

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

MARIA SORAIA FORTADO VERA CRUZ

**ALTERAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM MUDAS DE *Eugenia uniflora* L. E
Galesia integrifolia (Spreng.) Harms APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2023

MARIA SORAIA FORTADO VERA CRUZ

**ALTERAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM MUDAS DE *Eugenia uniflora* L. E
Galesia integrifolia (Spreng.) Harms APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Dr. Élcio Silvério Klosowski

Coorientador: Dr. Ubirajara Contro Malavasi

MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PARANÁ

2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Vera Cruz, Maria Soraia Fortado

Alterações morfofisiológicas em mudas de *Eugenia uniflora* L. e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms após a rustificação química / Maria Soraia Fortado Vera Cruz; orientador Élcio Silvério Klosowski; coorientador Ubirajara Contro Malavasi. - Marechal Cândido Rondon, 2023.

84 p.

Tese (Doutorado Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

1. Espécies lenhosas. 2. Qualidade de mudas. 3. Metil jasmonato. 4. Silicato de potássio. I. Klosowski, Élcio Silvério, orient. II. Malavasi, Ubirajara Contro, coorient. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



MARIA SORAIA FORTADO VERA CRUZ

Alterações morfofisiológicas em mudas de *Eugenia uniflora* L. e *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms após a rustificação química

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Élcio S. Klosowski

Orientador - Élcio Silvério Klosowski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Fabíola Villa

Fabíola Villa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Daniele Guarienti Rorato

Daniele Guarienti Rorato

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Maria Eunice Lima Rocha

VitalForce (Empresa)
(por videoconferência)

Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
(por videoconferência)

Marechal Cândido Rondon, 10 de julho de 2023

A minha mãe que sempre será a minha maior inspiração,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente comigo e me dar o necessário para continuar. Agradeço especialmente, aos meus pais, Maria Piedade Fortado e Nazildo Vera Cruz, por todos os ensinamentos e por me ajudaram a acreditar e conquistar o impossível.

A todos os meus familiares pelo apoio incondicional.

Ao Sidnei Corrêa, pelo companheirismo e amor dedicado.

As minhas amigas Ana Carolina Ristau, Fernanda Ludmila, Maria Eunice, Shirlene Oliveira,

Mayra Abade pela amizade e pela imensurável ajuda na realização de toda a pesquisa.

Ao meu orientador Élcio Klosowski por todos os ensinamentos, orientações, paciência e pelo apoio profissional e emocional.

Ao meu coorientador Ubirajara Malavasi por todas as contribuições.

A professora Marlene Malavasi pelo carinho e amizade.

A Neusa Herzog pelo apoio nas atividades de laboratório.

A Claudete Martins e Marta Bianchini pela amizade e momentos de distrações.

Ao Núcleo de Estações Experimentais (NEE) pelo apoio no desenvolvimento dos experimentos. E especialmente ao ex-coordenador Ricardo Vianna e ao atual coordenador Paulo Levi O. Carvalho, por me possibilitar conciliar a finalização do doutorado e o emprego como agente universitário.

A banca avaliadora deste trabalho, professores doutores Daniele Rorato, Fabíola Villa, Maria Eunice Lima Rocha e Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição, pelas contribuições e tempo dedicado a leitura e correções do trabalho.

Ao Instituto Água e Terra – IAT Toledo/PR pela concessão das mudas.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), seu corpo docente por todo conhecimento repassado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento desta pesquisa,

Os meus sinceros agradecimentos!

*“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu.
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu. É sobre
ser abrigo e também ter morada em outros corações. E assim
ter amigos contigo em todas as situações.”*

Ana Vilela

RESUMO

VERA CRUZ, M. S. F., D. S., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, julho de 2023. **Alterações morfofisiológicas em mudas de *Eugenia uniflora* L. e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms após a rustificação química.** Orientador: Dr. Élcio Silvério Klosowski. Coorientador: Dr. Ubirajara Contro Malavasi.

Considerando a importância econômica e ecológica das espécies estudadas, os benefícios da utilização de mudas de qualidade e aclimatadas as condições de estresse, bem como a necessidade de utilização de métodos eficazes que proporcionem melhoria da qualidade das mudas. Essa pesquisa objetivou avaliar as alterações morfofisiológica e relações hídrica em mudas de *Eugenia uniflora* L. e *G. integrifolia* (Spreng.) Harms em condições normais de crescimento e sob restrição hídrica, após a rustificação com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3). A pesquisa foi conduzida no período de março a agosto de 2022, em ambiente de cultivo protegido. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos. Os tratamentos foram constituídos das aplicações de $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ de MeJa, 5 mL por L^{-1} de K_2SiO_3 e o tratamento controle. Posteriormente, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de três litros, preenchidos com solo local. Os resultados desta pesquisa foram divididos em três capítulos. No capítulo I, foram determinadas variáveis morfométricas para determinação da análise de crescimento das mudas. Os tratamentos rustificativos proporcionaram alterações na dinâmica de crescimento em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* promovendo adaptações morfofisiológicas que auxiliam na tolerância aos estresses pós plantio. No capítulo II foram avaliados parâmetros fisiológicos. A rustificação das mudas com K_2SiO_3 proporcionou maior incremento no teor de lignina e maior eficiência do uso da água, sendo estes indicadores de maior rusticidade. No capítulo III, foram avaliados parâmetros morfofisiológicos e as relações hídrica das mudas após déficit hídrico. Os tratamentos rustificativos promoveram modulações nas relações hídricas das espécies em função do déficit hídrico. De modo geral, pode-se concluir que os métodos de rustificação com MeJa e K_2SiO_3 foram eficazes na indução de respostas de defesa nas mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*. No entanto, ressalta-se que novos estudos devem ser realizados com a condução das mudas a campo para ter a comprovação da eficácia dos produtos no estabelecimento pós-plantio.

Palavras-chave: Espécies lenhosas. Qualidade de mudas. Metil jasmonato. Silicato de potássio

ABSTRACT

VERA CRUZ, M. S. F, D. S., State University of Western Paraná, in July 2023. **Morphophysiological changes in seedlings of *Eugenia uniflora* L. and *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms after chemical hardening.** Advisor: Dr. Élcio Silvério Klosowski. Co-Advisor: Dr. Ubirajara Contro Malavasi.

Considering the economic and ecological importance of the species studied, the benefits of using quality seedlings that are acclimatized to stress conditions, as well as the need to use effective methods that provide improvements in the quality of the seedlings. This research aimed to evaluate the morphophysiological changes and water relations in *Eugenia uniflora* L. and *Galesia integrifolia* (Spreng.) Harms seedlings, under normal growth conditions and under water restriction, after hardening with methyl jasmonate (MeJa) and potassium silicate (K_2SiO_3). The research was conducted from March to August 2022, in a protected cultivation environment. The experimental design used was randomized blocks, consisting of three treatments and seven blocks. The treatments consisted of applications of $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ of MeJa, 5 mL L^{-1} of K_2SiO_3 and the control treatment. Subsequently, the seedlings were transplanted into pots with a capacity of three liters, filled with local soil. The results of this research were divided into three chapters. In chapter I, morphometric variables were determined to determine the seedling growth analysis. Hardening treatments provided changes in the growth dynamics of *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings, promoting morphophysiological adaptations that help in tolerance to post-planting stress. In chapter II, physiological parameters were evaluated. Hardening of seedlings with K_2SiO_3 provided a greater increase in lignin content and greater water use efficiency, these being indicators of greater rusticity. In chapter III, morphophysiological parameters and water relations of seedlings after water deficit were evaluated. The hardening treatments promoted modulations in the water relations of the species due to the water deficit. In general, it can be concluded that the hardening methods with MeJa and K_2SiO_3 were effective in inducing defense responses in *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings. However, it is noteworthy that new studies must be carried out with the seedlings in the field to prove the effectiveness of the products in post-planting establishment.

Keywords: Woody species. Seedling quality. Methyl jasmonate. Potassium silicate

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Figura 1. Valores de temperatura do ar máximo (Tmax) e mínima (Tmin) e umidade relativa do ar média (UR) observados em ambiente de cultivo protegido durante a realização do experimento com mudas em vaso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2022..... 13

Figura 2. Incrementos em altura (A), diâmetro do coleto (B) e área foliar (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle)..... 15

Figura 3. Incrementos massas secas de parte aérea (A), de raiz (B) e total (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle)..... 15

Figura 4. Altura de parte aérea (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico..... 16

Figura 5. Índice de robustez (A), relação parte aérea/raiz (B) e índice de qualidade de Dickson (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico..... 17

Figura 6. Área foliar (A), área foliar específica (B) e razão de área foliar (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico. 17

Figura 7. Massa seca de parte aérea (A), massa seca de raiz (B) e massa seca total (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico. 18

Figura 8. Incrementos em altura (A), diâmetro do coleto (B) e área foliar (C) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle)..... 18

Figura 9. Incrementos massas secas de parte aérea (A), de raiz (B) e total (C) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle)..... 19

CAPÍTULO II: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE DUAS ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Figura 1. Perda de eletrólitos radiculares em mudas de *E. uniflora* (A) e *G. integrifolia* (B) rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle). 41

Figura 2. Teores de lignina em caule (A) e raízes (B) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle)..... 42

Figura 3. Teores de lignina em caule (A) e raízes (B) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle)..... 43

Figura 4. Eficiência no uso da água (EUA) em mudas de *E. uniflora* (A) e *G. integrifolia* (B) rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle). 44

CAPÍTULO III: MODULAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A RESTRIÇÃO HÍDRICA APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Figura 1. Valores de temperatura do ar máximo (Tmax) e mínima (Tmin) e umidade relativa do ar média (UR) observados em ambiente de cultivo protegido durante a realização do experimento com mudas em vaso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2022..... 57

Figura 2. Condutância estomática de mudas de *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), aos 0, 10 e 18 dias de déficit hídrico..... 63

Figura 3. Evapotranspiração de mudas de *E. uniflora* aos 10, 20 e 30 dias de déficit hídrico (A) e de mudas de *G. integrifolia* aos 6, 12 e 18 dias de déficit hídrico (B), rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle)..... 64

Figura 4. Alocação de biomassa para folhas (ABF), caule (ABC) e raiz (ABR) em mudas de *E. uniflora* aos 30 dias de déficit hídrico (A) e em mudas de *G. integrifolia* aos 18 dias de déficit hídrico (B), rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle)..... 65

Figura 5. Eficiência no uso da água (EUA) em mudas de *E. uniflora* aos 30 dias de déficit hídrico (A) e em mudas de *G. integrifolia* (B) aos 18 dias de déficit hídrico, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle)..... 66

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso. 12

Tabela 2. Análise de crescimento de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), submetidas a 18 dias de déficit hídrico..... 19

CAPÍTULO II: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE DUAS ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso. 35

Tabela 2. Massa seca de parte aérea (A), massa seca de raiz (B) e massa seca total (C) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle). 38

Tabela 3. Teores de clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b) e clorofila total (Cl_{total}) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle). 40

Tabela 4. Análise de correlação de Pearson entre eficiência no uso da água (EUA), massa seca total (MST), massa fresca total (MFT), teores de lignina na raiz (LR) e no caule (LC) em mudas de *E. uniflora*. 45

Tabela 5. Desdobramentos em efeitos diretos e indiretos, obtidos pela análise de trilha, das correlações entre os teores de lignina na raiz e no caule e as variáveis explicativas, eficiência no uso da água (EUA), massa seca total (MST) e massa fresca total (MFT) em mudas de *E. uniflora*. 45

CAPÍTULO III: MODULAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A RESTRIÇÃO HÍDRICA APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso. 56

Tabela 2. Perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), incremento em área foliar (IAF), condutância estomática (C_s) e evapotranspiração total (ET_{total}) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico. 60

Tabela 3. Perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), incremento em área foliar (AF) e evapotranspiração total (ET_{total}) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), submetidas a 18 dias de déficit hídrico..... 61

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I: ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA.....	7
INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADOS	14
<i>Eugenia uniflora</i> L.	14
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms.....	18
DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO II: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE DUAS ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA	29
INTRODUÇÃO	31
MATERIAL E MÉTODOS	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO III: MODULAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A RESTRIÇÃO HÍDRICA APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA	51
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS	55
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71

INTRODUÇÃO GERAL

Eugenia uniflora L. é uma árvore conhecida popularmente como pitangueira, a planta é ramificada, com copa arredondada de 3-6 m de diâmetro, com folhagem persistente ou semidecídua (BEZERRA et al., 2018). A espécie é nativa, porém não endêmica do Brasil, sendo encontrada também no Paraguai, Argentina e Uruguai, com centro de origem Brasileiro-Paraguaio. No Brasil ocorre nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul (BOURSCHEID et al., 2011).

O fruto de *E. uniflora*, denominado de pitanga, pode ser consumido *in natura*, ou ainda utilizado no preparo de polpas e sucos. A pitanga também pode ser utilizada na fabricação de sorvetes, refrescos, geleias, licores e vinho. A indústria cosmética utiliza a polpa dos frutos e os óleos essenciais na fabricação de xampus, sabonetes e perfumes. As folhas da pitangueira possuem propriedades medicinais. Devido ao seu porte arbustivo, resistência às podas sucessivas, crescimento lento, copa densa e compacta, a planta é recomendada para uso como cerca viva e na arborização urbana, além de potencial para recuperação de áreas degradadas (FANTINEL et al., 2022).

A propagação da pitangueira é feita, mais facilmente, por sementes, embora a propagação vegetativa também seja viável, por enxertia e estaquia (BEZERRA et al., 2018). As sementes podem ser classificadas como fotoblásticas neutras, ou seja, a germinação ocorre independente da presença ou ausência de luminosidade. As sementes são recalcitrantes, sendo necessário semear logo após a colheita, para não haver perda de viabilidade (CREMASCO et al., 2017).

Gallesia integrifolia (Spreng.) Harms. comumente conhecida como pau d'alho é uma espécie florestal nativa do Brasil, caracterizada pelo seu cheiro similar ao de alho, ocorre nas formações florestais do complexo atlântico, em vários estados brasileiros, desde o Ceará até o Paraná. A ampla distribuição geográfica, com diferentes condições edafoclimáticas é um indicativo de alta variação genética na espécie (CHAGAS et al., 2020).

As sementes são diminutas em tamanho e massa, com cerca de 15.300 sementes por quilograma, as quais não possuem dormência, e são facilmente dispersas pelo vento (SOUZA JUNIOR; BRANCALION, 2016). De acordo com Carvalho (2003), as sementes necessitam de cuidados com o armazenamento, sendo assim, normalmente a produção das mudas desta espécie é feita com a utilização de sementes recém coletadas.

G. integrifolia possui porte grande, com potencial de produtos madeireiros e não madeireiros, como medicinal para tratar infecções, indutor de brotações em algumas frutíferas, potencial ecológico para restauração ecológica de ecossistemas (CARVALHO, 2003). A

madeira é considerada de baixa densidade e com alta instabilidade dimensional, podendo ser empregada principalmente em serrarias e produção de energia, prestando-se também para a fabricação de celulose e papel (MOTTA et al., 2014).

A indústria de árvores cultivadas é responsável pela produção de diversos produtos, como embalagens de papel, tecido, livros, fralda, pisos laminados e móveis de madeira, dentre muitos outros, sendo reconhecida como atividade sustentável e economicamente viável (IBÁ, 2023). Além disso, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou 2020-2030 como a ‘Década das Nações Unidas’ para a Recuperação dos Ecossistemas, que tem como objetivo acelerar a promoção global da recuperação de ecossistemas degradados (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2022).

Deste modo, são necessárias pesquisas que resultem em aumento da qualidade da produção das mudas, pois esta é a primeira etapa de produção. O uso de mudas com atributos de qualidade desejáveis aumenta as chances de sobrevivência e desenvolvimento das plantas após o plantio (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018).

Mudas de qualidade são aquelas que melhor se adaptam às condições adversas pós-plantio, proporcionam alto percentual de sobrevivência e rápido crescimento inicial. No entanto, o conceito de qualidade de muda é relativo, pois o padrão de qualidade é diferente entre espécies e locais de plantio, tornando-se um desafio para muitas empresas florestais (LIMA et al., 2020). Na determinação da qualidade das mudas, podem ser utilizadas características tanto morfológicas, que são baseadas nos aspectos fenotípicos, quanto fisiológicas, que são definidas internamente na planta (ELOY et al., 2013). Duas características são necessárias para obtenção de altos índices de sobrevivência das mudas, sanidade e alto grau de resistência. A resistência pode ser obtida por meio da rustificação (D’AVILA et al., 2011).

A aclimação de plantas ou rustificação em viveiros é aplicada para aumentar as chances de sobrevivência das mudas nas condições do campo. Essas práticas são baseadas no conceito de aumento lento do estresse para induzir ajustes fisiológicos nas plantas, desenvolvendo assim proteção contra condições potencialmente estressantes (GROSSNICKLE, 2012). Esta prática é imposta na transição das mudas da fase de viveiro a campo, com o objetivo de melhorar a tolerância aos estresses por fatores bióticos, e abióticos como condições edafoclimáticas e nutricionais. Dessa maneira, ao ser exposta ao estresse, a muda apresentará o aparato ligado à defesa, resultando em uma resposta mais rápida e eficiente, e amenizando o choque pós-plantio (CLOSE, 2012).

Uma das práticas de rustificação que pode ser empregada é a utilização de reguladores vegetais, com o intuito de modular alterações morfofisiológicas nas plantas que culminará na

maior rusticidade das mudas às condições do pós-plantio, como por exemplo a aplicação do regulador ácido jasmônico e seus derivados.

O ácido jasmônico (AJ) e seus derivados jasmonatos são exemplos práticos de reguladores produzidos endogenamente pelos vegetais que podem modular atividades fisiológicas e bioquímicas, entre os quais, a senescência, abscisão foliar, desenvolvimento embrionário, além dos mecanismos relacionados à defesa das plantas, atuando na sinalização metabólica (ALMAGRO et al., 2012). O metil jasmonato é um composto orgânico volátil que pode ser utilizado para diversos fins nas plantas, como em relação a sua defesa em diversas fases de seu desenvolvimento, como na germinação de sementes, crescimento radicular, floração, amadurecimento de frutos e senescência (TAIZ et al., 2017).

A aplicação de fertilizantes também pode ser empregada como técnica de rustificação de mudas. A adubação de rustificação caracteriza-se por adaptar as mudas às condições de campo, visto que plantas bem nutridas apresentam maior resistência. Pequenos estresses nutricionais podem fazer parte desta adaptação, já que normalmente se utilizam fertilizantes potássicos nesta fase (CIAVATTA et al., 2014).

