polímeros hidrorretentores, uso de fertilizantes minerais e fungos micorrízicos arbusculares para produção de mudas frutíferas e florestais, a fim de assegurar as cadeias produtivas e a conservação da biodiversidade florística.

Os agradecimentos dos organizadores aos autores pela dedicação e empenho na produção dos materiais de qualidade, os quais serão bases norteadoras para o estabelecimento de práticas no setor da fruticultura e da silvicultura, visando o fortalecimento do desenvolvimento sustentável.

Esperamos por meio desta obra difundir informações técnicas que possam contribuir para obtenção de mudas de elevada qualidade para conservação da flora, bem como sua exploração sustentável.

Ótima leitura!!!

Cleberton Correia Santos
Silvana de Paula Quintão Scalon

SUMÁRIO

Apresentação	4
Capítulo I	6
Fisiologia e crescimento de fruteiras em resposta ao déficit hídrico.....	6
Capítulo II	19
Respostas fisiológicas de <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi submetidas a toxicidade do alumínio na presença de silício e selênio	19
Capítulo III	30
Tecnologias para mitigar o déficit hídrico em <i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.....	30
Capítulo IV	48
Resposta de condutância estomática em plantas jovens de <i>Attalea phalerata</i> Mart. em diferentes condições ambientais	48
Capítulo V	60
Influência do alagamento no crescimento de mudas de <i>Dipteryx alata</i> e a determinação de recuperação ao estresse no pós-alagamento.....	60
Capítulo VI	70
Propagação <i>in vitro</i> da canafistula (<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.).....	70
Capítulo VII	88
Crescimento inicial e qualidade de mudas de <i>Dipteryx alata</i> inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares sob adubação fosfatada	88
Capítulo VIII	102
Fertilização fosfatada e fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de <i>Peltophorum dubium</i>	102
Capítulo IX	113
Crescimento e produção de biomassa de mudas de <i>Pterogyne nitens</i> Tull. inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada.....	113
Capítulo X	126
Mudas de canafistula (<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.) com fungos micorrízicos arbusculares	126
Índice Remissivo	149

Respostas fisiológicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidas a toxicidade do alumínio na presença de silício e selênio

 10.46420/9786588319314cap2

Jéssica Patrícia Oliveira De Mattos¹ 

Jover da Silva Alves¹ 

Victória Martini Sasso¹ 

Géssica Rossato da Silva¹ 

Gerane Silva Wertonge de Oliveira¹ 

Daniele Bernardy¹ 

Mirian Berger¹ 

Luciane Almeri Tabaldi^{1*} 

INTRODUÇÃO

A toxicidade do alumínio (Al^{3+}) reduz o rendimento das culturas em solos ácidos. Em valores de pH abaixo de 5,5, íons Al^{3+} são dissolvidos a partir de minerais de argila e se tornam tóxicos às raízes das plantas. O primeiro sintoma ocasionado pela fitotoxicidade do Al é a inibição no crescimento da raiz, a qual ocasiona deficiências na absorção de água e nutrientes, sendo este um dos principais sintomas que desencadeia redução no rendimento das culturas afetadas pelo Al (Kochian et al., 2015; Pereira; Ryan, 2018; Singh et al., 2017). Além disso, o Al pode se ligar a proteínas e lipídios, causando a despolarização da membrana, dessa forma afetando o transporte de íons e processos celulares (Bose et al., 2011). Também interfere no DNA aumentando a rigidez da dupla hélice e reduzindo a replicação (Famoso et al., 2010; Achary; Panda, 2009; Kochian et al., 2004; McKenna et al., 2016).

Pesquisas vêm apontando a eficácia da aplicação dos elementos silício (Si) e selênio (Se) na atenuação dos danos causados por elementos fitotóxicos (Dorneles et al., 2016; Hu et al., 2014). Estudos realizados com Si demonstram o seu potencial em remediar diferentes estresses, tais como salinidade e seca, além da capacidade de aumentar a tolerância das plantas através da obstrução apoplástica formada pela deposição de Si (Fauteux et al., 2005; Coskun et al., 2019). Em baixas concentrações teciduais, o Se promove o crescimento e a produtividade das plantas, podendo agir como um antioxidante e diminuindo a acumulação de metais (Kumar et al., 2012; Duan et al., 2013; Schiavon et al., 2017; Halim et al., 2017).

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, 1000, Camobi, Santa Maria, RS.

*Autor de correspondência: lutabaldi@yahoo.com.br.