Bezerra et al. (2020) descreveram que o silicato de potássio apresenta como benefícios além da disponibilização do potássio, o efeito conjunto com o silício, no qual fortalece e aumenta a eficiência fotossintética das plantas. Os mesmos autores observaram em mudas de *Euterpe oleracea* Mart. que a adubação potássica, com sulfato e silicato de potássio, resultou na formação de mudas de açazeiro de melhor qualidade. O silício é um elemento benéfico que desempenha papéis relevantes na fisiologia da planta. Plantas que possuem altas concentrações desse elemento são menos susceptíveis ao ataque de pragas e mais tolerantes a estresses abióticos, como seca, baixas temperaturas, toxidez por metais pesados e salinidade (CASSEL et al., 2021). O potássio é um nutriente indispensável para o desenvolvimento e crescimento vegetal, pois exerce papel fundamental em nível celular, estando envolvido em diversas reações bioquímicas necessárias ao metabolismo da planta, além de ser essencial na ativação das enzimas nos processos de respiração e fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

Portanto, considerando a importância econômica e ecológica das espécies estudadas, os benefícios da utilização de mudas de qualidade e aclimatadas as condições de estresse, bem como a necessidade de utilização de métodos eficazes que proporcionem melhoria da qualidade das mudas, essa pesquisa objetivou avaliar as alterações morfofisiológicas e relações hídrica em mudas de *Eugenia uniflora* e *G. integrifolia* em condições normais de crescimento e sob restrição hídrica, após a rustificação com metil jasmonato e silicato de potássio.

REFERÊNCIAS

- ALMAGRO, L.; BRU, R.; PUGIN, A.; PEDRENO, M. A. Early signaling network in tobacco cells elicited with methyl jasmonate and cyclodextrins. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 51, n. 1, p. 1-9, 2012.
- BEZERRA, J. E. F.; LIRA JÚNIOR, J. S.; SILVA JÚNIOR, J. S. *Eugenia uniflora*: Pitanga. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - região Nordeste**. Brasília: Ed. MMA, 2018. Cap. 5, p. 155-168.
- BEZERRA, J. L. S.; ANDRADE NETO, R. C.; LUNZ, A. M. P.; ARAÚJO, J. M.; ARAÚJO, C. S. Produção de mudas de açazeiro (*Euterpe oleracea*) em resposta a diferentes fontes e doses de potássio. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 17 n. 33, p. 348-360, 2020.
- BOURSCHEID, K.; VIEIRA, N. K. LISBÔA, G. N.; KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. *Eugenia uniflora*. Pitangueira. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: MMA, 2011. Cap. 5, p. 170-177.
- CARVALHO, P. E. R. Pau-D’alho: *Gallesia integrifolia*. In: __. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2003. p. 734-742.
- CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PIMENTA, B. D.; LUDWIG, R. L.; SANTOS, D. B. Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.4, p. 6601-6615, 2021.
- CAVALCANTI FILHO, P. F. M. **Silicato de potássio na aclimação de mudas de *Coffea arabica* L.** 2017. 65 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017.
- CIAVATTA, S. F.; SILVA, M. R.; SIMÕES, D. Fertirrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* nos períodos de inverno e verão. **Cerne**, v. 20, n. 2, p. 217-222, 2014.
- CHAGAS, D. M. C.; ALVES, J. H. M.; AZEVEDO, O. A.; FIORESE, C. H. U.; BINDELI, G. M.; SILVA-FILHO, G. *Gallesia integrifolia*: Um exemplo da relevância do conhecimento popular sobre plantas, indicador da importância da preservação dos saberes etnobotânicos e etnofarmacológicos. **Revista Agrária Acadêmica**, v.3, n.3, p. 62-71, 2020.
- CLOSE, D. C. A review of ecophysiological - based seedling specifications for temperate Australian eucalypt plantations. **New Forests**, v. 43, n. 6, p. 739-753, 2012.
- CREMASCO, J. P. G.; SOUTO, A. G. L.; MAITAN, M. Q.; CORDEIRO, M. H. M.; MORAIS, K. D. B.; SANTOS, C. E. M. Emergência de plântulas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob diferentes fotoperíodos. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 2, p. 103-108, 2017.
- D’AVILA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 13-19, 2011.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **FLORESTA**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FANTINEL, R. A.; SANTOS, F. D.; WEILER, E. B.; LOIOLA, T. M.; NASSINHACK, V. S. Potencialidades das Espécies Arbóreas Nativas de um Remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 4, p. 1-8, 2022.

FIRMINO, T. P.; BARBEIRO, C. ROMAGNOLO, M. B.; PASTORINI, L. H. *Gallesia integrifolia* (Spreng) Harms. Growth under different shade and water availability conditions. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 1-9, 2020.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, M. A. N; ARRUDA, M. A. Influence of shading on forest seedling quality with potential use in agroecological practices. **Holos Environment**, v. 17, n. 1, p. 116-124, 2017.

GOMES, S.H.M.; GONÇALVES, F.B.; FERREIRA, R.A.; PEREIRA, M.; RIBEIRO, M.M.J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, p. 1-10, 2019.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. **Forests**, v. 9, n. 283, p. 1-23, 2018.

GROSSNICKLE, S.C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 6, p. 711-738, 2012.

HEBERLE, K.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Morfometria e lignificação em função da aplicação de ácido jasmônico em mudas de ipê roxo e guajuvira. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 317-325, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2022**. Brasília: Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) - Fundação Getulio Vargas (FGV). Disponível em: <<https://www.iba.org>>. Acesso em 01 de jun. de 2023.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D.; WILKINSON, K. M. Hardening. In: WILKINSON, K. M.; LANDIS, T. D.; HAASE, D. L.; DALEY, B. F.; DUMROESE, R. K. **Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants**. Washington: USDA, 2014. p. 293-302.

JUNG, P. H.; SILVEIRA, A. C.; NIERI, E. M.; POTRICH, M.; SILVA, E. R. L.; REFATTI, M. Atividade Inseticida de *Eugenia uniflora* L. e *Melia azedarach* L. sobre *Atta laevigata* Smith. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 191-196, 2013.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; LOPES, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; GURGACZ, F.; BORSOI, A. Lignin and stem flexibility in eucalyptus seedlings subjected to hardening. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 352-366, 2020.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; ALVES, R. C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, v.44, n.12, p.2186-2192, 2014.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Começa a Década da ONU da Restauração de Ecossistemas**. Brasília: Nações Unidas Brasil. Disponível < <https://brasil.un.org>>. Acesso em: 30 de jun. 2023.

ROCHA, M. E. L.; SOUSA, D. J. P.; TEIXEIRA, J. S. S.; MALAVASI, M. M.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MALAVASI, U. C. Biochemical Modifications in Seedlings of Cedar Submitted to Salicylic Acid Application. **Ensaio e Ciência**, v.25, n. 5, p.551-557, 2021.

SOUSA, J. V.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, P. C.; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

SOUZA JUNIOR, C. N.; BRANCALION, P. H. S. **Sementes e mudas**: guia para propagação de árvores brasileiras. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 464 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E., MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 954p.

ZHANG, C.; PEREIRA, J. M. M.; CORREIA, C.; COUTINHO, J.; GONÇALVES, A.; GUEDES, A.; LARANJO, J. G. Foliar application of Sili-K increases chestnut (*Castanea* spp.) growth and photosynthesis, simultaneously increasing susceptibility to water deficit. **Plant Soil**, v. 365, n. 1, p. 211-225, 2013.

CAPÍTULO I: ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

RESUMO:

A avaliação da qualidade das mudas deve considerar parâmetros morfológicos e fisiológicos, uma vez que essas características são determinadas por fatores genéticos e ambientais. Deste modo, o trabalho objetivou determinar os efeitos da rustificação química na morfologia das mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* por meio de análise de crescimento. O experimento foi conduzido no período de março a agosto de 2022, em ambiente de Cultivo Protegido. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos, com quatro plantas cada. Os tratamentos foram constituídos de 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de metil jasmonato (MeJa), 5 mL L^{-1} de silicato de potássio (K_2SiO_3) e de mudas controle. Posteriormente, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de três litros, preenchidos com solo local e permaneceram, por 30 e 18 dias, respectivamente, para *E. uniflora* e *G. integrifolia*. As mesmas foram conduzidas em dois lotes, com e sem irrigação. Análises morfométricas foram realizadas antes da aplicação dos tratamentos e após o desenvolvimento em vasos (mudas irrigadas) para determinação dos incrementos em altura da parte aérea, em diâmetro do coleto, em área foliar, em massa seca da parte aérea, radicular e total. Para determinação dos efeitos da rustificação na tolerância das mudas ao déficit hídrico, foram avaliados parâmetros morfológicos e determinados os índices de qualidade. Para *E. uniflora* as mudas rustificadas com MeJa externaram menores valores médios de incrementos em altura e área foliar e maiores incrementos em diâmetro do coleto. A rustificação com K_2SiO_3 proporcionou maiores incrementos em massa seca de parte aérea e total e maior desenvolvimento em área foliar. Os tratamentos rustificativos proporcionaram alterações na dinâmica de crescimento das mudas, promovendo adaptações morfofisiológicas que podem ser utilizadas como mecanismos de adaptação aos estresses pós plantio. A rustificação com MeJa promoveu redução no crescimento vegetativo aéreo, compensando pelo maior incremento diametral e radicular. Por outro lado, a rustificação com K_2SiO_3 favoreceu o desenvolvimento da estrutura de produção fotossintética, promovendo maior crescimento aéreo e produção de biomassa.

Palavras-chave: *Eugenia uniflora* L. *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. Silicato de potássio. Metil jasmonato. Morfofisiologia.

GROWTH ANALYSIS OF WOODY SPECIES AFTER CHEMICAL HARDENING

ABSTRACT:

The assessment of seedling quality must consider morphological and physiological parameters since these characteristics are determined by genetic and environmental factors. Thus, the research aimed to determine the effects of chemical hardening on the morphology of *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings through growth analysis. The experiment was conducted from March to August 2022, in a Protected Cultivation environment. The experimental design used was randomized blocks, consisting of three treatments and seven blocks, with four plants each. The treatments consisted of 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of methyl jasmonate (MeJa), 5 mL L^{-1} of potassium silicate (K_2SiO_3) and control seedlings. Subsequently, the seedlings were transplanted into pots with a capacity of three liters, filled with local soil and remained for 30 and 18 days, respectively, for *E. uniflora* and *G. integrifolia*. They were carried out in two lots, with and without irrigation. Morphometric analyzes were carried out before applying the treatments and after development in pots (irrigated seedlings) to determine the increases in shoot height, stem diameter, leaf area, dry mass of the shoot, root and total. To determine the effects of hardening on seedling tolerance to water deficit, morphological parameters were evaluated, and quality indices were determined. For *E. uniflora*, seedlings hardening with MeJa showed lower average values of increments in height and leaf area and greater increments in stem diameter. Hardening with K_2SiO_3 provided greater increases in shoot and total dry mass and greater development in leaf area. The hardening treatments provided changes in the growth dynamics of the seedlings, promoting morphophysiological adaptations that can be used as adaptation mechanisms to post-planting stresses. Hardening with MeJa promoted a reduction in shoot vegetative growth, compensating for the greater diametrical and root increase. On the other hand, hardening with K_2SiO_3 favored the development of the photosynthetic production structure, promoting greater shoot growth and biomass production.

Keywords: *Eugenia uniflora*. *Gallesia integrifolia*. Potassium silicate. Methyl jasmonate. Morphophysiology.

INTRODUÇÃO

A qualidade das mudas deve considerar parâmetros morfológicos e fisiológicos, uma vez que essas características são determinadas por fatores genéticos e ambientais

(GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018). Além disso, a combinação desses atributos desejáveis prevê maiores chances de sobrevivência e maior crescimento após o estabelecimento. Neste sentido, análises de crescimento de plantas tem grande aplicabilidade.

A análise de crescimento vegetal é uma ferramenta de uso prático a qual proporciona inúmeras vantagens como a facilidade de aplicação sem necessidade de análises laboratoriais e/ou equipamentos sofisticados. Além disso, apresenta as mudanças morfofisiológicas variando em função da espécie, período de avaliação e das características que condicionam o crescimento das mudas (BENINCASA, 2004).

A sobrevivência das mudas e o povoamento florestal envolvem muitas práticas silviculturais, em que o aspecto mais importante é o plantio de mudas de qualidade e com alta capacidade de sobrevivência, com atributos desejáveis, que podem aumentar a velocidade de superar o estresse do plantio, garantindo assim o estabelecimento a campo (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018). O plantio de mudas de qualidade também implica em menor custo com aquisição de novas mudas, além de gastos operacionais do replantio. Deste modo, técnicas de rustificação se tornam cruciais para obtenção de mudas aptas as condições de campo.

A rustificação é uma prática imposta na transição das mudas do viveiro ao campo, com o objetivo de melhorar a tolerância aos estresses por fatores bióticos e abióticos. A tendência é que essas práticas antecipem ou simulem condições estressantes posteriores à expedição (CLOSE, 2012). Existem diversos métodos de rustificação, dentre as quais a rustificação química com reguladores vegetais ou fertilizantes, e estes têm se comprovado com eficiência na melhoria da qualidade das mudas de espécies lenhosas e no aumento do potencial de estabelecimento a campo.

O ácido jasmônico e seus derivados (coletivamente chamados de jasmonatos) atuam como reguladores endógenos do crescimento vegetal, ocorrem em várias espécies vegetais e modulam a senescência de plantas, a abscisão foliar, o desenvolvimento de embriões e o mecanismo de defesa (TAIZ et al., 2017). Esses reguladores vegetais são reconhecidos como as principais substâncias de defesa e funcionam como moduladores da rede de sinalização imune da planta, agindo como sinalizadores de estresse (PIETERSE et al., 2012).

O silicato de potássio líquido e solúvel é uma das fontes mais utilizadas para o fornecimento de Si via aplicações foliares em plantas. Adicionalmente, o produto fornece K em sua forma disponível a planta, sendo este um elemento importante por estar envolvido em vários processos metabólicos. O silício é classificado como nutriente benéfico a planta, e sua aplicação resulta em vários atributos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares das plantas que oferecem maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. (IRFAN et al., 2023).

Eugenia uniflora L. pertencente à família Myrtaceae é popularmente conhecida como pitangueira. A espécie é nativa, mas não endêmica do Brasil, pois é cultivada também no Paraguai, Argentina e Uruguai. Devido a sua alta adaptabilidade, pode ser encontrada em todas as regiões brasileiras. A espécie possui múltiplos usos com potencial econômico, potencial de regeneração de áreas degradadas, propriedades farmacológicas, uso na apicultura, ornamentação de jardins e praças, produção de árvores anãs (bonsais), indústria cosmética. O fruto, principalmente na região nordeste brasileira é bastante apreciado tanto para o consumo *in natura* quanto e na produção de sorvete, picolé, refresco, geleia, licor e vinho (BOURSCHEID et al., 2011).

Gallesia integrifolia (Spreng.) Harms é nativa do Brasil, pertencente à família Phytolaccaceae. É uma árvore de grande porte e sua principal característica é o forte cheiro de alho, por isso é conhecida popularmente como pau d'alho. Além disso, Chagas et al. (2020) destacaram que a espécie ocorre em vários estados brasileiros, desde a Bahia até o Paraná, a ampla distribuição geográfica com diversidade de solo e clima é um indicativo de alta variação genética na espécie. Os autores descreveram que a espécie possui madeira de múltiplo uso, empregada principalmente em serrarias e produção de energia, prestando-se também para a fabricação de celulose e papel. Também pode ser utilizada para produção de sabão, alimentação animal, além do uso medicinal. A espécie é indicada para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas por apresentar crescimento rápido e auxiliar na regeneração natural, devido à intensa produção e dispersão de frutos anemocóricos.

Mediante a crescente demanda e a necessidade de produção de mudas de qualidade para o bom estabelecimento pós plantio, e tendo em vista a importância ecológica e econômica das espécies acima descritas, o trabalho objetivou determinar os efeitos da rustificação química com metil jasmonato e silicato de potássio em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* na morfologia das mudas.

MATERIAL E MÉTODOS

As mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia* foram adquiridas no viveiro florestal do Instituto Água e Terra (IAT), localizado no município de Toledo-PR. As sementes foram colhidas de árvores matrizes de remanescentes florestais, localizadas há pelo menos, 100 metros de distância entre si. Essas mudas foram produzidas em tubetes de polipropileno com capacidade para 180 cm³ de substrato. Para a produção das mudas foi utilizado substrato

comercial, a base de casca de pinus e adicionado adubo de liberação controlada de macro e micronutrientes em até seis meses (Basacote® Mini 6 M 16-8-12(+2)).

A pesquisa foi conduzida no período de março de 2021 a abril de 2023, na Estação de Cultivo Protegido e Controle Biológico “Professor Dr. Mário César Lopes” pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Paraná (latitude de 24° 33’ 24’’ S, longitude de 54° 05’ 67’’ W e altitude de 420 m). De acordo com a classificação climática proposta por Koppen, o clima é tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano (1.600 a 1.800 mm) e verões quentes, a temperatura do ar média anual varia entre 22 e 23 °C e a umidade relativa do ar entre 70 e 75% (NITSCHKE et al., 2019).

No período supramencionado foram realizados experimentos pré-testes (não contemplados neste trabalho de tese) para determinação de doses de metil jasmonatos e silicato de potássio recomendados para as mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*. Vale mencionar que para os experimentos realizados, os lotes de mudas foram adquiridos no viveiro do IAT em períodos diferentes, de acordo com a fase da pesquisa.

O experimento com métodos de rustificação química (aplicação de metil jasmonato e silicato de potássio) em mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*, foi conduzido no período de março a agosto de 2022. Antes das aplicações dos tratamentos, as mudas passaram por período de aclimação por aproximadamente 60 dias em ambiente protegido não climatizado com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV de 150 μ de espessura equivalente a 80% de transmissividade. Durante esse período, foram mantidas sob irrigação por aspersão com lâmina média de 4,0 mm. A adubação foi realizada com solução nutritiva a base de fertilizante NPK na formulação 10-15-15, conforme a necessidade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos, com quatro plantas cada. Os tratamentos foram constituídos de: 1) metil jasmonato, em que foram aplicados 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ diluídos em água; 2) silicato de potássio, sendo 5 mL L^{-1} de água; 3) tratamento controle, ou seja, mudas sem rustificação. Para as rustificações químicas, foi adicionado nas soluções um tensoativo não iônico. O tensoativo foi utilizado para melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, reduzindo a tensão superficial das gotas e o ângulo de contato destas com a superfície da folha. O produto utilizado foi o Agral-Syngenta®, seguindo as orientações do fabricante.

Os tratamentos químicos foram aplicados, em cada lote, uma vez por semana, durante quatro semanas por meio de pulverizações foliares, utilizando-se bomba costal manual, aplicando-se, em média, 10 mL da solução por muda (definida por prévia calibração com água)

até atingir o ponto de escorrimento. Durante o período das aplicações dos tratamentos, as irrigações ocorreram diariamente, três vezes ao dia, com lâmina de 4 mm, e as aplicações dos produtos foram realizadas ao final do período vespertino, após a última irrigação.

Ao final da imposição dos tratamentos as mudas permaneceram em bandejas com tubetes por mais duas semanas. Posteriormente, foram transplantadas para vasos de polietileno com capacidade de três litros, preenchidos com solo local (Tabela 1), classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013), alocados em bancadas fora do alcance do sistema de irrigação do ambiente. Por ocasião da instalação, o solo foi irrigado com lâmina de água de 1,5 L. As mudas permaneceram em aclimatação, nos vasos em ambiente de cultivo protegido por 16 dias, período no qual foram irrigadas com 0,5 L a cada dois dias.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso.