Muitas plantas lenhosas nativas de solos ácidos apresentam mecanismos para tolerar as condições oferecidas por estes solos, tais como o alto teor de Al^{3+} . A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi é uma árvore nativa da América do Sul, comumente denominada como aroeira, aroeira-vermelha e aroeira-da-praia. É uma espécie que apresenta potencial madeireiro e é recomendada para recomposição de áreas degradadas. *Schinus terebinthifolius* se desenvolve especialmente em solos úmidos e orgânicos, mas cresce em qualquer tipo de solo. É capaz de suportar inundações, incêndios e secas, demonstrando uma eficiente tolerância a diferentes tipos de estresses (Lenzi; Orth, 2004). Acredita-se que *S. terebinthifolius* possa apresentar tolerância ao Al, uma vez que é possível observar a ocorrência natural dessa espécie nesses solos ácidos. No entanto, até o momento não foram encontrados registros científicos comprovando ou refutando a hipótese de que esta espécie seja tolerante ao Al^{3+} .

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a resistência ao Al e avaliar o efeito do Si e do Se em amenizar a toxicidade do Al sobre variáveis fisiológicas em plantas de *S. terebinthifolius* sob condições de cultivo hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na casa de vegetação e nos Laboratórios de Bioquímica de Plantas do Departamento de Biologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Sementes de *Schinus terebinthifolius* provenientes do Centro de Pesquisas em Florestas – DDPA de Santa Maria, RS, foram semeadas em bandejas plásticas pretas de 38 cm x 56 cm, contendo substrato H.DeckerR Florestal, sendo irrigadas a cada três dias com solução nutritiva completa, em pH de $4,5 \pm 0,1$. A solução nutritiva teve a seguinte composição (em μM): 6090,5 de N; 974,3 de Mg; 4986,76 de Cl; 2679,2 de K; 2436,2 de Ca; 359,9 de S; 243,592 de P; 0,47 de Cu; 2,00 de Mn; 1,99 de Zn; 0,17 de Ni; 24,97 de B; 0,52 de Mo; 47,99 de Fe ($FeSO_4/Na-EDTA$).

Após a germinação e crescimento inicial das mudas, num período de aproximadamente 30 dias, plantas homogêneas, com cerca de 10 cm de altura foram transferidas para sistema hidropônico. As plantas foram fixadas por meio de esponjas em placas de poliestireno (isopor) contendo furos, em bandejas plásticas contendo 17 L de solução nutritiva completa como descrito acima. O pH desta solução foi ajustado diariamente ($4,5 \pm 0,1$) com uma solução de HCl ou NaOH (1 M). Cada bandeja suportou 15 plantas. Após cinco dias de aclimação nesse sistema conforme método de Bandinelli et al. (2013), foi aferido o comprimento da raiz principal (comprimento inicial) de todas as plantas utilizando-se régua graduada em milímetros e então as plantas foram transferidas para uma nova solução nutritiva contendo os tratamentos.

Cultivo hidropônico em diferentes concentrações de Al, Si e Se

Plantas de *S. terebinthifolius* provenientes do sistema de aclimatização descrito acima foram transferidas para bandejas plásticas (17 L) contendo solução nutritiva [todos os nutrientes foram fornecidos como descrito acima, exceto o fósforo (P), o qual foi adicionado à solução na concentração de 50µM, com o objetivo de fornecer P para as plantas e ao mesmo tempo evitar interações físico-químicas com o Al (Gessa et al., 2005)]. Os tratamentos foram aplicados nessa solução, os quais consistiram nas seguintes combinações (Al, Si e Se em mM): Tratamento 1: 0 Al + 0 Se e Si; Tratamento 2: 2,5 Si; Tratamento 3: 0 Al + 0,0025 Se; Tratamento 4: 1,85 Al + 0 Se e Si; Tratamento 5: 1,85Al + 2,5 Si; Tratamento 6: 1,85 Al + 0,0025 Se; Tratamento 7: 3,71Al + 0 Se e Si; Tratamento 8: 3,71Al + 2,5 Si; Tratamento 9: 3,71 Al + 0,0025 Se. As concentrações de Al, Si e Se foram definidas a partir de experimentos prévios realizados pelo grupo de pesquisa (Dorneles et al., 2016; Pereira et al., 2018; Tabaldi et al., 2007, 2009). Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento e 5 plantas por repetição. A solução nutritiva foi trocada a cada sete dias, sendo o pH da solução ajustado diariamente ($4,5 \pm 0,1$) com uma solução de HCl ou NaOH (1 M).

Variáveis avaliadas após a coleta

Após 21 dias de exposição ao Al, Si e Se, raízes e parte aérea de plantas de *S. terebinthifolius* foram coletadas para determinação das seguintes variáveis:

- Comprimento da raiz principal (comprimento final) e altura de plantas: determinada com régua graduada em milímetros. Com os valores de comprimento inicial e final, foi possível determinar a taxa de crescimento relativo da raiz principal;
- Comprimento, área superficial, volume de raízes e área foliar: determinado através de scanner Epson 11000XL, no qual as raízes e folhas foram digitalizadas e analisadas pelo software WinRHIZO Pro;
- Biomassa seca de raízes e de parte aérea: as amostras foram colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa à 65°C até atingir peso constante para determinação da biomassa seca;
- Relação matéria seca da parte aérea/matéria seca radicular (MSPA/MSR), através da razão entre a MSPA e a MSR.