Amostra	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
LVef	.....cmol/dm ³.....			.....mg/dm ³			
	0,14	2,60	0,70	24,00	17,60	12,00	0,70
Amostra	Argila	Silte	Areia	V	m	pH	MO
LVef	.....g/kg.....			.....%.....		CaCl	g/dm ³
	492	392	116	54,0	0,0	5,3	4,44

Legenda: Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (MO).

Após o período de aclimatação, iniciou-se a suspensão da irrigação. No dia inicial, as mudas foram novamente irrigadas com o total de 1,5 L de água. Em seguida, as mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* permaneceram em vasos, respectivamente, por 30 dias e 18 dias sem reposição hídrica. Durante o mesmo período, uma quantidade igual de mudas, para as duas espécies, foi mantida sob irrigação a cada dois dias. Para tanto, foi determinada a massa dos vasos ao final do período vespertino, em balança digital com capacidade para 30 kg ($\pm 0,005$ kg). A lâmina de água foi aplicada, de acordo com a quantidade de água perdida (evapotranspirada) em relação ao volume inicial de 1,5 L, a amplitude dos volumes fornecidos variou de 0,03 a 0,42 L, para mudas de *E. uniflora*, durante 30 dias de condução em vaso e de 0,11 a 0,45 L para mudas de *G. integrifolia*, durante 18 dias de condução em vasos.

Durante o período de condução das mudas em vasos, os valores de umidade relativa e temperatura do ar foram obtidos, diariamente, com o auxílio de um termo-higrômetro

datalogger com sensor de temperatura e umidade relativa do ar (Modelo KlimaLogg Smart), os dados estão representados na Figura 1.

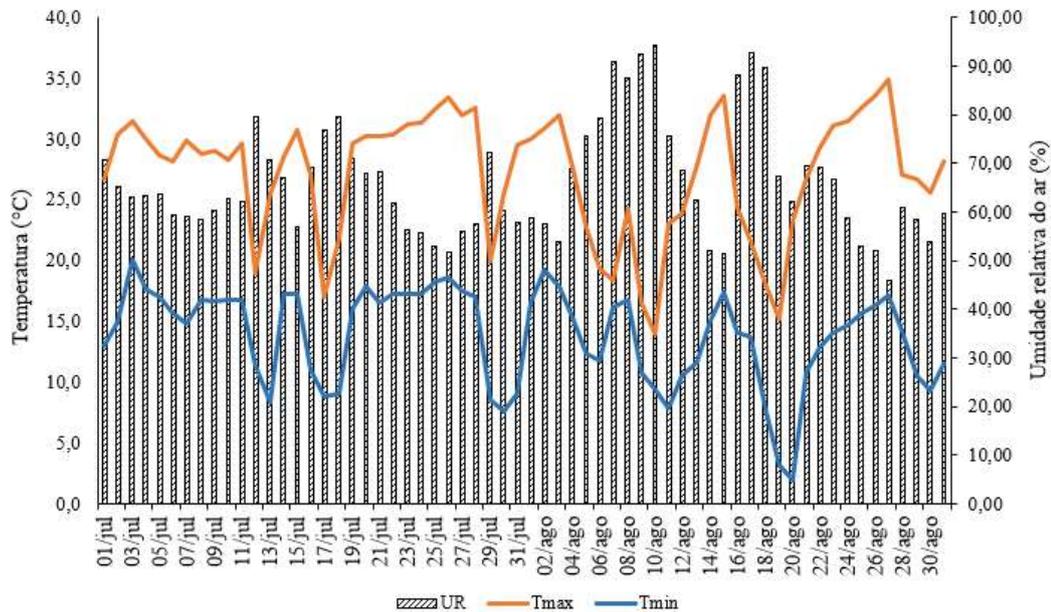


Figura 1. Valores de temperatura do ar máximo (Tmax) e mínima (Tmin) e umidade relativa do ar média (UR) observados em ambiente de cultivo protegido durante a realização do experimento com mudas em vaso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2022.

Análises morfométricas foram avaliadas nas mudas antes da aplicação dos tratamentos e após o desenvolvimento em vasos (mudas irrigadas) para determinação dos incrementos em altura da parte aérea (IH), em diâmetro do coleto (IDC), em área foliar (IAF), em massa seca da parte aérea (IMSPA), massa seca radicular (IMR) e massa seca total (IMT). Para avaliação das mudas antes da rustificação, foi utilizada uma amostragem aleatória para cada tratamento, contendo sete blocos, com duas plantas.

Para determinação dos efeitos da rustificação na tolerância das mudas ao déficit hídrico, após o período de restrição hídrica, as mudas foram avaliadas quanto à altura da parte aérea (H - cm), diâmetro do coleto (DC - mm), área foliar (AF - cm²), massa seca de folhas (MSF - g⁻¹), massa seca de caule (MSC - g⁻¹), massa seca de raiz (MSR - g⁻¹) e massa seca total (MST - g⁻¹).

A partir das determinações dos parâmetros acima relatados foram obtidos por meio de equações matemáticas o índice de robustez (IR), a relação parte aérea/raiz (PA/R), o índice de qualidade de Dickson (IQD), a área foliar específica (AFE - cm² g⁻¹) e a razão de área foliar (RAF - cm² g⁻¹).

A altura da parte aérea foi medida em centímetros (cm), com o uso de uma régua graduada, a partir da base do coleto até a gema apical. O diâmetro do coleto foi expresso em milímetros (mm), sendo medido no limite da parte aérea com o substrato, com a utilização de um paquímetro digital. O índice de robustez foi determinado pela razão entre os valores obtidos de altura H e DC ($IR = H/DC$). A área foliar (cm^2) foi avaliada por meio do método destrutivo direto, usando um medidor portátil modelo LI-3000A (área meter Li-Cor, USA).

As mudas foram separadas em folhas, caule e raiz, para determinação das massas secas (g^{-1}) e levadas à secagem em estufa com circulação de ar a $65\text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante. A massa seca de parte aérea (MSPA) foi obtida pela soma das massas secas de folha e caule. Para obtenção de massa seca radicular, as raízes foram previamente lavadas para remoção de solo e posteriormente, submetidas a secagem. Em seguida determinou-se a relação entre parte aérea e raiz.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi determinado em função da H, do DC, da MST, da MSPA e da MSR, de acordo com a Equação estabelecida por Dickson *et al.* (1960):

A área foliar específica (AFE - $cm^2\ g^{-1}$) e a razão de área foliar (RAF - $cm^2\ g^{-1}$), foram determinadas em função da área foliar e da massa seca total (MST) e massa seca foliar (MSF).

Os dados foram analisados quanto a normalidade de distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e quanto a normalidade da variância pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. A análise estatística foi realizada com auxílio do software estatístico R v. 4.2.2 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS

Eugenia uniflora L.

Os incrementos da altura (IH), diâmetro do coleto (IDC) e de área foliar (IAF) em mudas de *E. uniflora* após a rustificação com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (Figura 2) indicaram que as mudas que receberam MeJa externaram menores valores médios de IH (Figura 2A) e IAF (Figura 2C) e maior média de IDC (Figura 2B).

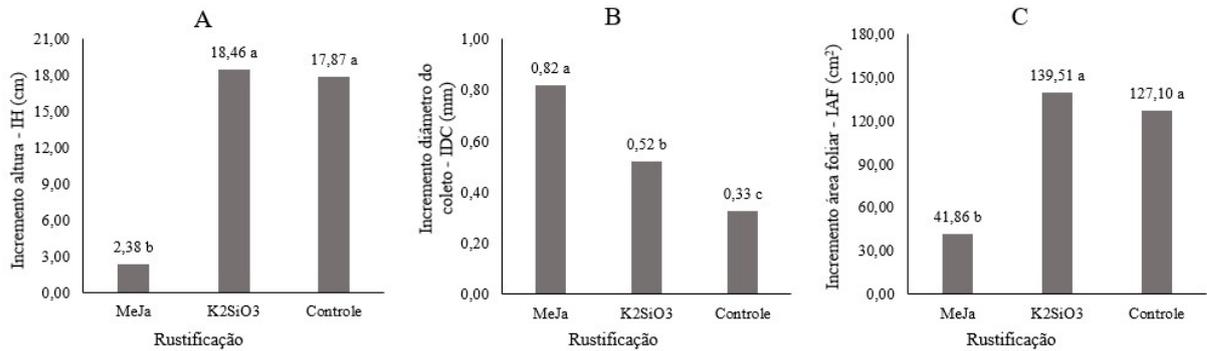


Figura 2. Incrementos em altura (A), diâmetro do coleto (B) e área foliar (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle).

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os maiores incrementos em massa seca foram observados em mudas submetidas aos tratamentos rustificativos (Figura 3).

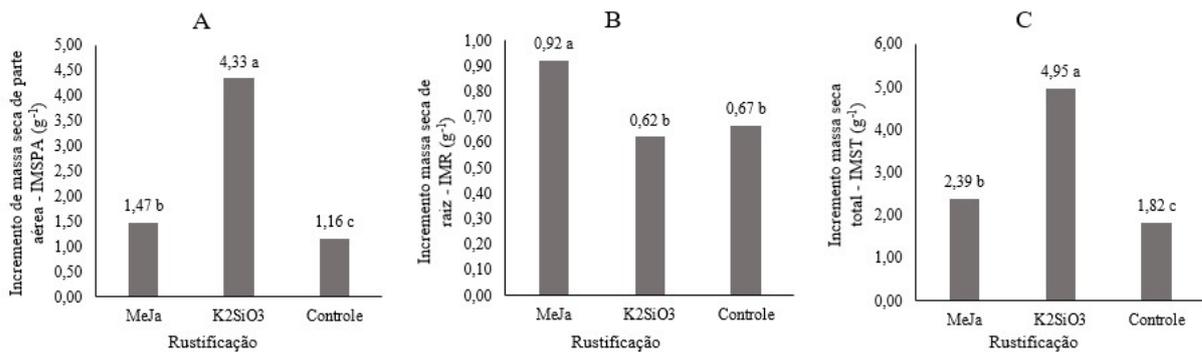


Figura 3. Incrementos massas secas de parte aérea (A), de raiz (B) e total (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A rustificação com K₂SiO₃ proporcionou maiores incrementos na massa seca aérea – IMSPA- com incremento médio de 4,33 g⁻¹ (figura 3A). Esses resultados corroboraram os apresentados na Figura 2, em que se observou maiores incrementos em altura de parte aérea e em área foliar nas mudas rustificadas com K₂SiO₃ semelhante (P>0,05) ao tratamento controle. Contudo, na conversão para massa seca, o tratamento rustificativo apresentou maior eficiência, com incremento 73,2% maior que o tratamento controle. O maior incremento em massa seca total (IMST) também foi observado em mudas rustificadas com K₂SiO₃ com média de 4,95 g⁻¹ (Figura 3C). Para as médias de incremento em massa seca de raiz (IMSR) a maior média foi quantificada em mudas rustificadas com MeJa, com incremento médio de 0,92 g⁻¹ (Figura 3B).

A altura de mudas de *E. uniflora*, submetidas a déficit hídrico não foi influenciada pelos tratamentos rustificativos (Figura 4A). Os valores médios de 50,78 cm, 52,76 cm e 47,56 cm, respectivamente, para as mudas rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem tratamento rustificativo (controle) foram semelhantes entre si ($P>0,05$). Para o diâmetro do coleto (Figura 4B) a rustificação com MeJa proporcionou valor médio maior que as mudas controle, quando submetidas a 30 dias de déficit hídrico.

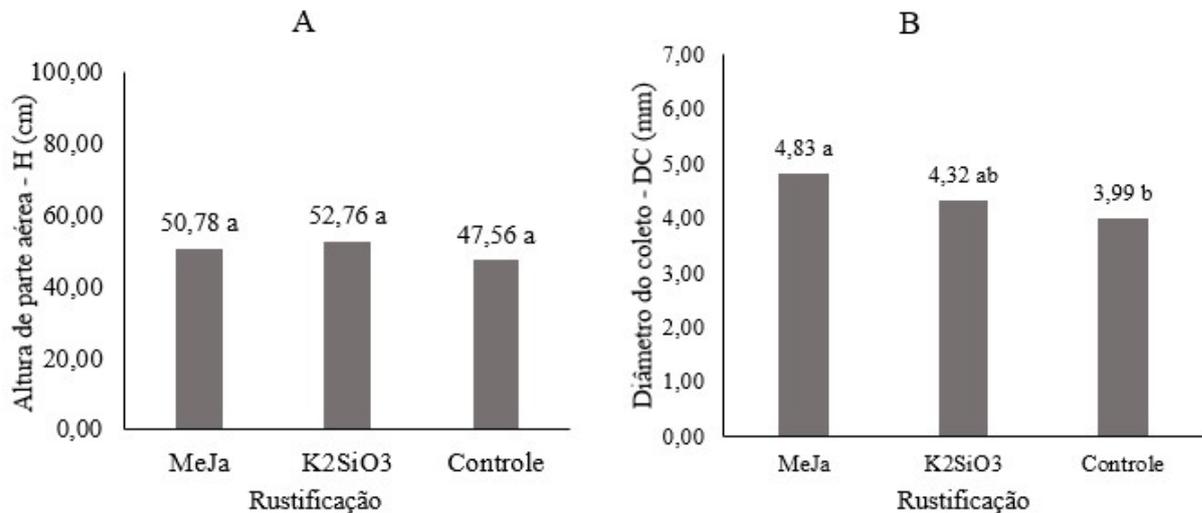


Figura 4. Altura de parte aérea (A) e diâmetro do coleto (B) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A interpretação dos índices de qualidade em mudas de *E. uniflora* tratadas com diferentes métodos de rustificação e submetidas a 30 dias de déficit hídrico (Figura 5) indicou a inexistência de diferença estatística ($P>0,05$) entre os tratamentos para o índice de robustez – IR (Figura 5A) e para a relação parte aérea/raiz – PA/R (Figura 5B). Para o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) a rustificação com MeJa proporcionou aumento de 36% em relação a muda controle (Figura 5C).

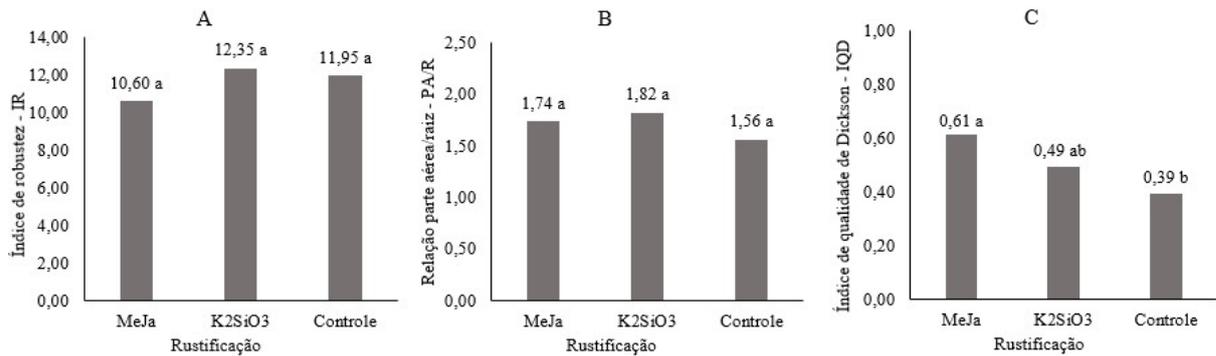


Figura 5. Índice de robustez (A), relação parte aérea/raiz (B) e índice de qualidade de Dickson (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A rustificação das mudas com K₂SiO₃ promoveu o maior desenvolvimento da área foliar – AF (Figura 6A), favorecendo maiores médias de área foliar específica – AFE (Figura 6B) e razão de área foliar – RAF (Figura 6C).

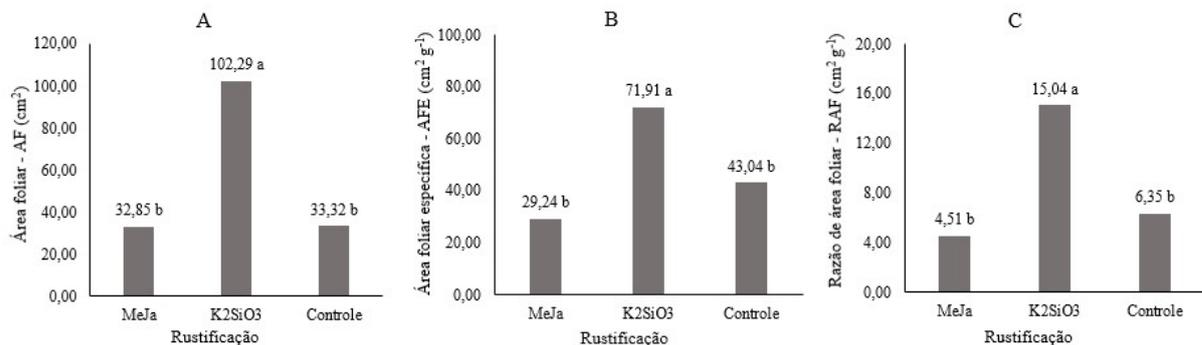


Figura 6. Área foliar (A), área foliar específica (B) e razão de área foliar (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com relação a conversão de massa seca (Figura 7) em situação de restrição hídrica, verificou-se que os métodos de rustificação foram eficientes em comparação com o tratamento controle. Para a produção de massa seca aérea – MSPA (Figura 7A) e massa seca total – MST (Figura 7C) não houve diferença ($P > 0,05$) entre os métodos de rustificação com MeJa e K₂SiO₃, sendo ambos melhores que o tratamento controle. Para a massa seca de raiz (Figura 7B), a rustificação com MeJa foi 25% maior que o quantificado em mudas controle.

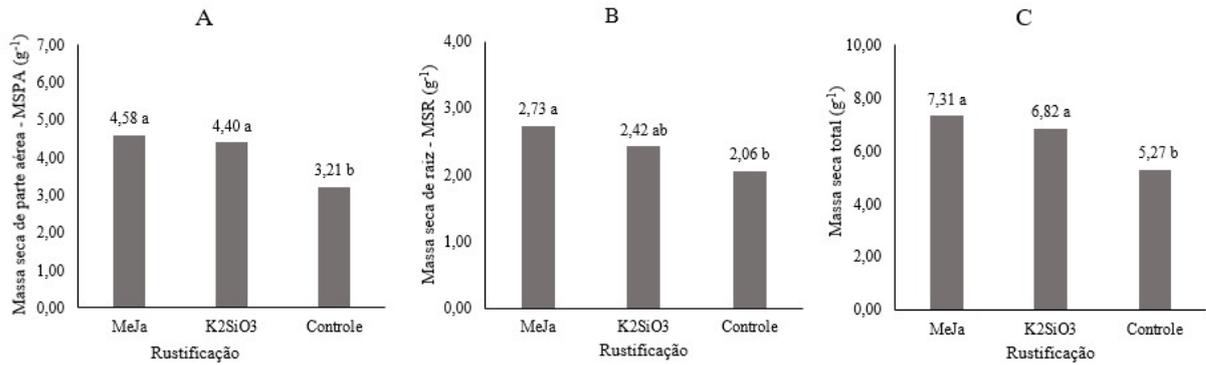


Figura 7. Massa seca de parte aérea (A), massa seca de raiz (B) e massa seca total (C) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Galesia integrifolia (Spreng.) Harms

Em mudas de *G. integrifolia* o tratamento rustificativo com K₂SiO₃ proporcionou maiores incrementos em altura - IH (Figura 8A) e em área foliar - IAF (Figura 8C).