Análise estatística dos dados

Foram verificadas a normalidade da distribuição dos erros através do teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias dos erros através do teste de Bartlett (Storck et al., 2011) para todas as variáveis do experimento. Quando atendidos estes pressupostos, procedeu-se a análise de variância e teste de Scott-Knott para os tratamentos em 5% de probabilidade de erro, utilizando o aplicativo Sisvar (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença isolada de silício (Si) ou selênio (Se) no meio de crescimento não diferiu do controle quanto ao comprimento de raiz principal (Figura 1a). A adição de Al ocasionou reduções severas do comprimento da raiz principal em relação ao controle. No entanto, a presença de Si, juntamente com a menor concentração de Al (1,85 mM, T5) mitigou os efeitos negativos do Al. A adição de Se, em ambas as concentrações de Al, não amenizou os efeitos negativos do Al.

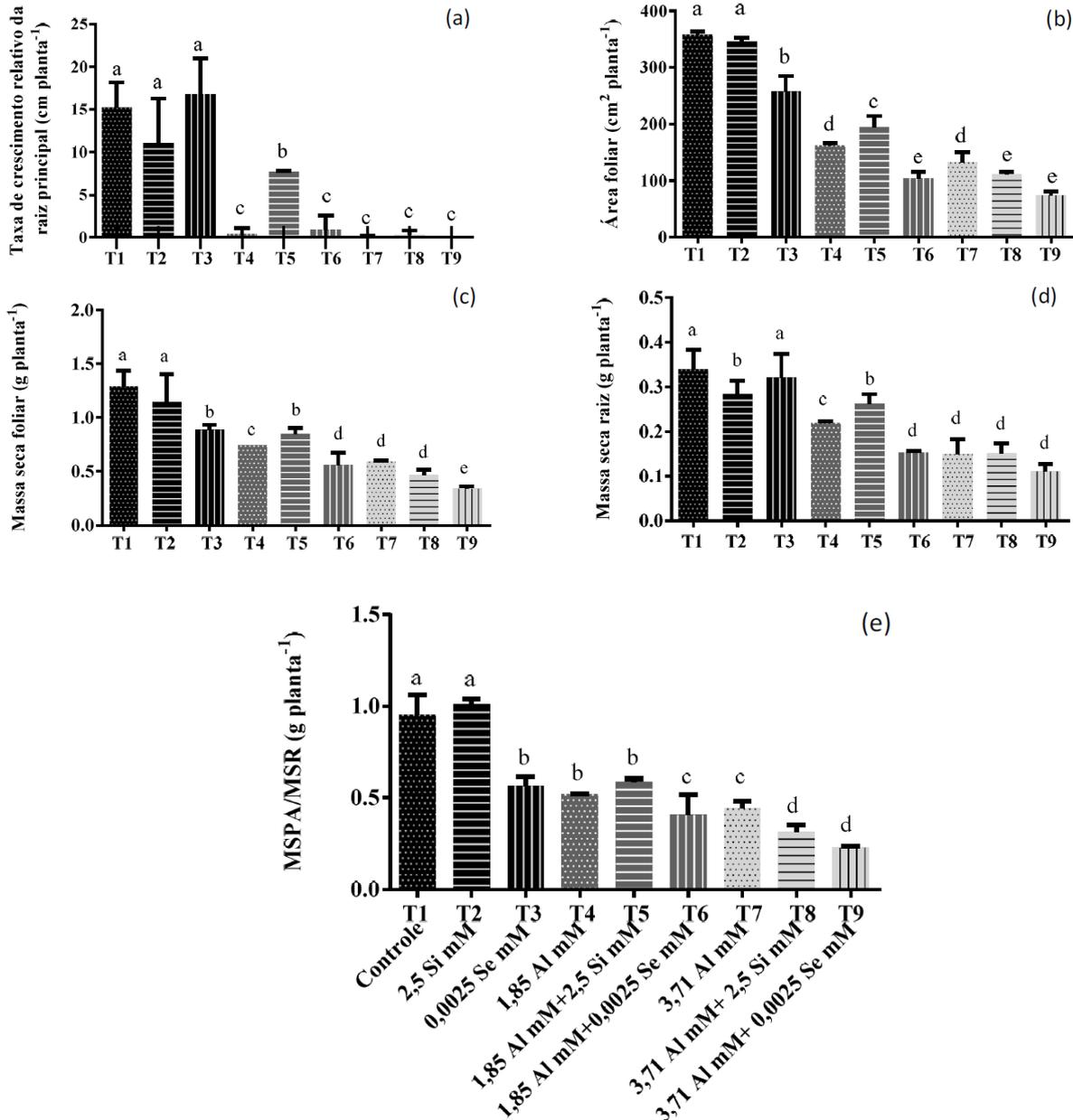


Figura 1. Efeito da adição do Al, Si e Se no comprimento da raiz principal (cm) (a), área foliar (cm²) (b), massa seca foliar (c) e massa seca de raízes (d) e relação matéria seca da parte aérea/matéria seca radicular (e) de plantas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em sistema hidropônico. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste Scott-Knott. Fonte: Os autores.

Para área foliar e massa seca foliar, o Si de forma isolada não diferiu do controle, no entanto, o Se isoladamente ocasionou uma pequena redução (Figura 1b e 1c). O Al, em ambas as concentrações, provocou redução da área foliar e massa seca foliar. A presença do Si reduziu os efeitos tóxicos do Al na concentração de 1,85 mM e o Se não mitigou o efeito tóxico do Al.

Para massa seca de raízes, o Si de forma isolada provocou redução enquanto a adição isolada de Se provocou a mesma resposta do controle (Figura 1d). O Al ocasionou redução nesta variável, a qual ficou significativamente mais evidente com o aumento da concentração. O Si mitigou os danos de Al na concentração de 1,85 mM de Al, enquanto Se não amenizou os prejuízos causados por Al.

Para relação de massa seca de parte aérea e radicular, a adição isolada de Si apresentou a mesma resposta do controle, enquanto Se isoladamente provocou redução nesta variável (Figura 1e). Si e Se não mitigaram os danos ocasionados pelo Al na relação de massa seca de parte aérea e radicular.

A presença de Al reduziu o comprimento radicular (Figura 2a) e a adição isolada de Se aumentou o comprimento total das raízes quando comparado ao controle. A presença de Si junto a menor concentração de Al (1,85 mM) reduziu o efeito tóxico do Al. Por outro lado, a presença de Se não mitigou o efeito tóxico do Al no comprimento das raízes.

O Al ocasionou redução para área superficial e volume de raízes (Figura 2b e 2c). A presença de Si isoladamente provocou uma pequena redução comparando-se ao controle, mas mitigou os efeitos tóxicos em ambas as concentrações de Al, enquanto o Se não aumentou a área superficial e o volume radicular.

Para o diâmetro de raízes, o Al provocou decréscimos significativos que ficaram mais evidentes com o aumento da concentração (Figura 2d). O Si de forma isolada reduziu o diâmetro das raízes, porém na presença de 1,85 mM de Al, a adição de Si causou um aumento no diâmetro. O Se de forma isolada causou uma pequena redução, em relação ao controle, e juntamente com o Al não foi benéfico.

Através dos resultados obtidos observa-se que o Al afetou gravemente o desenvolvimento de plantas de *Schinus terebinthifolius*, provocando decréscimo em todas as variáveis avaliadas para raiz e parte aérea. As respostas ocasionadas na raiz são os principais sintomas provocados pelo Al, visto que o sistema radicular é o primeiro órgão a entrar em contato com o elemento. O Al apresenta uma grande afinidade pela parede celular dos ápices radiculares, devido as cargas negativas contidas nos polissacarídeos pectínicos e hemicelulósicos (Horst et al., 2010; Yang et al., 2011; Zhu et al., 2012). À medida que o Al se liga a essas cargas, ele enrijece as paredes celulares e diminui o afrouxamento necessário para o alongamento da célula, além de causar diminuição na deposição da parede celular (Kopittke et al., 2015; McKenna et al., 2016).

Desta forma, a interação do Al com os componentes da parede celular pode ter atuado modificando a estrutura da parede celular, resultando nos decréscimos na taxa de crescimento da raiz

principal, massa seca de raiz, comprimento da raiz principal, área superficial, volume e diâmetro da raiz. Observou-se ainda que o aumento da concentração de Al causou decréscimos mais evidentes e significativos nas raízes quanto as variáveis de massa seca de raiz, área superficial, volume e diâmetro. O decréscimo nas variáveis da raiz pode ser explicado através da afinidade do Al com a parede celular, a diminuição da deposição de parede celular devido a rigidez e a inibição de proteínas da parede celular, como as expansinas (Cosgrove, 2000; Jones et al., 2006).