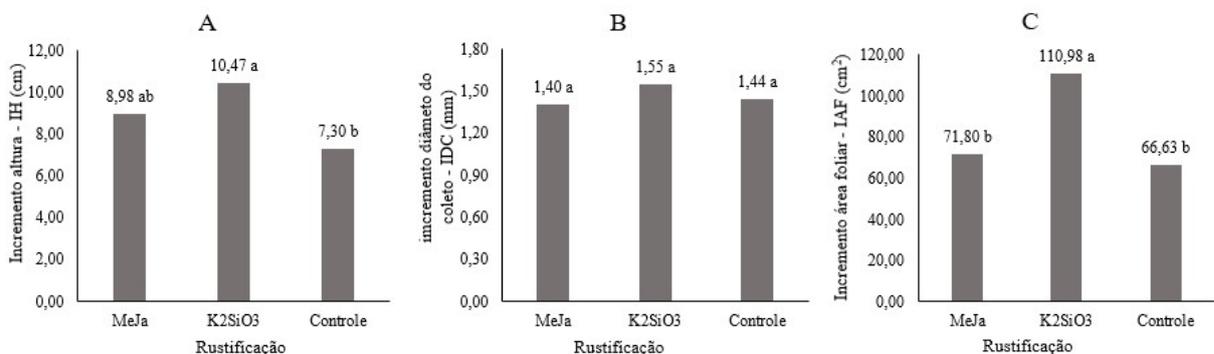


Figura 8. Incrementos em altura (A), diâmetro do coleto (B) e área foliar (C) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os incrementos em massa seca aérea (IMSPA), massa seca de raiz (IMR) e em massa seca total (IMT) de mudas de *G. integrifolia* após a rustificação com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (Figura 9) indicaram que os tratamentos rustificativos com MeJa e K₂SiO₃ proporcionaram maiores incrementos na massa seca radicular, com médias maiores 73% e 75% em relação as mudas controle.

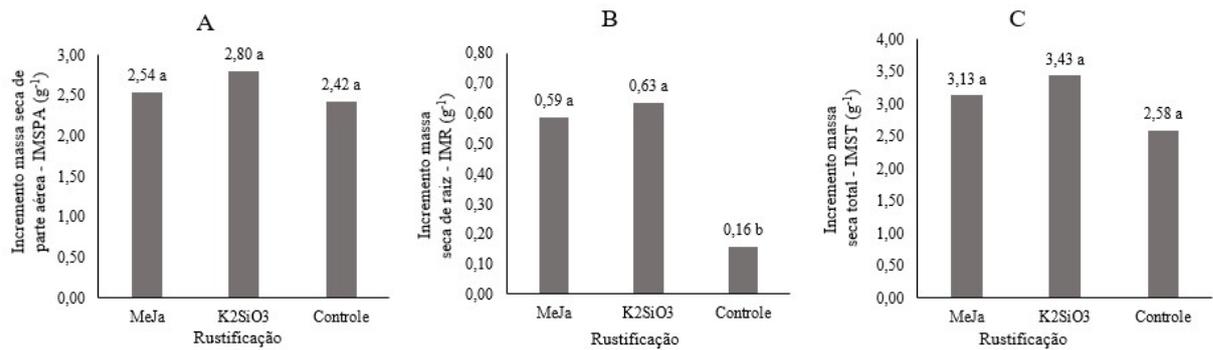


Figura 9. Incrementos massas secas de parte aérea (A), de raiz (B) e total (C) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os parâmetros de crescimento avaliados em mudas de *G. integrifolia* submetidas ao déficit hídrico (Tabela 2) não foram influenciados pelos tratamentos rustificativos metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K₂SiO₃) em comparação com as mudas sem rustificação (controle).

Tabela 2. Análise de crescimento de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 18 dias de déficit hídrico.

	H	DC	AF	MSPA	MSR	MST	IR	PA/R	IQD	RAF	AFE
TRAT	cm	mm	cm ²	-----g ⁻¹ -----			-	-	-	---- cm ² g ⁻¹ ----	
MeJa	40,20	4,97	62,48	2,72	1,14	6,57	8,14	2,40	0,63	9,72	57,85
K ₂ SiO ₃	40,06	5,15	47,75	2,68	1,19	6,54	7,85	2,36	0,64	7,51	46,39
Controle	42,90	4,83	59,57	3,10	1,18	7,37	8,92	2,68	0,64	7,86	48,35
C. V (%)	7,32	9,95	35,76	13,66	23,04	12,86	12,11	21,48	15,59	32,25	25,34

Altura de parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), área foliar (AF), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca total (MST), índice de robustez (IR), relação parte aérea/raiz (PA/R), índice de qualidade de Dickson (IQD), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE).

DISCUSSÃO

Ao estudarem os efeitos da aplicação de jasmonatos na rustificação de mudas, diversos autores indicaram que o uso induz a produção de etileno em diversos órgãos das plantas (CADORIN et al., 2015; HEBERLE et al., 2018, LIMA et al., 2020). O etileno, por sua vez, pode provocar redução de crescimento de plantas por promover, além da redução do transporte de auxinas, a reorganização de microtúbulos e microfibrilas de celulose da parede celular para uma posição longitudinal, resultando em redução de altura e maior espessamento do caule (TAIZ et al., 2017), o que corrobora o maior IDC em mudas de *E. uniflora* tratadas com MeJa.

Cadorin et al. (2015) encontraram redução média de 42% em altura e aumento médio de 102% na taxa de crescimento em diâmetro do coleto, em relação ao tratamento controle, com mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud pulverizadas com metil jasmonato durante quatro ou oito semanas. Herbele et al. (2018) também observaram redução no incremento em altura e aumento no incremento em diâmetro do coleto com aplicações de ácido jasmônico em comparação ao tratamento controle em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Patagonula americana* L.

Cortes et al. (2019) relataram como principais características do ácido jasmônico e seus derivados jasmonatos a capacidade de promover a redução da atividade fotossintética, podendo causar danos estruturais aos cloroplastos como parte da regulação do envelhecimento. Os mesmos autores ainda destacaram que este fitormônio pode estimular a produção de etileno. Essa constatação pode justificar o menor IAF observada para as mudas tratadas com MeJa, visto que o etileno está associado a senescência foliar (Figura 2C).

Corroborando a hipótese que a indução da produção de etileno na planta promove a redução do crescimento em altura e favorece o incremento em diâmetro, Dranski et al. (2013) ao testarem concentrações de ethephon em mudas de *Pachystroma longifolium* (Nees) I.M.Johnst. verificaram redução de até 50% no incremento em altura e aumento de diâmetro do coleto de até 44% entre os tratamentos controle (0 mg L⁻¹) e a concentração de 600 mg L⁻¹.

Por outro lado, Cecatto Júnior et al. (2019) em um trabalho de revisão relataram que os jasmonatos ativam rotas de indução de genes de síntese de compostos de defesas, o que proporciona gasto de metabolitos pelas plantas. Esse desvio de energia para rotas de defesa pode resultar em menor desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017). Ademais o crescimento de plantas afetado pelo aumento de compostos jasmonatos, é devido também ao declínio da taxa fotossintética, associada a supressão da atividade da enzima Rubisco (CECATTO JÚNIOR et al., 2019).

Em contrapartida, na Figura 3B observou-se maiores incrementos de massa seca radicular nas mudas rustificadas com MeJa. De acordo com Binotto et al. (2010) existe uma relação direta positiva entre o crescimento em diâmetro e o incremento radicular. Cadorin et al. (2015) também observaram menores médias de massa seca dos tecidos aéreos, porém sem alterar a taxa de crescimento do sistema radicular de mudas *C. trichotoma* tratadas com metil jasmonato.

Os derivados jasmonatos estão envolvidos no sistema de defesa da planta, interferindo no seu crescimento e desenvolvimento. Como já discutido, o aumento da produção de jasmonato induziu a redução do crescimento em parte aérea como estratégia de defesa, por

diminuição da atividade fotossintética. Em contrapartida, as mudas de *E. uniflora* redirecionaram os produtos da fotossíntese para o desenvolvimento da estrutura radicular.

Suárez et al. (2012) relataram que os reguladores vegetais podem interagir de forma cooperativa ou antagônica, dependendo do estressor. Como já mencionado, o MeJa induz a produção de etileno que também, promove o redirecionamento da planta para o crescimento radicular, como verificado por Dranski et al. (2013) em mudas de *P. longifolium* em que verificaram que a aplicação de ethephon resultou em maior ganho de biomassa radicular, bem como redução na biomassa aérea em comparação as mudas controle.

As mudas de *E. uniflora* rustificadas com K_2SiO_3 não apresentaram diferenças significativas, em relação a testemunha nos incrementos de IH e IAF (Figura 2). Em mudas de *G. integrifolia* a aplicação de silicato de potássio proporcionou incrementos em altura e em área foliar (Figura 8). A aplicação de silicato de potássio tem efeito positivo no crescimento das plantas, propicia maior incremento foliar, aumentando a capacidade fotossintética da muda, podendo justificar o maior crescimento em altura. Sousa et al (2010) relataram que os efeitos benéficos do silicato de potássio são atribuídos ao efeito conjunto de silício e potássio na nutrição e na produção das plantas, em que a camada sílica melhora a arquitetura da planta, promovendo maior ajuste da área fotossintética e o potássio tem papel primordial na fotossíntese, ativando a rubisco e na abertura dos estômatos. Assim o efeito combinado resulta em maior eficiência fotossintética pela planta.

Mudas com maior altura de parte aérea apresentam uma vantagem competitiva, pois podem interceptar mais radiação solar envolvida no processo fotossintético, em locais com maior proporção de vegetação competidora por luz. Porém em condições ambientais limitantes, como déficit hídrico e/ou alta demanda evaporativa, mudas com menor altura ou ainda com menor proporção entre parte aérea e raiz tem melhor adaptação (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018).

Heberle et al. (2018) descreveram que o equilíbrio no crescimento em altura e diâmetro das mudas exerce importante papel na sobrevivência e desenvolvimento nos primeiros anos após o plantio. No processo de rustificação ocorre a redução da velocidade de crescimento aéreo, promovendo equilíbrio com o sistema radicular. Os autores retro mencionados enfatizaram que o diâmetro do coleto deve ser compatível com a altura, para que o desempenho no campo corresponda às expectativas de crescimento e sobrevivência.

Em comparação aos resultados observados na Figura 3, Bezerra et al. (2020) também relataram maior acúmulo de massa seca em mudas de *Euterpe oleracea* Mart. com aplicação de silicato de potássio. Os mesmos autores atribuíram o resultado ao efeito conjunto de silício

e potássio da fonte de adubação e sugeriram que tal efeito aumenta a eficiência fotossintética das mudas, resultando em maiores ganhos de biomassa.

A aplicação de silício nas plantas favorece a maior produção de fotoassimilados, incremento foliar e, conseqüentemente, maior produção de biomassa. Isso ocorre devido a promoção de modificações na estrutura foliar, tornando-as mais eretas e rígidas, favorecendo a maior interceptação solar (BEZERRA et al., 2020). Ademais a aplicação de K_2SiO_3 , fornece diretamente K em sua forma prontamente disponível (K_2O) às plantas, e este elemento está relacionado a regulação da ação das auxinas, contribuindo para o crescimento dos vegetais por favorecer a dominância apical, favorecendo o incremento na matéria seca.

Em mudas de *E. uniflora* submetidas ao déficit hídrico observou-se maior diâmetro de coleto proporcionado pela aplicação de MeJa (Figura 4). Neste sentido, Taiz et al. (2017) descreveram que o ácido jasmônico além de ativar os genes relacionados à defesa, também “desliga” o crescimento. Essa supressão do crescimento induz a realocação de recursos para rotas metabólicas envolvidas na defesa. Em situação estressante a planta interrompe o crescimento em altura e realoca para outras estruturas, como estratégia de sobrevivência, chamada compensação vegetal. Um dos mecanismos de defesa preconiza a produção de compostos envolvidos na estruturação das plantas, como a síntese de lignina, resultando no espessamento da região caulinar e radicular (VANHOLME et al., 2010).

Além das características biométricas relacionadas as avaliações de altura, diâmetro de coleto e massa seca, também foram determinados índices de qualidade, como o índice de robustez, relação parte aérea/raiz e índice de qualidade de Dickson, considerados parâmetros importantes de determinação de qualidade de muda.

Faustino et al. (2022) avaliaram o índice de robustez em mudas de 24 espécies florestais nativas; apesar de não obter efeito significativo estatisticamente, os autores recomendaram que o parâmetro deve ser utilizado nas avaliações das características de qualidade das mudas, em virtude de sua importância, por considerar o equilíbrio de crescimento em altura e diâmetro. Os mesmos autores sugeriram que devem ser estudados padrões para espécies nativas, visto que os valores encontrados em literatura se referem a mudas de espécies exóticas.

Gomes et al. (2019) enfatizaram que a relação PA/R é um parâmetro importante a ser observado, pois mudas de boa qualidade não devem apresentar a parte aérea significativamente maior que a área radicular, visto que resultaria em desequilíbrio dificultando a absorção e transferência de água para a parte aérea principalmente em condições de campo, momento em que há maior exigência hídrica para pleno estabelecimento inicial do plantio.

O IQD é recomendado como indicador da qualidade de mudas, pois considera a robustez e a relação de partição de biomassa da parte aérea e radicular. Os resultados preconizam que quanto maior o IQD, melhor a qualidade das mudas (HEBERLE et al., 2018).

Araújo et al. (2018) enfatizaram que o IQD desejável é obtido nas mudas com menor IR e maior conteúdo de massa radicular. O que significa que a muda apresenta adequada absorção de água e nutrientes, combinada com boa distribuição de biomassa, resultando em desenvolvimento adequado. Mesmo quando submetidas a situação de estresse, mudas com essas características equilibradas utilizam estratégias de defesa, como realocação de biomassa e diminuição da transpiração em tempo adequado, aumentando as chances de sobrevivência.

Na Figura 6A observou-se maiores valores médios de AF, AFE e RAF nas mudas tratadas com silicato de potássio em condição de déficit hídrico. Esses resultados indicaram que a rustificação com K_2SiO_3 proporcionou tolerância das mudas ao estresse hídrico, sendo eficaz na manutenção da capacidade fotossintética.

A área foliar está relacionada a produção de fotoassimilados da planta, pois interfere diretamente na quantidade de luz interceptada pela planta, na fixação de carbono, na perda de água e conseqüentemente, na produção de biomassa. A AF depende do tamanho e da quantidade de folhas presentes, bem como seu tempo de atividade (TAIZ et al., 2017). A determinação da AF é um dos principais indicadores a ser considerado na análise de crescimento das plantas, pois relaciona aspectos da planta e do ambiente, que determinam o seu desenvolvimento (PEIXOTO et al., 2011).

A RAF representa a relação entre a área foliar e a produção de massa seca total da planta, ou seja, expressa a área foliar útil para a fotossíntese. No início do crescimento, as plantas apresentam maiores valores desta relação, pois investem no aumento da área foliar para aumentar a produção fotossintética. Posteriormente, a RAF declina enquanto a planta cresce, em função do auto-sombreamento, com a tendência da diminuição da área foliar útil ou fotossinteticamente ativa, para a produção de matéria seca (PEIXOTO et al., 2011).

A avaliação da área foliar específica (AFE) relaciona a superfície da folha (AF) com a produção da massa seca específica, isto é, da própria folha. Este parâmetro representa quanto de área foliar a planta utiliza para produzir 1 g de massa seca (PEIXOTO et al., 2011). Os autores complementaram que este parâmetro interfere diretamente na RAF, pois a massa seca foliar envolvida na determinação da AFE, constitui-se como a fonte de produção da planta, considerando que as folhas são o centro de produção de matéria seca pelo processo fotossintético, e que o restante da planta depende da produção dessa fitomassa.

Portanto torna-se crucial determinar a área foliar e suas relações para entender o processo de crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente, para planejar manejos de produção até a fase de rustificação e expedição das mudas a campo, uma vez que a AF é um dos fatores determinantes para um desenvolvimento satisfatório da muda, visto que é nas folhas onde se encontra a produção dos fotoassimilados.

Irfan et al. (2023) afirmaram que a adubação silicatada modifica o metabolismo celular e atenua os distúrbios fisiológicos em plantas expostas ao estresse hídrico. O silício aumenta a tolerância das plantas, melhorando a absorção e o transporte de água, mantendo o equilíbrio da água nos tecidos, folhas e caules eretos, a atividade fotossintética e a estrutura do xilema. O silício mantém a integridade estrutural e funcional das membranas celulares em plantas sob estresse hídrico, reduzindo os danos oxidativos pelo aumento das atividades de enzimas antioxidantes.

Cassel et al. (2021) relataram que o silício é um elemento nutricional classificado como benéfico. Este nutriente atua também na defesa das plantas contra estresse bióticos, aumentando a resistência a fungos e insetos-praga, além de aumentar a rigidez e diminuir o acamamento, e abióticos, pois aumenta a tolerância das plantas ao déficit hídrico pela redução da transpiração da planta em detrimento da perda de água. Os autores complementaram que tem se pesquisado maneiras de aplicação do elemento de forma líquida via fertirrigação, em que os silicatos têm se destacado como principais fontes.

Contudo, Zhang et al. (2013) observaram em mudas de *Castanea* spp que a aplicação de silicato de potássio, aumentou o crescimento foliar, mas também aumentou a suscetibilidade ao déficit hídrico. Os autores explicaram que o efeito benéfico foi associado ao aumento das características fotossintéticas em aspectos morfológicos e anatômicos, como folhas maiores e mais estreitas, aprimorando a condutância estomática e a transpiração, contribuindo para aumento da fotossíntese e resistência a altas temperaturas; mas, que simultaneamente aumentaram a perda de água, concluindo que a aplicação de silicato de potássio não aumentou a eficiência do uso da água em plantas de castanha.

As mudas de *G. integrifolia* quando foram submetidas ao déficit hídrico, não houve diferença entre os tratamentos rustificativos e em comparação com as mudas controle. De acordo com Braz et al. (2022), os métodos rustificativos introduzem modificações a planta, como indicadores de rusticidade. Contudo aquelas alterações podem variar em função de fatores genéticos de cada espécie, do estágio fenológico aplicado, além de fatores ambientais. As plantas, especialmente as arbóreas, apresentam mecanismos particulares de defesa, isto é, não existe uma regra geral, as respostas de cada espécie sofrem adaptações diferentes em função

dos estádios de crescimento das mudas, suscetibilidade e tolerância a estresses, regulação dos diversos hormônios envolvidos no crescimento e desenvolvimento e suas interações (sinérgicas ou antagônicas), e ainda com as condições edafoclimáticas.

Após o plantio condições adversas podem comprometer o desempenho das mudas. O estresse por déficit hídrico é um dos principais fatores estudados como limitantes ao desenvolvimento pós plantio. A diminuição da umidade no solo pode levar à desidratação da muda, crescimento mais lento, senescência mais rápida, diminuição da expansão das folhas e da fotossíntese que afetam no tamanho da área foliar (HERCULANO et al., 2022). Deste modo, mecanismos de rustificação na fase de viveiro que ofereçam melhor aclimação das plantas após o plantio devem ser considerados.

De modo geral observou-se que o MeJa e o K_2SiO_3 atuam de maneiras diferentes na rustificação das mudas. O primeiro induz a produção de etileno e resulta na redução da parte aérea e compensa no aumento do diâmetro coleto e realoca maior produção de matéria seca na raiz. O segundo favorece a eficiência fotossintética, resultando em maior área foliar e incrementos na produção de massa seca aérea. Resumidamente, entende-se que ambos proporcionam a rustificação das mudas, contudo acionam rotas metabólicas diferentes.

CONCLUSÕES

Os tratamentos rustificativos proporcionaram alterações na dinâmica de crescimento em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* promovendo adaptações morfo-fisiológicas que podem ser utilizadas como mecanismos de adaptação aos estresses pós plantio.

A rustificação com MeJa promoveu, em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, redução no crescimento vegetativo aéreo, compensando pelo maior incremento diametral e radicular. Por outro lado, a rustificação com K_2SiO_3 favoreceu o desenvolvimento da estrutura de produção fotossintética, promovendo maior crescimento aéreo e produção de biomassa.

Em condições de estresse por falta de água, nas mudas de *G. integrifolia*, os métodos de rustificação estudados não promoveram efeitos significativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A.; TABALDI, L. A.; RORATO, D. G.; TURCHETTO, F.; ZAVISTANOVICZ, T. C.; BERGHETTI, A. L. P.; AIMI, S. C.; TONETTO, T. S.; GASPARIN, E.; KELLING, M. B.; ÁVILA, A. L.; DUTRA, A. F.; MEZZOMO, J. C.; GOMES, D. R.; GRIEBELER, A. M.; SILVA, M. R.; BARBOSA, F. M.;

LIMA, M. S. Caracterização e análise de atributos morfológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. In: ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de sementes e mudas: um enfoque na silvicultura**. Santa Maria: UFSM, 2018. cap. 16, p. 347-365.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2004. 42p.

BEZERRA, J. L. S.; ANDRADE NETO, R. C.; LUNZ, A. M. P.; ARAÚJO, J. M.; ARAÚJO, C. S. Produção de mudas de açazeiro (*euterpe oleracea*) em resposta a diferentes fontes e doses de potássio. **Enciclopédia Biosfera**, v.17, n.33, p. 348-360, 2020.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BOURSCHEID, K.; VIEIRA, N. K. LISBÔA, G. N.; KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. *Eugenia uniflora*. Pitangueira. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: MMA, 2011. Cap. 5, p. 170-177.

BRAZ, H.; RISTAU, A. C. P.; VERA CRUZ, M. S. F.; VITTO, D. C.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas sob restrição hídrica. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 1790-1806, 2022.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CASSEL, J. L.; GYSI, T.; ROTHER, G. M.; PIMENTA, B. D.; LUDWIG, R. L.; SANTOS, D. B. Benefícios da aplicação de silício em plantas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 6601-6615, 2021.

CECATTO JÚNIOR, R.; SUSS, A. D.; BARTZEN, B. T.; BAZEI, G. L.; GUIMARÃES, V. F.; BULEGON, L. G. Jasmonatos nas plantas e utilização na agricultura. In: **Análise crítica das ciências biológicas e da natureza**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 320-334.

CHAGAS, D. M. C.; ALVES, J. H. M.; AZEVEDO, O. A.; FIORESE, C. H. U.; BINDELI, G. M.; SILVA-FILHO, G. *Gallesia integrifolia*: Um exemplo da relevância do conhecimento popular sobre plantas, indicador da importância da preservação dos saberes etnobotânicos e etnofarmacológicos. **Revista Agrária Acadêmica**, v.3, n.3, p. 62-71, 2020.

CLOSE, D. C. A review of ecophysiological - based seedling specifications for temperate Australian eucalypt plantations. **New Forests**, v. 43, n. 6, p. 739-753, 2012.

CORTES, J. S. A.; JOVANNA, A. G.; DAVID, A. C. I.; MELIDA, S. M. R. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. **NOVA**, v. 17, n. 32, p. 109-129, 2019.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, Mattawa, n.36, p.10-13, 1960.

DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; JACOBS, D. F. Effect of ethephon on hardening of *Pachystroma longifolium* seedlings. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p. 401-407, 2013.

FAUSTINO, I. S.; JACOVINE, L. A. G.; MORAIS JÚNIOR, V. T. M.; ALVES, E. B. B. M.; ROCHA, S. J. S. S.; FRANÇA, L. C. J.; OLIVEIRA, K.; OLIVEIRA, T. A.; ROMERO, F. M. B.; PAIVA, H. N. Avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. In: OLIVEIRA, R. J. **Recursos hídricos: gestão, planejamento e técnicas em pesquisa**. 1 ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022. v. 2, p. 26-39.

GOMES, S. H. M.; GONÇALVES, F. B.; FERREIRA, R. A.; PEREIRA, F. R. M.; RIBEIRO, M. M. J. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, p. 01-10, 2019.

GROSSNICKLE, S. C. MACDONALD, J. E. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. **Forests**, v. 9, n. 283, p. 1-23, 2018.

HEBERLE, K.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Morfometria e lignificação em função da aplicação de ácido jasmônico em mudas de ipê roxo e guajuvira. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 317-325, 2018.

HERCULANO, E. V. A.; SILVA, V. F.; RIBEIRO, I. R.; MENDONÇA, L. F. M.; FARIAS JÚNIOR, J. A.; MARTINS, W. A. Crescimento de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.02, p. 913-925, 2022.

IRFAN, M.; MAQSOOD, M.; A.; REHMAN, H. U.; MAHBOOB, W.; SARWAR, N.; HAFEEZ, O. B. A.; HUSSAIN, S.; ERCISLI, S.; AKHTAR, M.; AZIZ, T. Silicon Nutrition in Plants under Water-Deficit Conditions: Overview and Prospects. **Water**, v. 15, n. 739, p. 1-20, 2023.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; LOPES, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; GURGACZ, F.; BORSOI, A. Lignin and stem flexibility in eucalyptus seedlings subjected to hardening. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 352-366, 2020.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina: Ed. Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. 210 p.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T.V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p. 51-76, 2011.

PIETERSE, C. M.; VAN DER DOES, D.; ZAMIOUDIS, C.; LEON-REYES, A.; VAN WEES, S. C. Hormonal modulation of plant immunity. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 28, n. 1, p. 489–521, 2012.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 23 de abril de 2023.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Ed. Embrapa, 2013. 353 p.

SOUSA, J. V.; RODRIGUES, C. R.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, P. C.; RODRIGUES, T. M.; BRITO, C. H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 502-513, 2010.

SUÁREZ, L. C.; FONSECA, A. A.; FERNÁNDEZ, R. Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. **Cultivos Tropicales**, v. 33, n. 3, p. 47-56, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E., MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 954p.

VANHOLME, R.; DEMEDTS, B.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOERJAN, W. Lignin biosynthesis and structure. **Plant Physiology**, v. 153, n. 3, p. 895–905, 2010.

ZHANG, C.; PEREIRA, J. M. M.; CORREIA, C.; COUTINHO, J.; GONÇALVES, A.; GUEDES, A.; LARANJO, J. G. Foliar application of Sili-K® increases chestnut (*Castanea* spp.) growth and photosynthesis, simultaneously increasing susceptibility to water deficit. **Plant Soil**, v. 365, p. 211–225, 2013.

CAPÍTULO II: ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE DUAS ESPÉCIES LENHOSAS APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

RESUMO

A disponibilidade de mudas de qualidade é um requisito crítico para implementar com sucesso programas de restauração de áreas degradadas, principalmente, por reduzir os custos operacionais. A rustificação em viveiros é aplicada para aumentar as chances de sobrevivência das mudas nas condições do campo. A partir da preconização da hipótese que a rustificação química, atua como indutor dos sistemas de defesas das plantas e fornecem maior tolerância as condições de campo, proporcionando ajustes nos mecanismos fisiológicos das mudas. Este trabalho objetivou avaliar as alterações fisiológicas e a eficiência do uso da água em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* rustificadas quimicamente com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3). O experimento foi conduzido no período de março a agosto de 2022, em ambiente de cultivo protegido pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos, com quatro plantas cada. Os tratamentos consistiram em $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ de MeJa ou 5 mL L^{-1} de K_2SiO_3 , além do tratamento controle. Ao final da imposição dos tratamentos as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de três litros, preenchidos com solo local, por 30 dias (*E. uniflora*) e 18 dias (*G. integrifolia*). Foram avaliados os seguintes parâmetros: massa fresca total (MFT), clorofila a (Cl_{o_a}), clorofila b (Cl_{o_b}), clorofila total ($Cl_{o_{total}}$), perda de eletrólitos radiculares (PER), teores de lignina na raiz (LR) e no caule (LC), massa seca de parte aérea (MSPA), de raiz (MSR) e total (MST) e eficiência no uso da água (EUA). A rustificação química em mudas de *E. uniflora* proporcionou maiores médias de massas secas. Em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com MeJa proporcionou aumento de 30% e 26%, respectivamente, para Cl_{o_a} e $Cl_{o_{total}}$ em relação as mudas controle. Em mudas de *E. uniflora* o menor valor de PER foi obtido com MeJa. Já em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com K_2SiO_3 proporcionou redução nas médias de PER. A rustificação com K_2SiO_3 promoveu maior média de LC em mudas de *E. uniflora*. Em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com K_2SiO_3 proporcionou os maiores incrementos nos teores de LC e LR. Para as duas espécies estudadas a rustificação com K_2SiO_3 resultou em maior EUA. Em mudas de *G. integrifolia* não houve correlação significativa entre os atributos. Os resultados da análise de trilha revelaram que a MFT se apresentou como atributo de maior influência nas correlações, tanto nas relações por efeitos diretos quanto por efeitos indiretos. A rustificação química com

MeJa e K_2SiO_3 promoveram alterações fisiológicas nas mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, em que atuam como sinalizadores dos mecanismos de defesa das plantas.

Palavras-chave: *Eugenia uniflora*. *Gallesia integrifolia*. Silicato de potássio. Metil jasmonato. Lignina. Eficiência no uso da água.

PHYSIOLOGICAL CHANGES IN SEEDLINGS OF TWO WOODY SPECIES AFTER CHEMICAL HARDENING

ABSTRACT

The availability of quality seedlings is a critical requirement to successfully implement restoration programs for degraded areas, mainly because it reduces operational costs. Hardening in nurseries is applied to increase the chances of seedling survival under field conditions. Based on the hypothesis that chemical hardening acts as an inducer of plant defense systems and provides greater tolerance to field conditions, providing adjustments in the physiological mechanisms of seedlings. This research aimed to evaluate the physiological changes and water use efficiency in *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings chemically hardening with methyl jasmonate (MeJa) and potassium silicate (K_2SiO_3). The experiment was conducted from March to August 2022, in a protected cultivation environment belonging to the State University of Western Paraná. The experimental design used was a randomized block design, consisting of three treatments and seven blocks, with four plants each. The treatments consisted of 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of MeJa or 5 mL L^{-1} of K_2SiO_3 , in addition to the control treatment. At the end of the treatments, the seedlings were transplanted into pots with a capacity of three liters, filled with local soil, for 30 days (*E. uniflora*) and 18 days (*G. integrifolia*). The following parameters were evaluated: total fresh mass (MFT), chlorophyll a (Cl_{o_a}), chlorophyll b (Cl_{o_b}), total chlorophyll ($Cl_{o_{total}}$), loss of root electrolytes (PER), lignin content in the root (LR) and in the stem (LC), dry mass of shoots (MSPA), roots (MSR) and total (MST) and water use efficiency (EUA). Chemical hardening in *E. uniflora* seedlings provided higher average dry masses. In *G. integrifolia* seedlings, hardening with MeJa provided an increase of 30% and 26%, respectively, for Cl_{o_a} and $Cl_{o_{total}}$ in relation to control seedlings. In *E. uniflora* seedlings, the lowest PER value was obtained with MeJa. In *G. integrifolia* seedlings, hardening with K_2SiO_3 provided a reduction in PER averages. Hardening with K_2SiO_3 promoted a higher mean LC in *E. uniflora* seedlings. In *G. integrifolia* seedlings, hardening with K_2SiO_3 provided the greatest increases in LC and LR contents. For the two species studied, hardening with K_2SiO_3 resulted in greater

EUA. In *G. integrifolia* seedlings there was no significant correlation between attributes. The results of the path analysis revealed that MFT was the attribute with the greatest influence on correlations, both in relationships due to direct effects and indirect effects. Chemical hardening with MeJa and K_2SiO_3 promoted physiological changes in *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings, which act as signals for the plants' defense mechanisms.

Keywords: *Eugenia uniflora*. *Gallesia integrifolia*. Potassium silicate. Methyl jasmonate. Lignina. Water use efficiency.

INTRODUÇÃO

Eugenia uniflora L., pertencente à família Myrtaceae, popularmente conhecida como pitangueira, é um arbusto (2-4 m de altura) ou pequena árvore (6-9 m de altura) nativa do Brasil, mas também pode ser encontrada no Paraguai, Argentina e Uruguai. Possui potencial econômico de uso como árvore ornamental em jardins ou cultivada em pomares domésticos, o fruto é apreciado para o consumo *in natura*, e para a fabricação de polpas, sucos, sorvete, picolé, geleia, licor e vinho, a folha e a casca têm propriedades medicinais, a polpa dos frutos e os óleos essenciais são utilizados pela indústria de cosméticos, a planta é recomendada para uso como cerca viva e na arborização urbana. Além disso, a espécie é ecologicamente importante como fonte de alimento para a fauna local, sendo recomendada para plantio em áreas de restauração florestal (BOURSCHEID et al., 2011; FANTINEL et al, 2022).

Gallesia integrifolia (Spreng) Harms, pertencente à família Phytolaccaceae, é conhecida popularmente como pau d'alho, devido ao seu característico odor forte de alho. Ocorre nas formações florestais, desde o Ceará até o Paraná, também ocorre de forma natural na Bolívia e no Peru, com ampla distribuição geográfica. A árvore pode atingir de 5 a 30 metros de altura, é perenifólia, heliófita, seletiva higrófila. A espécie é indicada para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas por apresentar crescimento rápido e auxiliar na regeneração natural, devido à intensa produção e dispersão de frutos anemocóricos. Possuem madeira de múltiplo uso, empregada principalmente em serrarias e produção de energia, prestando-se também para a fabricação de celulose e papel. (CARVALHO, 2003). Chagas et al. (2020) em um trabalho de revisão destacaram que a espécie é um bom indicador da qualidade do solo, pois ocorre preferencialmente em solos profundos, úmidos e de alta fertilidade, *G. integrifolia* também possui propriedades medicinais.

Nos últimos anos, líderes internacionais se comprometeram a restaurar milhões de hectares de áreas desmatadas e degradadas. Deste modo a disponibilidade de mudas de

qualidade é uma consideração crucial, visto que este é um requisito crítico por implementar com sucesso programas de restauração de áreas degradadas, principalmente, por reduzir os custos operacionais (HAASE; DAVIS, 2017).

A aclimação de plantas ou rustificação em viveiros são aplicados para aumentar as chances de sobrevivência das mudas nas condições de campo. Essas práticas são baseadas no conceito de aumento lento do estresse para induzir ajustes fisiológicos nas plantas, desenvolvendo assim proteção contra condições potencialmente estressantes. Dentre as práticas usuais destacam-se, a redução do fotoperíodo, temperatura, irrigação e modificação do regime de fertilização (GROSSNICKLE, 2012).

Dentre as práticas de rustificação química, a aplicação de reguladores vegetais tem se confirmado como eficiente para aumentar a rusticidade durante a formação de mudas. O ácido jasmônico e seus derivados jasmonatos são reguladores endógenos do crescimento vegetal que modulam a senescência de plantas, abscisão foliar, desenvolvimento de embriões e mecanismo de defesa, agindo como sinalizadores de estresse (TAIZ et al., 2017).

O silicato de potássio é uma das principais vias de aplicação de silício nas plantas. O produto, além de fornecer silício (Si), considerado elemento benéfico às plantas, também fornece potássio, elemento essencial envolvido em diversos processos metabólicos. Ademais, a deposição de Si nos tecidos vegetais está frequentemente associada ao mecanismo de defesa, melhorando a resiliência sob condições de estresse (AHMED et al., 2023).

Guimarães et al. (2010) destacaram que o metil jasmonato (MeJa) e o silicato de potássio (K_2SiO_3) atuam com indutores do sistema de defesa da planta. Segundo os autores, MeJa proporciona o acúmulo de metabólitos secundários. O silício promove o aumento da atividade enzimática, como peroxidases e polifenoloxidase, corroborando a hipótese do envolvimento na indução das reações de defesa da planta.

A lignina é um polímero altamente ramificado de compostos fenilpropanóides e um componente da parede celular vegetal. Depois da celulose, a lignina é o segundo composto orgânico mais abundante nas plantas, representando aproximadamente 30% do carbono orgânico da biosfera (MOURA et al., 2010). Os mesmos autores descreveram que o processo de lignificação surgiu há milhões de anos, entre as possíveis estratégias que permitiram que as plantas se adaptassem à vida terrestre. A maior lignificação da parede celular, fornece uma barreira contra vários estresses bióticos e abióticos (HAN et al., 2022).

Diante do exposto acima, supõe-se que o incremento no teor de lignina, devido a importância deste polímero para o desenvolvimento das plantas, influencia na eficiência do uso

da água e, conseqüentemente, na produção de biomassa das plantas. Deste modo, faz-se necessário o aprofundamento de estudos dessas relações.

A partir da preconização da hipótese que a rustificação química com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3), atuam como indutores dos sistemas de defesas das plantas e fornecem maior tolerância as condições de campo, proporcionando ajustes nos mecanismos fisiológicos das mudas. Este trabalho objetivou avaliar as alterações fisiológicas e a eficiência do uso da água em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* rustificadas quimicamente com MeJa e K_2SiO_3 . Adicionalmente, objetivou-se determinar as correlações entre o incremento no conteúdo de lignina e a maior produção de biomassa e maior eficiência no uso da água.

MATERIAL E MÉTODOS

As mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia* foram adquiridas no viveiro florestal do Instituto Água e Terra (IAT), localizado no município de Toledo-PR. As sementes foram colhidas de árvores matrizes de remanescentes florestais, localizadas há pelo menos, 100 metros de distância entre si. Essas mudas foram produzidas em tubetes de polipropileno com capacidade para 180 cm³ de substrato. Para a produção das mudas foi utilizado substrato comercial, a base de casca de pinus e adicionado adubo de liberação controlada de macro e micronutrientes em até seis meses (Basacote® Mini 6 M 16-8-12(+2)).