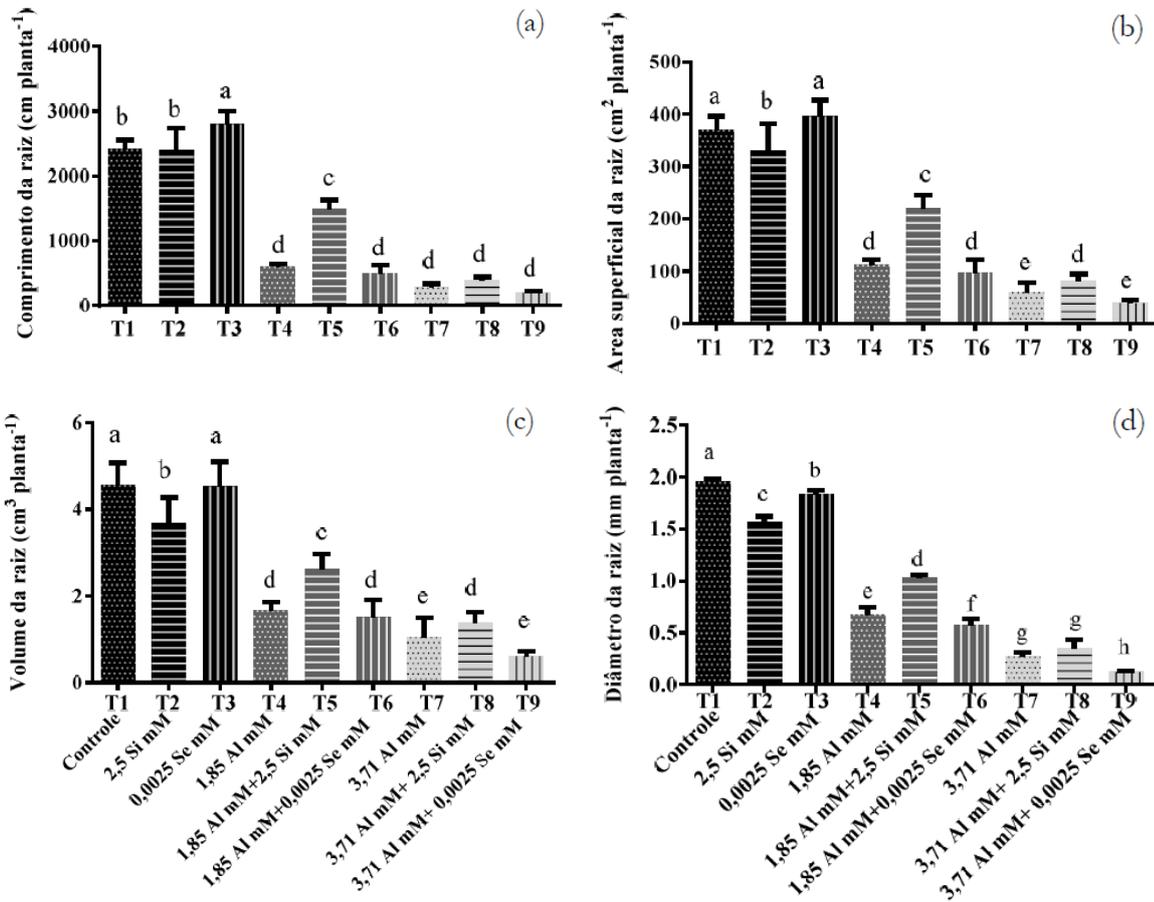


Figura 2. Comprimento da raiz (cm) (a), área superficial de raízes (cm²) (b), volume das raízes (cm³) (c) e diâmetro das raízes (mm) (d) de plantas de *Schinus terebinthifolius* expostas ao alumínio, silício e selênio em sistema hidropônico. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste Scott-Knott. Fonte: Os autores.

O Al não compromete somente a parede celular, pois também interage negativamente com a membrana plasmática, podendo se ligar a proteínas e a lipídios, causando a despolarização da membrana, dessa forma afetando o transporte de íons e processos celulares, perturbando a homeostase celular (Bose et al., 2011). Desequilíbrios nutricionais induzidos pelo Al foram relatados em várias espécies de plantas, os quais demonstram a diminuição da absorção de diferentes cátions, como cálcio, magnésio, potássio e amônio (Sade et al., 2016). Além disso, os prejuízos causados pelo Al podem ser devido a produção de

espécies reativas de oxigênio (ERO), tais como ânion superóxido, radical hidroxil e peróxido de hidrogênio, os quais oxidam os compostos celulares e podem provocar morte celular (Inostroza-Blancheteau et al., 2012; Dabrowska et al., 2007).

Quanto ao silício (Si), aplicado isoladamente, de modo geral, este não promoveu benefícios nas variáveis observadas na raiz e parte aérea. Este comportamento pode estar relacionado com o fato de que os efeitos benéficos do Si nem sempre são verificados em plantas que não estão em condições de estresse (Dann; Muir, 2002; Ma; Yamaji, 2008). O Si de forma isolada ocasionou reduções para as variáveis de massa seca, área superficial, volume e diâmetro de raízes. Ribeiro et al. (2011) verificaram um comportamento semelhante a este, em que o Si ocasionou redução no crescimento radicular de cafeeiro, sem efeitos negativos no desenvolvimento da parte aérea. Várias evidências sugerem que o Si não atua como promovedor do crescimento e atividade metabólica, mas sim na prevenção e mitigação dos estresses sofridos pela planta, o que reflete então em melhorias no crescimento e atividade metabólica. No nível fisiológico, a maioria dos estudos sugere que, na ausência de estresse, a suplementação de Si tem pouco ou nenhum efeito. Existem hipóteses de que o Si atua como um mensageiro secundário, modulando repostas de defesa (Coskun et al., 2019).