A pesquisa foi conduzida no período de março de 2021 a abril de 2023, na Estação de Cultivo Protegido e Controle Biológico “Professor Dr. Mário César Lopes” pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Paraná (latitude de 24° 33’ 24’’ S, longitude de 54° 05’ 67’’ W e altitude de 420 m). De acordo com a classificação climática proposta por Koppen, o clima é tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano (1.600 a 1.800 mm) e verões quentes, a temperatura do ar média anual varia entre 22 e 23 °C e a umidade relativa do ar entre 70 e 75% (NITSCHKE et al., 2019).

No período supramencionado foram realizados experimentos pré-testes (não contemplados neste trabalho de tese) para determinação de doses de metil jasmonatos e silicato de potássio recomendados para as mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*. Vale mencionar que para os experimentos realizados, os lotes de mudas foram adquiridos no viveiro do IAT em períodos diferentes, de acordo com a fase da pesquisa.

O experimento com métodos de rustificação química (aplicação de metil jasmonato e silicato de potássio) em mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*, foi conduzido no período de março a agosto de 2022. Antes das aplicações dos tratamentos, as mudas passaram por período de aclimação por aproximadamente 60 dias em ambiente protegido não climatizado, com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV, de 150 μ de espessura, equivalente a 80% de transmissividade. Durante esse período, foram mantidas sob irrigação por aspersão com lâmina média de 4,0 mm. A adubação foi realizada com solução nutritiva a base de fertilizante NPK na formulação 10-15-15, conforme a necessidade.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos, com quatro plantas cada. Os tratamentos consistiram em 100 μ mol L⁻¹ de metil jasmonato (MeJa) ou 5 mL L⁻¹ de silicato de potássio (K₂SiO₃), ambos diluídos em água, além do tratamento controle (sem rustificação).

Para o silicato de potássio, o produto comercial utilizado foi o Flex Silício Fertilizer® que contém em sua composição 12% de K₂O e 12% de Silício, solúvel em água. Nas rustificações químicas foi adicionado às soluções um tensoativo não iônico para melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, reduzindo a tensão superficial das gotas e o ângulo de contato destas com a superfície da folha. O produto utilizado foi o Agral-Syngenta®, seguindo as orientações do fabricante.

Os produtos foram aplicados, separadamente em cada lote, uma vez por semana, durante quatro semanas por meio de pulverizações foliares, aplicando-se, em média, 10 mL da solução por muda (definida por prévia calibração com água) até atingir o ponto de escorrimento, utilizando-se bomba costal manual. Durante o período das aplicações dos tratamentos, a lâmina de irrigação de 4 mm, foi aplicada diariamente, três vezes ao dia e as aplicações foram realizadas ao final do período vespertino, após a última irrigação.

Ao final da imposição dos tratamentos as mudas permaneceram em bandejas com tubetes por mais duas semanas. Posteriormente, foram transplantadas para vasos com capacidade de três litros, preenchidos com solo local (Tabela 1), classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013) e alocados em bancadas fora do alcance do sistema de irrigação do ambiente. Por ocasião da instalação, o solo foi irrigado com lâmina de água de 1,5 L. As mudas permaneceram em aclimação nos vasos em cultivo protegido, por 16 dias, período no qual foram irrigadas com 0,5 L a cada dois dias.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso.

Amostra	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
LVef	.....cmol/dm ³.....			.....mg/dm ³			
	0,14	2,60	0,70	24,00	17,60	12,00	0,70
Amostra	Argila	Silte	Areia	V	m	pH	MO
LVef	.....g/kg.....			.....%.....		CaCl	g/dm ³
	492	392	116	54,0	0,0	5,3	4,44

Legenda: Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (MO).

Após o período de aclimação, as mudas foram novamente irrigadas com 1,5 L de água permanecendo em vasos por 30 dias (*E. uniflora*) e 18 dias (*G. integrifolia*). Durante aquele período a massa dos vasos foi quantificada a cada dois dias, sempre ao final do período vespertino, com balança digital (capacidade para 30 kg ± 0,005 kg) a fim de determinar a perda de água (evapotranspiração). As mudas de ambas as espécies foram irrigadas com base na reposição da quantidade de água perdida, com a mesma frequência de dois dias. Para encerramento do experimento, adotou-se como critério o momento em que não se observou diferença na perda de água (pesagem dos vasos das mudas), além de sintomas visuais como amarelecimento e murchamento foliar, de mudas sob déficit hídrico conduzidas concomitantemente (dados não analisados).

Para determinação da eficiência no uso da água (EUA) foi utilizada a metodologia adaptada de Abreu et al. (2015). Foram avaliadas a massa seca inicial (MSI) das plantas rustificadas e a massa seca final (MSF - após crescimento em vaso). Para avaliação de MSI e MSF, uma amostragem de mudas de cada tratamento foi separada em dois lotes, em que um lote foi avaliado antes da implantação em vasos e a segunda amostragem foi avaliada após o desenvolvimento em vaso. Também se determinou a evapotranspiração total (ET) das mudas, por meio das determinações de massa dos vasos. A EUA, representa a quantidade de água necessária para a produção de 1 kg de massa seca ($\text{kg}_{\text{água}} \text{kg}^{-1}_{\text{massa seca}}$), calculada por meio da Equação 1:

$$\text{EUA} = \frac{\text{ET}}{\text{MSF}-\text{M}} \quad \text{Eq. 1}$$

Ao final do período de crescimento em vasos foram avaliados os seguintes parâmetros: massa fresca total (MFT - g⁻¹), clorofila a (Cl_a - μmol m²), clorofila b (Cl_b - μmol m²), clorofila total (Cl_{total} - μmol m²), perda de eletrólitos radiculares (PER - %), teores de lignina na raiz (LR

- g kg^{-1}) e no caule (LC - g kg^{-1}), massa seca de parte aérea (MSPA - g^{-1}), massa seca de raiz (MSR - g^{-1}) e massa seca total (MST - g^{-1}).

Para determinação da massa fresca as plantas foram seccionadas em parte aérea e raiz, as raízes foram lavadas para retirada do solo. Em seguida as partes foram levadas ao laboratório e deixadas em temperatura ambiente para evaporação do excesso de umidade. Posteriormente foram pesadas em balança analítica de precisão, a MFT foi obtida pela soma dos valores de massa fresca de parte aérea e massa fresca de raiz, expressa em g^{-1} .

Os pigmentos clorofilianos foram determinados seguindo-se as metodologias adaptadas de Arnon (1949) e Barbieri et al. (2010) com a supressão das fases de trituração e centrifugação. Amostras foliares foram coletadas no terço médio das mudas, nas folhas expandidas e fotossinteticamente ativas e foram determinados os teores de clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b) e clorofila total (Cl_{total}).

A perda de eletrólitos radiculares (PER) foi obtida utilizando-se o método de Wilner (1955). Inicialmente as raízes das mudas foram lavadas com água corrente e em seguida com água deionizada. Posteriormente, as porções média e central das raízes foram removidas e mantidas as radículas com diâmetro menor que 2 mm, localizadas no terço superior. Após foram acondicionadas em recipiente com 20 mL de água deionizada e levadas a BOD, para controle da temperatura a 20 °C, por 24 horas. Em seguida foi realizada a leitura da condutividade elétrica das raízes vivas (C_{viva}), com uso de um condutivímetro (modelo CD12/Bel Engineering®). Posteriormente, a solução foi autoclavada a 100 °C por 10 minutos, depois foi mantida à temperatura ambiente, com a finalidade de resfriar a solução, e quantificada a condutividade das raízes mortas (C_{morta}).

Para quantificação dos teores de lignina, amostras de caules e raízes foram secas em estufa de circulação de ar a 60 °C por 72 horas, moídos em moinho tipo Willye, com peneira de malha 40 mesh seguindo a metodologia de Van Soest (1994). Posteriormente, amostras de 0,5 g de tecido vegetal foram acondicionadas em sacos de TNT e selados em máquina seladora. Os sacos foram acondicionados em frascos plásticos com capacidade de 1,0 L. em seguida, uma solução detergente ácida, preparada anteriormente, com 20 g de Brometo de cetiltrimetil amônio e 27,4 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, diluídos em 1,0 L de água, foi adicionada aos recipientes, na proporção de 40 mL por saco. Posteriormente, os frascos foram acondicionados em autoclave a 100 °C por 1 hora. Depois, os sacos foram lavados em água corrente, alternando em água quente e fria e imersa por 5 minutos em 30 mL de acetona P.A. Após, o material foi lavado e seco em estufa a 105 °C por 8 horas e pesado quando as amostras atingiram a temperatura ambiente. Para a extração, os sacos foram imersos por 3 horas em 2L

de H_2SO_4 a 72%. Posteriormente, as amostras foram lavadas em água corrente e em seguida o material foi levado à estufa, durante 8 horas a 105 °C e posteriormente pesados. Após a pesagem, as amostras foram depositadas em cadinhos de porcelana e submetidos à carbonização em mufla a 550 °C por 3 h. Ao término do procedimento, realizou-se a última pesagem do material resultante da carbonização. As concentrações de lignina foram expressas em g kg^{-1} .

Para determinação das massas secas (g^{-1}), as mudas foram separadas em parte aérea (folhas e caule) e raiz, levadas à secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C até massa constante. A massa seca total (MST) foi obtida pela soma de MSPA e MSR.

Os dados foram analisados quanto a normalidade de distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e quanto a normalidade da variância pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As correlações entre as massas fresca (MFT) e seca (MST) totais, eficiência no uso da água (EUA) e teores de lignina no caule (LR) e na raiz (LR) foram analisadas. Para a avaliação da significância da correlação foi determinado o coeficiente de Pearson (r). Para avaliação qualitativa do coeficiente r , adotou-se o critério estabelecido por Callegari-Jacques (2003), onde: se $0,00 < r < 0,30$, há correlação linear fraca; se $0,30 \leq r < 0,60$, existe correlação linear moderada; se $0,60 \leq r < 0,90$, há uma forte correlação linear; se $0,90 \leq r < 1,00$, há uma correlação linear muito forte.

As correlações foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha, em que se elencou como variáveis básicas os teores de lignina (LR e LC) e como variáveis explicativas EUA, MST e MFT.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico R v. 4.2.2 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade de mudas pode ser avaliada por atributos morfológicos, baseados nos aspectos fenotípicos, e por atributos fisiológicos, que são definidos internamente na planta. A produção de matéria seca tem sido considerada um dos melhores parâmetros para caracterizar a qualidade de mudas (ELOY et al., 2013). A matéria seca total constitui uma boa indicação da capacidade de resistência das mudas as condições de campo, pois o desenvolvimento das plantas depende da conversão da energia solar interceptada em quantidades crescentes de

carboidratos, sendo o crescimento em massa seca decorrente do acúmulo dessas substâncias nos vegetais (ATAIDE et al., 2010).

As mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3) apresentaram médias de massas secas maiores do que as mudas sem rustificação (controle). No entanto, com as mudas de *G. integrifolia* não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os tratamentos rustificativos e as mudas controle (Tabela 2).

Tabela 2. Massa seca de parte aérea (A), massa seca de raiz (B) e massa seca total (C) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

<i>E. uniflora</i>			
Rustificação	MSPA	MSR	MST
	-----g ⁻¹ -----		
MeJa	5,49 b	2,81 a	8,30 a
K_2SiO_3	6,70 a	2,72 a	9,42 a
controle	4,60 c	1,63 b	6,23 b
CV (%)	8.07	17.09	7.91
<i>G. integrifolia</i>			
Rustificação	MSPA	MSR	MST
	-----g ⁻¹ -----		
MeJa	4,09 a	1,60 a	5,69 a
K_2SiO_3	4,23 a	1,64 a	5,87 a
controle	3,98 a	1,44 a	5,43 a
CV (%)	13.15	10.91	10.87

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

G. integrifolia pertence ao grupo inicial da sucessão (pioneiras), deste modo apresenta características de maior rusticidade inerentes das espécies do grupo. Assim, possivelmente, justificando a ausência de efeitos significativos dos tratamentos rustificativos nas características de massa seca das mudas.

A rustificação química de *E. uniflora* com K_2SiO_3 resultou em um incremento na massa seca de parte aérea (MSPA) 31% maior que as mudas controle. Para as massas secas de raiz (MSR) e total (MST) os tratamentos rustificativos foram semelhantes entre si ($P > 0,05$) e maiores que nas mudas controle.

O aumento na produção de biomassa com a adição de silício, pode ser explicado, pelo fato deste elemento, quando absorvido pela planta se depositar na epiderme, formando uma “cutícula” de dupla camada”, o que poderia aumentar a resistência da parede celular, tornando

a planta mais ereta e reta, com folhas alongadas. Além disso, o silício pode aumentar o teor de clorofila e otimizar a condição de luz, favorecendo a fotossíntese (MORAES et al., 2022).

Araújo et al. (2018) explicaram que a matéria seca representa o produto do processo fotossintético na planta. A MST também representa um indicativo de qualidade de mudas, em que os maiores valores sugerem superioridade da técnica de manejo utilizada no viveiro. A MSPA indica a rusticidade das mudas, enquanto a MSR pode ser utilizada para estimar a sobrevivência e o crescimento inicial das plantas no campo, pois plantas com raízes mais desenvolvidas terão maior capacidade de aclimatação às novas condições encontradas após o plantio (AVELINO et al., 2021). Além disso, o sistema radicular apresenta função importante após o plantio, por estabelecer o contato com o solo, o mais rápido possível, e dar início aos processos de absorção de água e nutrientes.

Os pigmentos fotossintéticos influenciam, diretamente, na produção de matéria seca das plantas. Estes pigmentos são estruturas químicas instáveis e facilmente degradáveis, podendo alterar a qualidade e percepção luminosa dos vegetais. As plantas podem passar por condições de estresse e modificar a quantidade de pigmentos fotossintéticos. Portanto, a determinação dos teores de pigmentos foliares é importante para compreender a resposta fisiológica das plantas em função dos diferentes manejos ou fatores ambientais que influenciam a atividade fotossintética e, conseqüentemente, o potencial de crescimento, desenvolvimento e produção (THIESENA et al., 2017).

Os teores de pigmentos clorofilianos em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* estão apresentados na Tabela 3. Para as médias dos teores de clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b) e clorofila total (Cl_{total}) em mudas de *E. uniflora* não houve diferenças entre os tratamentos.

Tabela 3. Teores de clorofila a (Cl_a), clorofila b (Cl_b) e clorofila total (Cl_{total}) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

<i>E. uniflora</i>			
Rustificação	Cl_a	Cl_b	Cl_{total}
	$\mu mol m^2$		
MeJa	73,98 a	20,52 a	94,5 a
K_2SiO_3	69,63 a	18,80 a	88,43 a
controle	72,00 a	25,12 a	97,12 a
CV (%)	13,21	9,53	11,64
<i>G. integrifolia</i>			
Rustificação	Cl_a	Cl_b	Cl_{total}
	$\mu mol m^2$		
MeJa	91,71 a	30,20 a	121,91 a
K_2SiO_3	87,82 ab	27,24 a	115,06 ab
controle	64,40 b	25,27 a	89,67 b
CV (%)	15,96	10,16	13,39

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com MeJa proporcionou aumento de 30% e 26%, respectivamente, para Cl_a e Cl_{total} em relação as mudas controle (Tabela 3). Para as médias de Cl_b não efeito significativo ($P > 0,05$) entre os tratamentos.

Os pigmentos fotossintéticos são responsáveis pela absorção da energia luminosa. Para conseguir absorver essa energia e, posteriormente, convertê-la em compostos de carbono essenciais ao pleno funcionamento do metabolismo e crescimento, o aparato fotossintético vegetal utiliza os pigmentos, clorofilas a e b e os carotenóides que são responsáveis pela absorção de luz em diferentes comprimentos de ondas (RORATO et al., 2018). A clorofila a é o pigmento responsável por realizar a fase fotoquímica da fotossíntese, enquanto os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios (TAIZ et al., 2017).

Mubeen et al. (2023) observaram aumentos nos teores de pigmentos fotossintéticos sob a influência de MeJA em plantas de *Silybum marianum*. Os autores complementaram que o MeJA é considerado uma molécula sinalizadora que estimula o acúmulo de fitocompostos essenciais, incluindo clorofila e carotenóides.

Sirhindi et al. (2020) confirmaram que a aplicação exógena de ácido jasmônico (AJ) aumentou os teores de pigmentos em *Brassica oleracea* L. e melhorou a eficiência fotossintética. O aumento do conteúdo de pigmentos clorofilianos foi atribuído à melhoria nas

atividades de enzimas envolvidas na biossíntese de clorofila, proporcionada pelo regulador vegetal. Os autores destacaram que o AJ aumenta a eficiência fotossintética pelo incremento do teor de clorofila a (Cl_a), e que este pigmento é o doador imediato de fótons para os centros de reação do fotossistema II e fotossistema I.

Na Figura 1 estão apresentadas as médias de perdas de eletrólitos radiculares (PER) em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* em função dos tratamentos. Em mudas de *E. uniflora* o menor valor de PER foi calculado pela rustificação com MeJa (Figura 1A). Já em mudas de *G. integrifolia* (Figura 2B) a rustificação com K_2SiO_3 reduziu PER em comparação com as mudas rustificadas com MeJa.

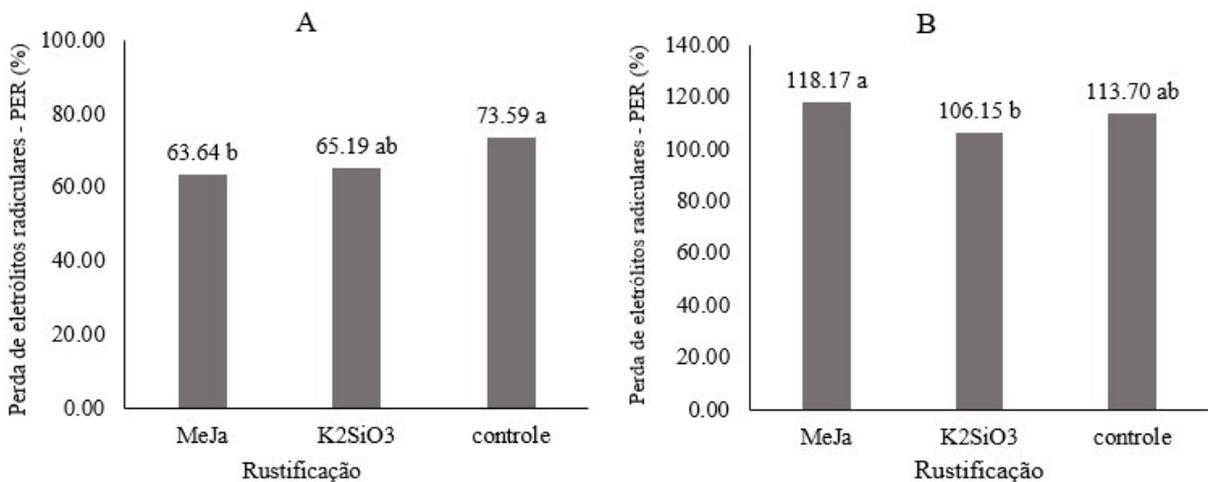


Figura 1. Perda de eletrólitos radiculares em mudas de *E. uniflora* (A) e *G. integrifolia* (B) rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Cadorin et al. (2021) observaram redução da PER em mudas de *Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sandwith tratadas com ácido jasmônico, em relação as mudas controle. Os autores destacaram que as mudas rustificadas têm maior resistência ao estresse pós-plantio, mantendo a integridade da membrana das raízes mais finas.