Na presença de 1,85 mM de Al, a presença do Si conseguiu mitigar os danos em todas as variáveis de crescimento. Uma hipótese para esta resposta é a formação de complexos hidroxialuminossilicatos nas raízes das plantas de *S. terebinthifolius*, tornando parte do Al indisponível às plantas e, conseqüentemente, reduzindo a translocação do Al, causando benefícios no desenvolvimento da raiz e parte aérea. Esse efeito foi observado somente no tratamento com a menor concentração de Al. Entretanto, para 3,71 mM de Al, ocorreu uma pequena mitigação dos danos apenas para área superficial e volume de raiz, enquanto nas demais variáveis não houve melhorias promovidas pelo Si. Provavelmente, para o Si auxiliar na atenuação dos danos nas maiores concentrações de Al seria necessária uma maior concentração de Si.

Para as variáveis avaliadas na raiz foi possível notar que o Si atuou mitigando os danos causados pelo Al, principalmente na menor concentração de Al. Provavelmente isto está interligado ao fato do Si reforçar a parede celular através da lignificação e suberização, e assim ocasionando uma entrada menor do elemento fitotóxico (Fleck et al., 2010). No entanto, para a maior concentração de Al, somente o reforço da parede celular não foi suficiente para atenuar os danos. Como o Al prejudica a deposição da parede celular, possivelmente estes elementos acabaram competindo e o Si não atuou mitigando os danos para a maior concentração de Al (Kopittke et al., 2015; McKenna et al., 2016).

Em relação ao Se, na concentração usada no presente trabalho, este elemento apresentou-se fitotóxico para a parte aérea das plantas de *S. terebinthifolius*, visto que, de forma isolada foi prejudicial para área foliar e massa seca foliar, o que refletiu também na biomassa total. Este comportamento de decréscimo da área foliar e da massa seca foliar também foi encontrado em outras espécies. Estudos

realizados com plântulas de arroz submetidas a presença de Se mostraram um decréscimo na altura de plantas e na biomassa. Acredita-se que a parte aérea é mais danificada pelo fato do Se ser transportado da raiz para a parte aérea, causando mais danos nesta região (Mostofa et al., 2017). Estudos realizados com Se em *Raphanus sativus* e *Beta vulgaris* também apresentaram como resposta a diminuição da biomassa (Moreno et al., 2018).

Para a raiz, de forma isolada, o Se apresentou-se fitotóxico apenas para o diâmetro de raiz. Porém, quanto ao comprimento, área superficial e volume de raízes o desempenho foi superior ao tratamento controle. No entanto, Se não mitigou os danos de Al para nenhuma das variáveis avaliadas. Selênio e enxofre possuem as mesmas rotas de absorção. Em *Arabidopsis thaliana*, por exemplo, o selenato é absorvido por um transportador de sulfato Sultr1;2 (Shibagaki et al., 2002). A toxicidade induzida pelo Se está possivelmente relacionada com a substituição do enxofre (S) nas proteínas, o que ocasiona alterações em estruturas funcionais pela incorporação de Se em moléculas que possuem S, principalmente a substituição de Cys por Se-Cys, além de poder desencadear a formação de ERO e peroxidação lipídica (Chen et al., 2014). De outro modo, o Se em pequenas concentrações tem efeitos positivos, aumentando as propriedades antioxidantes e modulando múltiplos genes responsivos ao estresse (Naz et al., 2015).

CONCLUSÃO

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi é sensível ao alumínio em sistema hidropônico. No entanto, a adição de 2,5 mM de Si amenizou os efeitos tóxicos ocasionados pelo alumínio na concentração de 1,85 mM, enquanto o selênio não apresentou esta capacidade para nenhuma das variáveis analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achary VMM, Panda BB (2009). Aluminium-induce DNA damage and adaptive response to genotoxic stress in plant cells are mediated through reactive oxygen intermediates. *Mutagenesis*, 25(2): 201-209.
- Bandinelli MG et al. (2013). Concentração dos sais e da sacarose do meio MS na multiplicação *in vitro* e na aclimatização de batata. *Horticultura Brasileira*, 31(2): 242-247.
- Bose J et al. (2011). Role of magnesium in alleviation of aluminum toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(7): 2251-2264.
- Chen Y et al. (2014). The endogenous nitric oxide mediates selenium-induced phytotoxicity by promoting ROS generation in *Brassica rapa*. *PLoS One*, 9(10): e110901.
- Cosgrove DJ (2000). New genes and new biological roles for expansins. *Current Opinion in Plant Biology*, 3:73-78.
- Coskun D et al. (2019). The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221(1):67-85.

- Dabrowska G et al. (2007). Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. *Acta Biologica Cracoviensia - Serie Botanica*, 49:7-17.
- Dann EK, Muir S (2002). Peas grown in media with elevated plant-available silicon levels have higher activities of chitinase and β -1, 3-glucanase, are less susceptible to a fungal leaf spot pathogen and accumulate more foliar silicon. *Australasian Plant Pathology*, 31(1):9-13.
- Dorneles AOS et al. (2016). Silicon reduces aluminum content in tissues and ameliorates its toxic effects on potato plant growth. *Ciência Rural*, 46(3):506-512.
- Duan G et al. (2013). Association of arsenic with nutrient elements in rice plants. *Metallomics*, 5(7):784-792.
- Famoso AN et al. (2010). Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. *Plant Physiology*, 153(4):1678-1691.
- Fauteux F et al. (2005). Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 249(1):1-6.
- Ferreira DF (2008). SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Científica Symposium*, 6(2):36-41.
- Fleck A T et al. (2010). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (*Oryza sativa*). *Journal of Experimental Botany*, 62(6):2001-2011.
- Gessa CE et al. (2005). Effect of Aluminum and pH on the mobility of phosphate through a soil–root interface model. *Plant and Soil*, 272:301–311.
- Halim AA et al. (2017). Ammonia removal using organic acid modified activated carbon from landfill leachate. *Environment Ecosystem Sci.*, 1(1):28–30.
- Horst WJ et al. (2010). The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Ann. Bot.*, 106:185–197.
- Hu Y et al. (2014). Effect of selenium fertilization on the accumulation of cadmium and lead in rice plants. *Plant and Soil*, 384(1-2):131-140.
- Inostroza-Blancheteau C et al. (2012). Molecular and physiological strategies to increase aluminum resistance in plants. *Molecular Biology Reports*, 39(3):2069-2079.
- Jones DL et al. (2006). Spatial coordination of aluminium uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. *Plant, Cell and Environment*, 29:1309–1318.
- Kochian LV et al. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 55:459-493.
- Kochian LV et al. (2015). Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 66:571-598.

- Kopittke PM et al. (2015). Identification of the primary lesion of toxic aluminum (Al) in plant roots. *Plant Physiol.*, 167:1402–1411.
- Kumar M et al. (2012). Selenium and spermine alleviate cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidants and DNA methylation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 51:129-138.
- Lenzi M, Orth AI (2004). Caracterização funcional do sistema reprodutivo da aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi) em Florianópolis-SC, Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):198-201.
- Ma JF, Yamaji N (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life Sciences*, 65(19):3049-3057.
- McKenna BA et al. (2016). Aluminium effects on mechanical properties of cell wall analogues. *Physiol. Plant.*, 158:382–388.
- Moreno ODG et al. (2018). Selenium Uptake and Biotransformation and Effect of Selenium Exposure on the Essential and Trace Elements Status: Comparative Evaluation of Four Edible Plants. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 62(2):1-12.
- Mostofa M G et al. (2017). Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. *Chemosphere*, 178:212-223.
- Naz FS et al. (2015). Low level of selenium increases the efficacy of 24-epibrassinolide through altered physiological and biochemical traits of *Brassica juncea* plants. *Food Chemistry*, 185:441-448.
- Pereira AS et al. (2018). Selenium and silicon reduce cadmium uptake and mitigate cadmium toxicity in *Pfaffiaglomerata* (Spreng.) Pedersen plants by activation antioxidant enzyme system. *Environmental Science and Pollution Research*, 25:18548-18558.
- Pereira JF, Ryan PR (2018). The role of transposable elements in the evolution of aluminium resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 70(1):41-54.
- Ribeiro RV et al. (2011). O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:939-948.
- Sade H et al. (2016). Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils. *Biometals*, 29(2):187-210.
- Schiavon M et al. (2017). Effects of selenium on plant metabolism and implications for crops and consumers. In: *Selenium in plants*. Springer, Cham, 257-275.
- Shibagaki NR et al. (2002). Selenate-resistant mutants of *Arabidopsis thaliana* identify Sultr1;2, a sulfate transporter required for efficient transport of sulfate into roots. *Plant Journal*, 29: 475–486.
- Singh S et al. (2017). Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: a review. *Environmental and Experimental Botany*, 137: 177–193.
- Storck L et al. (2011). *Experimentação vegetal*. 3. ed. Santa Maria, RS: Editora da UFSM. 199p.