A perda da propriedade de permeabilidade seletiva da membrana plasmática pode ser considerada como o último estágio em termos de estresse para a planta, uma série de outros mecanismos de defesa incluindo a ação de enzimas específicas já foram acionadas para tentar restabelecer o metabolismo, entretanto, sem êxito. Quando as plantas são submetidas a situações de estresse ocorrem alterações fisiológicas que resultam no extravasamento de íons moleculares, por consequência da perda de seletividade da membrana (LANDIS et al., 2010). Deste modo, a maior perda de eletrólitos de mudas é um indicador de menor qualidade.

As plantas lenhosas devido a sua característica perene estão mais expostas a estresses abióticos. No entanto, ao longo da evolução desenvolveram uma série de vias de regulação específicas em mecanismos fisiológicos e moleculares para lidar com ambientes adversos, como maior lignificação da parede celular, que não apenas fornece suporte mecânico, mas também fornece uma barreira contra vários estresses bióticos e abióticos (HAN et al., 2022).

Os teores de lignina no caule (LC) e na raiz (LR) de mudas *E. uniflora* rustificadas com MeJa, K_2SiO_3 e sem rustificação estão apresentados na Figura 2. A rustificação com K_2SiO_3 promoveu maior média de LC 188,96 $g\ kg^{-1}$ (Figura 2A), enquanto com as médias de LR (Figura 2B) não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os tratamentos.

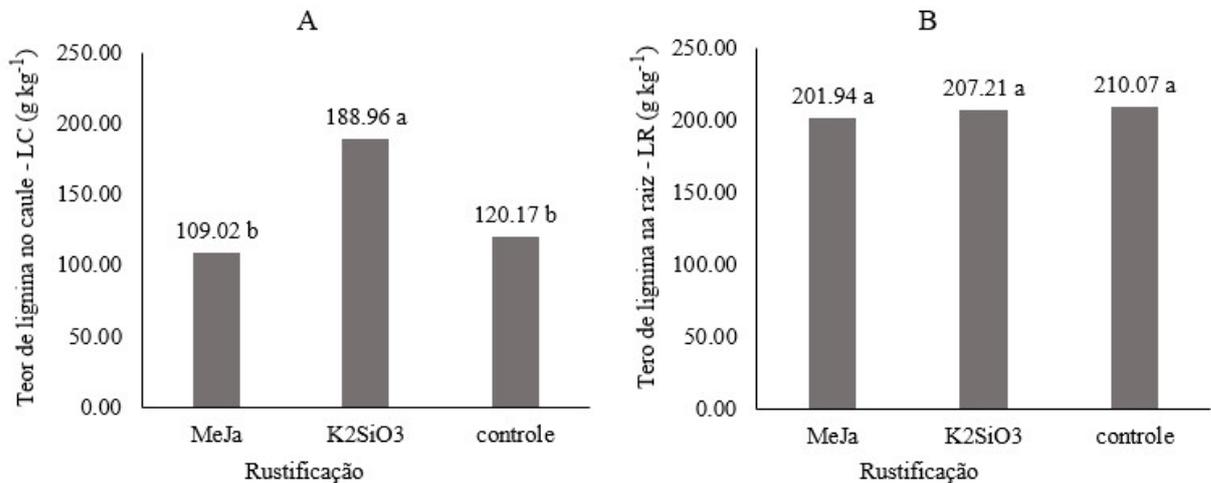


Figura 2. Teores de lignina em caule (A) e raízes (B) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle). Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Incrementos nos teores de lignina em função da aplicação de silicato de potássio também foram observados por outros autores: Amaral et al. (2008) em mudas de café; Mantovani et al. (2018) em plantas de *Phalaenopsis x Hybridus* e *Dendrobium* spp.; Traspadini et al. (2019) em plantas de *Viola x wittrockiana* e *Tagetes erecta* L.

Em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com K_2SiO_3 proporcionou os maiores incrementos nos teores de LC e LR (Figura 3), com médias de 201,58 $g\ kg^{-1}$ e 242,20 $g\ kg^{-1}$, respectivamente.

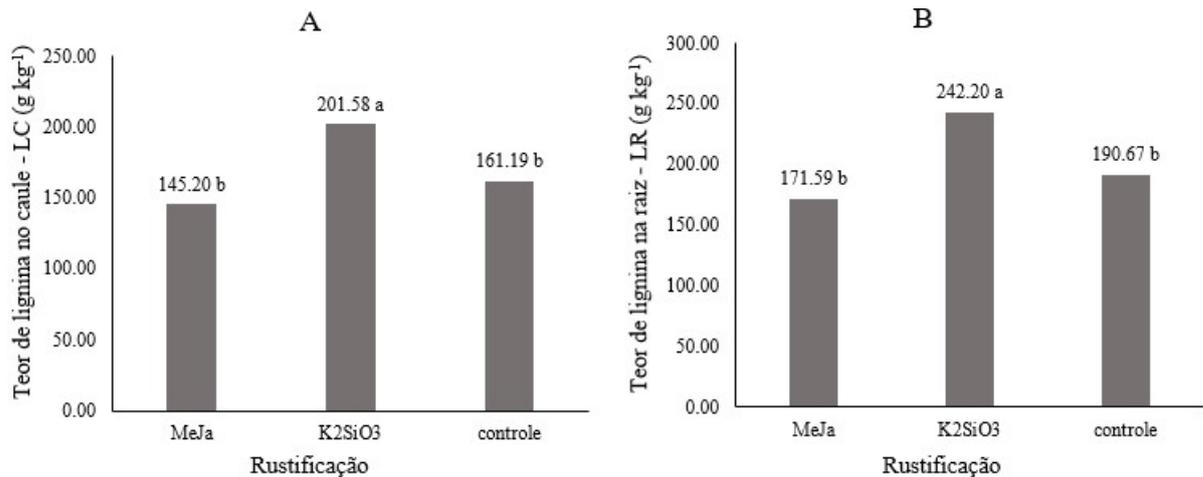


Figura 3. Teores de lignina em caule (A) e raízes (B) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O silício interfere na expressão de genes que regulam lignificação e suberização das plantas, possivelmente a redução dos estresses bióticos e abióticos pelas plantas pode ser decorrente de melhoria na estruturação dos tecidos durante formação e desenvolvimento (MEHARG; MEHARG, 2015). Dentre as funções do silício sobre as plantas, o elemento pode se complexar a hemicelulose e influir na produção e acúmulo de lignina nas paredes celulares (DEBONA et al., 2017).

A lignina tem importância funcional na planta e está associada, principalmente, ao suporte mecânico, ao transporte de água nos vasos do xilema e como defesa contra pragas e doenças, pois funciona como uma barreira mecânica não degradável para a maioria dos microrganismos (MOURA et al., 2010). Han et al. (2022) complementaram que entre os componentes da parede celular, a lignina oferece uma barreira contra uma variedade de estresses abióticos e bióticos. Portanto, mudanças no conteúdo ou composição da lignina podem ser de grande importância para a adaptação a estresses abióticos nas plantas, destacando-se os tratamentos e manejos que oferecem essa adaptabilidade no incremento do teor de lignina (MALAVASI et al., 2016).

Na Figura 4 estão os dados de eficiência no uso da água (EUA) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* rustificadas com MeJa e K₂SiO₃ e sem rustificação. A EUA, representa a quantidade de água necessária para a produção de 1 kg de massa seca. Para as duas espécies estudadas a rustificação com K₂SiO₃ resultou em menor uso de água por kg de massa seca, indicando maior eficiência. Foram observadas reduções de 70% e 30% no consumo de água por kg de massa seca produzido, respectivamente, em mudas de *E. uniflora* (Figura 4A) e *G.*

integrifolia (Figura 4B) promovidas pela rustificação com K_2SiO_3 em comparação com as mudas controle.

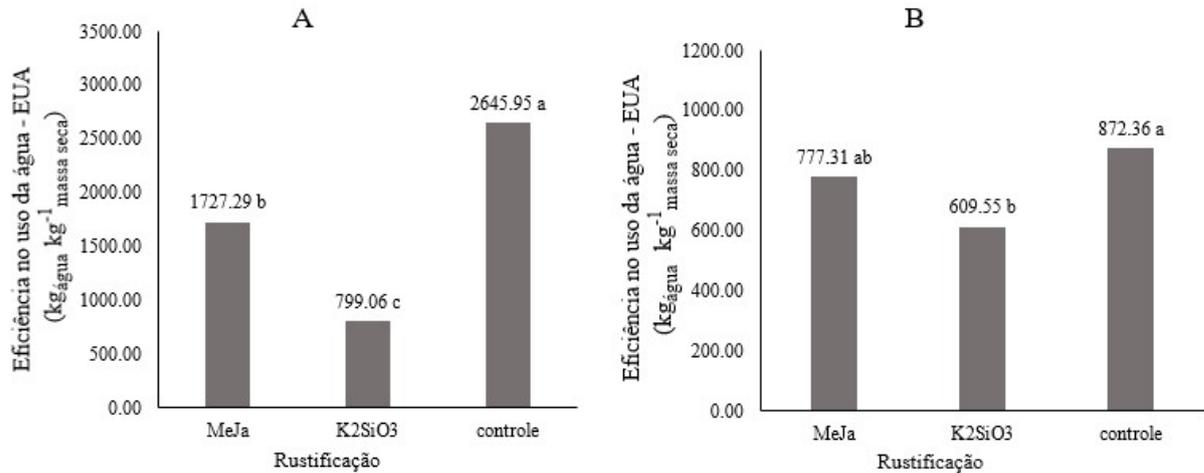


Figura 4. Eficiência no uso da água (EUA) em mudas de *E. uniflora* (A) e *G. integrifolia* (B) rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O Silício atua como promotor de maior eficiência de uso da água e da luz nas plantas, favorecendo a rigidez do tecido pela polimerização de dióxido de silício no apoplasto junto as paredes celulares sob forma de sílica amorfa. Os resultados positivos na mitigação de estresse abiótico em função da aplicação do Silício nas plantas são atribuídos, entre outros fatores, ao aumento da eficiência de uso da água (DEBONA et al., 2017).

A correlação de Pearson entre atributos de qualidade de mudas de *E. uniflora* (Tabela 4) indicaram que EUA apresentou correlação significativa forte e negativa com MST (-0,84) e com MFT (-0,89) e correlação moderada negativa (-0,56) com LC. A interpretação desses resultados indicou que a maior eficiência no uso da água (atrelado ao menor consumo de água por kg de massa seca) relaciona-se a maior produção de biomassa e ao incremento de lignina no caule. Em mudas de *G. integrifolia* não houve correlação significativa (dados não apresentados).

Tabela 4. Análise de correlação de Pearson entre eficiência no uso da água (EUA), massa seca total (MST), massa fresca total (MFT), teores de lignina na raiz (LR) e no caule (LC) em mudas de *E. uniflora*.

	MST	MFT	LR	LC
EUA	-0,84*	-0,89*	0,50	-0,56*
MST	1,00	0,88*	-0,28	0,64*
MFT	0,88*	1,00	-0,56*	0,66*

*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

Adicionalmente verificou-se correlação forte de LC com MST e MFT e correlação moderada negativa entre LR e MFT. De modo geral, os resultados indicaram que o incremento no teor de lignina no caule das mudas de *E. uniflora* promove a maior produção de biomassa, com maior eficiência no uso da água.

As correlações entre os teores de lignina no caule e nas raízes de mudas de *E. uniflora* e as biomassas fresca e seca e a eficiência no uso da água foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos, os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Desdobramentos em efeitos diretos e indiretos, obtidos pela análise de trilha, das correlações entre os teores de lignina na raiz e no caule e as variáveis explicativas, eficiência no uso da água (EUA), massa seca total (MST) e massa fresca total (MFT) em mudas de *E. uniflora*.

Vias de associação	Variável básica: Lignina Raiz			Variável básica: Lignina Caule		
	Variáveis explicativas:			Variáveis explicativas:		
	EUA	MST	MFT	EUA	MST	MFT
Efeito direto	0,28	0,97	-1,16	0,26	0,33	0,60
Efeito indireto EUA	-	-0,23	-0,25	-	-0,22	-0,23
Efeito indireto MST	-0,82	-	0,85	-0,28	-	0,29
Efeito indireto MFT	1,04	-1,01	-	-0,54	0,53	-
Total	0,50	-0,28	-0,56	-0,56	0,64	0,66
R ²		0,90			0,90	
Efeito residual		0,30			0,31	

Espósito et al. (2012) explicaram que na interpretação da análise dos coeficientes de trilha deve-se considerar que, se o coeficiente de correlação e o efeito direto da análise de trilha apresentarem semelhanças na magnitude e direção, a associação entre as variáveis é explicada pelo efeito direto. Quando o coeficiente de correlação for positivo e o efeito direto for negativo ou desprezível, a correlação é explicada pelos efeitos indiretos. Quando o coeficiente de correlação for desprezível e o efeito direto for alto e positivo, os efeitos indiretos são

responsáveis pela falta de correlação. Por último, se o coeficiente de correlação for negativo e o efeito direto for positivo e alto, deve-se eliminar os efeitos indiretos e aproveitar somente os diretos.

Os resultados da análise de trilha revelaram que a MFT se apresentou como atributo de maior influência nas correlações com os teores de lignina, tanto nas relações por efeitos diretos quanto por efeitos indiretos. A massa fresca está relacionada a produção de biomassa, mas também ao conteúdo de umidade retido na planta, mantendo a turgescência das células e melhorando a capacidade fotossintética. Este resultado corrobora a ideia de que o aumento na produção de lignina favorece o desenvolvimento das mudas e melhora a eficiência no uso da água.

A lignina é um polímero fenólico, está localizada principalmente na parede celular secundária, onde fornece a resistência física necessária para suportar as estruturas da planta. Além disso, a lignina é essencial para apoiar o transporte de água e minerais através do xilema. A deposição de lignina nos tecidos vasculares do xilema e na estria de Caspary é importante para a absorção de água do solo e transporte para a parte aérea e, também, serve de proteção da planta contra patógenos. A deposição de lignina nas células vasculares é importante não apenas para o transporte de água a longa distância, mas também para a recuperação do estresse hídrico. Nas plantas, o déficit hídrico desencadeia uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas, algumas das quais alteram a biossíntese e a deposição de lignina (CHOI et al., 2023). Corroborando, deste modo, a hipótese que o teor de lignina na planta está relacionado a eficiência do uso da água pelas plantas e conseqüentemente, na produção de biomassa.

A obtenção de mudas de qualidade é fator crucial para a implantação e estabelecimento de plantios. Portanto, a utilização de práticas de manejos e protocolos que levem a melhoria da qualidade das mudas são indispensáveis. Nesta pesquisa, os métodos de rustificação química utilizados revelaram-se eficientes para obtenção de mudas de qualidade, podendo ser recomendados como práticas a serem adotadas em viveiros.

CONCLUSÕES

A rustificação química com metil jasmonato e silicato de potássio promoveram alterações fisiológicas nas mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, em que atuam como sinalizadores dos mecanismos de defesa das plantas, sendo estes indicativos de rusticidade das mudas.

A rustificação das mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* com K_2SiO_3 proporcionou maior incremento no teor de lignina e maior eficiência do uso da água, representada pelo menor consumo de água por kg de massa, sendo estes indicadores de maior rusticidade.

A massa fresca total revelou-se como atributo de maior influência nas correlações entre a produção de biomassa e eficiência de uso da água com os teores de lignina em mudas de *E. uniflora*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill. & L.A.S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 841-852, 2015

AHMED, S. R.; ANWAR, Z.; SHAHBAZ, U.; SKALICKY, M.; IJAZ, A.; TARIQ, M. S.; ZULFQAR, U.; BRESTIC, M.; ALABDALLAH, N. M.; ALSUBEIE, M. S.; MUJTABA, H.; SAEED, A. M.; ZAHRA, T.; HASAN, M. M.; FIRDOUS, H.; RAZZAQ, A.; ZAFAR, M. M. Potential Role of Silicon in Plants Against Biotic and Abiotic Stresses. **Silicon**, v. 15, n. 1, p. 3283–3303, 2023.

AMARAL, D. R.; RESENDE, M. L. V.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOREL, J. C.; MAC LEOD, R. E. O.; PÁDUA, M. A. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.

ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A.; TABALDI, L. A.; RORATO, D. G.; TURCHETTO, F.; ZAVISTANOVICZ, T. C.; BERGHETTI, A. L. P.; AIMI, S. C.; TONETTO, T. S.; GASPARIN, E.; KELLING, M. B.; ÁVILA, A. L.; DUTRA, A. F.; MEZZOMO, J. C.; GOMES, D. R.; GRIEBELER, A. M.; SILVA, M. R.; BARBOSA, F. M.; LIMA, M. S. Caracterização e análise de atributos morfológicos e fisiológicos indicadores da qualidade de mudas em viveiro florestal. In: ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de sementes e mudas: um enfoque a silvicultura**. Santa Maria: UFSM, 2018, 448 p.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.

ATAÍDE, M. G.; CASTRO, R. V. O.; SANTANA, R. C.; DIAS, B. A. S.; CORREIA, A. C. G.; MENDES, A. F.N. Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica– Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 21-26, 2010.

AVELINO, N. R.; SCHILLING, A. C.; DALMOLIN, A. C.; SANTOS, M. S.; MIELKE, M. S. Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1733-1750, 2021.

BARBIERI JUNIOR, A.; ROSSIELLO, R. O. P.; MORENZ, M. J. F.; RIBEIRO, R. C. Comparação de métodos diretos de extração e quantificação dos teores de clorofilas em folhas do capim-Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 633-636, 2010.

BOURSCHEID, K.; VIEIRA, N. K.; LISBÔA, G. N.; KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. *Eugenia uniflora*: Pitangueira. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: Ed. MMA, 2011. Cap. 5, p. 170-177.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; COUTINHO, P. W. R. Morphometric changes and post-planting growth as a response to hardening on *Tabebuia roseo-alba* seedlings. **FLORESTA**, v. 51, n. 3, p. 539-546, 2021.

CALLEGARI JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255p.

CARVALHO, P. E. R. Pau-D’alho: *Gallesia integrifolia*. In: __. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2003. p. 734-742.

CHAGAS, D. M. C.; ALVES, J. H. M.; AZEVEDO, O. A.; FIORESE, C. H. U.; BINDELI, G. M.; SILVA-FILHO, G. *Gallesia integrifolia*: Um exemplo da relevância do conhecimento popular sobre plantas, indicador da importância da preservação dos saberes etnobotânicos e etnofarmacológicos. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 3, n. 3, p. 62-71, 2020.

CHOI, S. J.; LEE, Z.; KIM, S.; JEONG, E.; SHIM, J. S. Modulation of lignin biosynthesis for drought tolerance in plants. **Frontiers Plant Science**, v.14, n. 1, p. 01-14, 2023.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon’s Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annual Review of Phytopathology**, v. 55, n. 1, p. 85–107, 2017.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **FLORESTA**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

ESPÓSITO, D. P.; PETERNELLI, L. A.; PAULA, T. O. M.; BARBOSA, M. H. P. Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 42, n.1, p. 38-44, 2012.