- Tabaldi LA et al. (2007). Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 211–222.
- Tabaldi LA et al. (2009). Oxidative stress is an early symptom triggered by aluminum in Al-sensitive potato plantlets. *Chemosphere*, 76(85): 1402–1409.
- Yang JL et al. (2011). Cell wall hemicellulose contributes significantly to aluminum adsorption and root growth in Arabidopsis. *Plant Physiol.*, 155: 1885–1892.
- Zhu XF et al. (2012). Encoding an *in vitro* XEH/XET'-active enzyme, regulates aluminum sensitivity by modulating *in vivo* XET action, cell wall xyloglucan content, and aluminum binding capacity in Arabidopsis. *Plant Cell*, 24: 4731–4747.

ÍNDICE REMISSIVO

A

adubação, 31, 45, 48, 50, 88, 89, 93, 99, 100, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 128, 134, 145, 146, 148, 149
 amendoim do campo, 114, 122
 arbóreas, 31, 46, 48, 56, 60, 77, 99, 100, 102, 109, 110, 111, 112, 124, 126, 127, 131, 139, 146, 149
 Arecaceae, 48
 aroeira, 20, 28

B

BAP, 71, 73, 82, 84
 baru, 61, 99, 100
 botânica, 14

C

canafistula, 70, 72, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 103, 108, 109, 111, 112, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147
 cerrado, 43, 61, 96, 99, 100, 116, 123, 147

D

déficit hídrico, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 30, 31, 35, 36, 39, 40, 42, 45, 46, 53
 desenvolvimento vegetal, 18, 60

E

espécies nativas, 4, 48, 70, 88, 97, 132, 147
 esporulação micorrízica, 127
 estresse hídrico, 12, 13, 31, 39, 42, 45, 49, 53, 57, 67, 96, 102
Eugenia myrcianthes, 30, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46
 explante, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 85, 86

F

fósforo, 14, 21, 89, 90, 92, 93, 94, 96, 99, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 130, 131, 134, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148
 fotossíntese zero, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44
 fruticultura tropical, 7, 17
 fungos micorrízicos arbusculares, 4, 88, 89, 92, 93, 94, 96, 102, 103, 106, 107, 108, 110, 111, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 146, 147, 148

H

hipóxia, 60, 67

I

índice de qualidade de Dickson, 44, 91, 96, 98, 105, 122

L

leguminosa, 70, 103
 luminosidade, 4, 53, 73

M

micropropagação, 71, 72, 83, 85, 87
 mudanças climáticas, 7, 8, 15, 16, 18

N

nutrição, 4, 46, 89, 95, 98, 109, 147, 148

P

Pantanal, 2, 48, 49, 57, 58, 100, 149
 polímero hidroretentor, 39
 produção

de mudas, 4, 16, 32, 46, 47, 72, 94, 96, 97, 98,
100, 102, 103, 108, 109, 110, 111, 112, 113,
114, 116, 122, 123, 125, 127, 145, 146, 147,
148
vegetal, 8
Pterogyne nitens, 113, 114, 117, 118, 119, 121, 122,
123, 124

Q

qualidade de mudas, 44, 46, 88, 89, 103, 111,
112, 129, 140, 146, 149

R

radiação solar, 54, 55, 56
reflorestamento, 70, 88, 126
respostas fisiológicas, 7, 8, 143, 144

S

segmentos nodais, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 87
selênio, 19, 22, 24, 26
sensível ao alumínio, 26
silício, 19, 22, 24, 25, 28, 30, 31, 35, 36, 37, 38,
39, 45, 46
simbiose, 95, 97, 98, 106, 108, 117, 127, 130,
137, 139, 140, 145, 146
sombreamento, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 45, 46, 50,
52, 53, 54, 55, 57, 58, 61, 62, 67, 128, 147, 148

T

toxicidade do alumínio, 19
transpiração, 7, 10, 12, 13, 31, 49, 55, 56, 57, 58

  **Cleberton Correia Santos**

Graduado em Agroecologia (UEMS). Mestre e Doutor em Agronomia - Produção Vegetal (UFGD). Atualmente é Pós-Doutorando (PNPD/CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UFGD. Professor Voluntário na Graduação e Pós-Graduação em Agronomia da UFGD. Tem experiência em Tecnologias para Produção de Mudas e Ecofisiologia, Nutrição e Metabolismo de Plantas. Contato: cleber_frs@yahoo.com.br.



  **Silvana de Paula Quintão Scalon**

Graduada em Ciências Biológicas (UFJF), Mestre em Agronomia - Fisiologia Vegetal e Doutora em Ciência dos Alimentos - Fisiologia Pós-colheita de Frutos e Hortaliças, ambas pela UFLA. Professora Titular da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Produtividade em Pesquisa do CNPq nível 1D. Tem experiência em Ecofisiologia de Mudas de Espécies Arbóreas e Frutíferas Nativas. Contato: silvanascalon@ufgd.edu.br.



ISBN 978-658831931-4



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