FANTINEL, R. A.; SANTOS, F. D.; WEILER, E. B.; LOIOLA, T. M.; NASSINHACK, V. S. Potencialidades das Espécies Arbóreas Nativas de um Remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 4, p. 1-8, 2022.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 1, p. 711–738, 2012.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; COUTO, E. F.; MARANHÃO, S. R. V. L.; CHAVES, A. Eficiência e atividade enzimática elicitada por metil jasmonato e silicato de potássio em cana-de-açúcar parasitada por *Meloidogyne incógnita*. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 11-15, 2010.

HAASE, D. L.; DAVIS, A. S. Developing and supporting quality nursery facilities and staff are necessary to meet global forest and landscape restoration needs. **Reforesta**, v. 4, n. 1, p. 69-93, 2017.

HAN, X.; ZHAO, Y.; CHEN, Y.; XU, J.; JIANG, C.; WANG, X.; ZHUO, R.; LU, M. Z.; ZHANG, J. Lignin biosynthesis and accumulation in response to abiotic stresses in woody plants. **Forestry Research**, v. 2, n.9, p. 1-10, 2022.

LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **The container tree nursery manual: seedling processing, storage, and out planting**. 1 ed. Washington: Department of Agriculture Forest Service, 2010. 200 p.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVASI, M. M. Lignin in Woody Plants under Water Stress: A Review. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 589-597, 2016.

MANTOVANI, C.; PRADO, R. M.; PIVETTA, C. F. L. Silicon foliar application on nutrition and growth of *Phalaenopsis* and *Dendrobium orchids*. **Scientia Horticulturae**, v. 241, n. 18, p. 83-92, 2018.

MEHARG, C.; MEHARG, A. A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice?. **Environmental and Experimental Botany**, v. 120, n. 1, p. 8-17, 2015.

MORAES, S. P. O.; RODRIGUES, J. F. M.; ESCOBAR, M. E. O.; ARAÚJO, F. S.; OLIVEIRA, T. S. Beneficial effects of silicon in plants under abiotic stress conditions: A new approach. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20218213, 2022.

MOURA, J. C. M. S.; BONINE, C. A. V.; VIANA, J. O. F.; DORNELAS, M. C.; MAZZAFERA, P. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.52, n. 4, p. 360-376, 2010.

MUBEEN, B.; HASNAIN, A.; JIE, W.; ZHENG, H.; PEIJNENBURG, W.J.G.M.; ROZALI, S.E.; RASOOL, R.; NAQVI, S.A.H.; RAO, M.J.; SOHAIL, M.A.; MOUSTAFA, M.; AL-SHEHRI, M.; NEGM, S. Enhanced production of active photosynthetic and biochemical molecules in *Silybum marianum* L. using biotic and abiotic elicitors in hydroponic culture. **Molecules**, v.28, n. 1716, p. 1-19, 2023.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: Ed. Instituto Agronômico do Paraná, 2019. 210 p.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 23 de abril de 2023.

RORATO, D. G.; ARAÚJO, M. M.; TABALDI, L. A.; TURCHETTO, F.; BERGHETTI, A. L. P.; GRIEBELER, A. M.; BARBOSA, F. M.; AIMI, S. C. Silvicultura com espécies florestais nativas mediante o plantio de mudas: uma experiência em áreas ripárias no Sul do Brasil. In: ARAUJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de Sementes e Mudanças**: um enfoque à Silvicultura. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018. 446 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Ed. Embrapa, 2013. 353 p.

SIRHINDI, G.; MUSHTAQ, R.; GILL, S. S.; SHARMA, P.; ABD_ALLAH, I. F.; AHMAD, P. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. **Scientific Reports**, v. 10, n. 9322, p.1-14, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

THIESENA, L. A.; PINHEIRO, M. V. M.; HOLZA, E.; FONTANA, D. C.; SANTOS, J. Correlação de Pearson entre pigmentos fotossintetizantes e fitomassa de plantas *de Aloysia triphylla*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 02, n. 03, p. 249-257, 2017.

TRASPADINI, E. I. F.; MANTOVANI, C.; PRADO, R. M. Effect of silicon on protein and lignin contents of two annual flower species. **Ornamental horticulture**, v. 25, n. 3, p. 293-298, 2019.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 1 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

WILNER, J. Relative and absolute electrolyte conductance tests for frost hardiness of apple varieties. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 40, p. 630-637, 1960.

CAPÍTULO III: MODULAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE MUDAS DE ESPÉCIES LENHOSAS SUBMETIDAS A RESTRIÇÃO HÍDRICA APÓS A RUSTIFICAÇÃO QUÍMICA

RESUMO

A fase de produção de mudas em viveiro é considerada uma etapa crítica na determinação do sucesso de plantios florestais. A rustificação proporciona aclimatação gradual às condições de campo antes do plantio. Deste modo, considerando a necessidade de utilização de métodos eficazes de rustificação, este trabalho objetivou analisar as alterações na morfofisiologia e nas relações hídricas de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* submetidas a restrição hídrica após a rustificação química com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3). O experimento foi conduzido no período de março a agosto de 2022, em ambiente de cultivo protegido. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos. Os tratamentos consistiram na aplicação de $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ de MeJa e 5 mL L^{-1} de K_2SiO_3 , além do tratamento controle. As mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, permaneceram em vasos, respectivamente, por 30 dias e 18 dias, sem reposição hídrica. Ao final foram avaliados os seguintes parâmetros: perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), alocação de biomassa para folhas (ABF), caule (ABC) e raiz (ABR), incremento em área foliar (IAF), evapotranspiração (ET), condutância estomática (Cs), evapotranspiração total (ET_{total}) e eficiência no uso da água (EUA). Em mudas de *E. uniflora*, o método de rustificação com K_2SiO_3 revelou-se mais promissor, com maior média para CRA e IAF e menor para Cs. Em mudas de *G. integrifolia* a rustificação com K_2SiO_3 proporcionou maior IAF, e menor Cs aos 10 dias de déficit hídrico. Em mudas de *E. uniflora*, aos 20 dias a rustificação com K_2SiO_3 promoveu menor ET em relação as mudas controle. Para ambas as espécies os métodos de rustificação foram eficientes em reduzir o consumo de água sob déficit hídrico, em comparação as mudas controle. Os tratamentos rustificativos promoveram modulações nas relações hídricas das espécies em função do déficit hídrico. Em mudas de *E. uniflora* a aplicação de K_2SiO_3 promoveu redução da Cs e maior CRA após 30 dias de restrição hídrica, proporcionando maior eficiência no uso da água. *G. integrifolia* foi mais sensível ao déficit hídrico. A rustificação com K_2SiO_3 promoveu o fechamento estomático antecipado. Os métodos rustificativos proporcionaram maior eficiência no uso da água.

Palavras-chave: *Eugenia uniflora*. *Gallesia integrifolia*. Silicato de potássio. Metil jasmonato. Déficit hídrico.

MORPHOPHYSIOLOGICAL MODULATIONS AND WATER RELATIONS OF SEEDLINGS OF WOOD SPECIES SUBMITTED TO WATER RESTRICTION AFTER CHEMICAL HARDENING

ABSTRACT

The seedling production phase in the nursery is considered a critical stage in determining the success of forestry plantations. Hardening provides gradual acclimatization to field conditions before planting. Therefore, considering the need to use effective hardening methods, this work aimed to analyze changes in the morphophysiology and water relations of *E. uniflora* and *G. integrifolia* seedlings subjected to water restriction after chemical hardening with methyl jasmonate (MeJa) and potassium silicate (K_2SiO_3). The experiment was conducted from March to August 2022, in a protected cultivation environment. The experimental design used was randomized blocks, consisting of three treatments and seven blocks. The treatments consisted of the application of $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ of MeJa and 5 mL L^{-1} of K_2SiO_3 , in addition to the control treatment. The seedlings of *E. uniflora* and *G. integrifolia* remained in pots, respectively, for 30 days and 18 days, without water replacement. At the end, the following parameters were evaluated: root electrolyte loss (PER), relative water content (CRA), biomass allocation to leaves (ABF), stem (ABC) and root (ABR), increase in leaf area (IAF), evapotranspiration (ET), stomatal conductance (Cs), total evapotranspiration (ET_{total}) and water use efficiency (EUA). In *E. uniflora* seedlings, the hardening method with K_2SiO_3 proved to be more promising, with higher averages for CRA and IAF and lower for Cs. In *G. integrifolia* seedlings, hardening with K_2SiO_3 provided higher IAF and lower Cs after 10 days of water deficit. In *E. uniflora* seedlings, at 20 days, hardening with K_2SiO_3 promoted lower ET compared to control seedlings. For both species, the hardening methods were efficient in reducing water consumption under water deficit, compared to control seedlings. The hardening treatments promoted modulations in the water relations of the species due to the water deficit. In *E. uniflora* seedlings, the application of K_2SiO_3 promoted a reduction in Cs and greater CRA after 30 days of water restriction, providing greater efficiency in water use. *G. integrifolia* was more sensitive to water deficit. Hardening with K_2SiO_3 promoted early stomatal closure. Hardening methods provided greater efficiency in water use.

Keywords: *Eugenia uniflora*. *Gallesia integrifolia*. Potassium silicate. Methyl jasmonate. Water deficit.

INTRODUÇÃO

Eugenia uniflora L., popularmente conhecida como pitangueira é uma árvore frutífera nativa do Brasil, pertencente à família Myrtaceae. A espécie também pode ser encontrada em outros países da América do Sul, América Central, América do Norte, África e em Portugal. Apresenta boa adaptabilidade a diferentes tipos de solo e clima. Encontra-se, mais comumente, como pequenas árvores medindo de 6 a 9 m, ramificada, com copa arredondada de 3 a 6 m de diâmetro. O fruto pode ser utilizado para consumo in natura ou de forma processada como geleias e sorvetes. A madeira é utilizada na confecção de ferramentas e instrumentos agrícolas, as plantas têm aptidão para formar sebes, adaptando-se muito bem às podas, as folhas têm propriedade medicinal, a planta também é apreciada pelas abelhas que elaboram mel saboroso, que pode ser produzido e comercializado (BOURSCHEID et al., 2011; KRELING et al., 2023).

Galesia integrifolia (Spreng.) Harms, popularmente conhecida como pau d'alho, pertence à família Phytolaccaceae, de porte arbóreo. No Brasil, ocorre nos biomas Mata Atlântica, Amazônia, Cerrado e Caatinga. A espécie é considerada de crescimento rápido, indicadora de solos de alta fertilidade, sendo recomendada na recuperação de áreas degradadas. Suas flores atraem abelhas e diversos insetos pequenos. A espécie possui propriedades medicinais, madeira de múltiplo uso empregada principalmente em serrarias e produção de energia, além de fabricação de celulose e papel (CARVALHO, 2003; MARCHIORETTO, 2020).

A fase de produção de mudas em viveiro tem grande influência na determinação do sucesso de plantios florestais, uma vez que o estabelecimento das mudas a campo é uma etapa crítica (NUNES et al., 2020) podendo afetar diretamente o desempenho dos plantios, além de influenciar nos custos envolvidos (GROSSNICKLE; MACDONALD, 2018).

A qualidade do plantio florestal é calculada com base em inúmeros fatores. Dentre aqueles merece destaque a qualidade das mudas que originarão o povoamento florestal. Normalmente, mudas superiores em qualidade são mais resistentes às condições adversas do meio como estresse hídrico, variações de temperaturas e deficiências nutricionais. Mudas de alta qualidade resultam em plantios menos heterogêneos, influenciam na redução da frequência de tratos culturais nos plantios e reduzem as taxas de mortalidade. Conseqüentemente há menor necessidade de replantio, contribuindo para a redução dos custos de produção (RUDEK et al., 2013).

Para aumentar a qualidade e promover a maior sobrevivência após o plantio, as mudas devem passar por um processo de aclimação ou rustificação. Esse processo aumenta a tolerância a condições de estresses, por proporcionar aclimação gradual às condições de campo antes do plantio. A fase de rustificação no viveiro é essencial para aclimatar as plantas aos estresses pós plantio, pois nesta etapa a muda é submetida a uma quantidade controlada de estresse, que proporcionará maior aclimação as condições do local de plantio (JACOBS et al., 2014).

A rustificação, como já mencionado, refere-se à adoção de práticas realizadas no viveiro para preparar as mudas para o “choque pós plantio”. Para tanto alguns métodos podem ser utilizados como manejo da irrigação, níveis graduais de exposição ao sol, e métodos químicos, como aplicações de reguladores vegetais e fertilizantes (JACOBS; LANDIS, 2009).

Os jasmonatos são reguladores endógenos de crescimento, desenvolvimento e de resposta a diferentes condições de estresse na planta, sendo que na prática destacam-se como indutores de resistência a estresses bióticos e abióticos (DEUNER et al., 2015). Estes produtos têm sido aplicados com sucesso na rustificação de mudas de espécies lenhosas como por exemplo metil jasmonato em mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud (CADORIN et al., 2015), ácido jasmônico em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Patagonula americana* L. (HEBERLE et al., 2018).

O uso do silicato de potássio na rustificação de mudas (K_2SiO_3) pode apresentar resultados promissores, pois em sua composição contém silício e potássio, elementos benéficos e essenciais, respectivamente, auxiliam tanto na nutrição bem como ao amenizar os efeitos negativos causados por diferentes estresses (VERMA et al., 2020). O silício é um elemento considerado benéfico a planta e quando aplicado induz mecanismos de defesas a estresses bióticos e abióticos, melhorando atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos (IRFAN et al., 2023). D’Avila et al. (2011) recomendaram a aplicação de K durante a fase de rustificação em mudas clonais de eucalipto, uma vez que este nutriente é essencial ao desenvolvimento das mudas, por participar de diversos processos metabólicos, como ativação de enzimas e ajustamento osmótico.

Considerando a importância da produção de mudas de qualidade para o sucesso do plantio e a necessidade de utilização de métodos eficazes na aclimação das mudas para tolerar os estresses enfrentados a campo, este trabalho objetivou analisar as alterações na morfofisiologia e nas relações hídricas de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* submetidas a restrição hídrica após a rustificação química com metil jasmonato e silicato de potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

As mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia* foram adquiridas no viveiro florestal do Instituto Água e Terra (IAT), localizado no município de Toledo-PR. As sementes foram colhidas de árvores matrizes de remanescentes florestais, localizadas há pelo menos, 100 metros de distância entre si. Essas mudas foram produzidas em tubetes de polipropileno com capacidade para 180 cm³ de substrato. Para a produção das mudas foi utilizado substrato comercial, a base de casca de pinus e adicionado adubo de liberação controlada de macro e micronutrientes em até seis meses (Basacote® Mini 6 M 16-8-12(+2)).

A pesquisa foi conduzida no período de março de 2021 a abril de 2023, na Estação de Cultivo Protegido e Controle Biológico “Professor Dr. Mário César Lopes” pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Marechal Cândido Rondon, Paraná (latitude de 24° 33’ 24’’ S, longitude de 54° 05’ 67’’ W e altitude de 420 m). De acordo com a classificação climática proposta por Koppen, o clima é tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano (1.600 a 1.800 mm) e verões quentes, a temperatura do ar média anual varia entre 22 e 23 °C e a umidade relativa do ar entre 70 e 75% (NITSCHKE et al., 2019).

No período supramencionado foram realizados experimentos pré-testes (não contemplados neste trabalho de tese) para determinação de doses de metil jasmonatos e silicato de potássio recomendados para as mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*. Vale mencionar que para os experimentos realizados, os lotes de mudas foram adquiridos no viveiro do IAT em períodos diferentes, de acordo com a fase da pesquisa.

O experimento com métodos de rustificação química (aplicação de metil jasmonato e silicato de potássio) em mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*, foi conduzido no período de março a agosto de 2022. Antes das aplicações dos tratamentos, as mudas passaram por aclimatação de aproximadamente 60 dias, em ambiente protegido não climatizado, com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV, de 150 µ de espessura, equivalente a 80% de transmissividade. Durante esse período, as mudas foram mantidas sob irrigação por aspersão com lâmina média de 4,0 mm. A adubação foi realizada com solução nutritiva a base de fertilizante NPK na formulação 10-15-15, conforme a necessidade.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, composto de três tratamentos e sete blocos, com quatro plantas cada. Os tratamentos consistiram em dois métodos de rustificação química, 100 µmol L⁻¹ de metil jasmonato ou 5 mL L⁻¹ de silicato de potássio, ambos diluídos em água, além do tratamento controle (sem rustificação). Para o

silicato de potássio, o produto comercial utilizado foi o Flex Silício Fertilizer® que contém em sua composição 12% de K₂O e 12% de silício, solúvel em água. Para as rustificações químicas, foi adicionado às soluções um tensoativo não iônico. O tensoativo foi utilizado para melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, reduzindo a tensão superficial das gotas e o ângulo de contato destas com a superfície da folha. O produto utilizado foi o Agral-Syngenta®, seguindo as orientações do fabricante.

Os produtos foram aplicados, separadamente em cada lote, uma vez por semana, durante quatro semanas por meio de pulverizações foliares, aplicando-se, em média, 10 mL da solução por muda (definida por prévia calibração com água) até atingir o ponto de escorrimento, utilizando-se bomba costal manual ao final do período vespertino após a última irrigação. Durante o período das aplicações dos tratamentos, as irrigações ocorreram diariamente, três vezes ao dia.

Ao final da imposição dos tratamentos as mudas permaneceram em bandejas com tubetes por mais duas semanas. Posteriormente, foram transplantadas para vasos com capacidade de três litros, preenchidos com solo local (Tabela 1), classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013) e alocados em bancadas fora do alcance do sistema de irrigação do ambiente. Por ocasião da instalação, o solo foi irrigado com lâmina de água de 1,5 L. As mudas permaneceram em aclimatação, nos vasos em cultivo protegido, por 16 dias, período no qual foram irrigadas com 0,5 L a cada dois dias.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo utilizado na implantação dos experimentos em vaso.

Amostra	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
LVef	.....cmol/dm ³.....			.....mg/dm ³			
	0,14	2,60	0,70	24,00	17,60	12,00	0,70
Amostra	Argila	Silte	Areia	V	m	pH	MO
LVef	.....g/kg.....			.....%.....		CaCl	g/dm ³
	492	392	116	54,0	0,0	5,3	4,44

Legenda: Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), matéria orgânica (MO).

Após o período de aclimatação, iniciou-se a suspensão da irrigação. No dia inicial, as mudas foram novamente irrigadas com o total de 1,5 L de água para cada vaso. Em seguida, as mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, permaneceram em vasos, respectivamente, por 30 dias e 18 dias, sem reposição hídrica. Durante esses períodos a massa dos vasos foi medida a cada dois dias, sempre ao final do período vespertino, em balança digital com capacidade para 30 kg

($\pm 0,005$ kg), a fim de determinar a perda de água (evapotranspiração). Para encerramento do experimento, adotou-se como critério o momento em que não se observou diferença na perda de água (pesagem dos vasos), além de sintomas visuais como amarelecimento e murchamento foliar.

Durante o período de condução das mudas em vasos, os valores de umidade relativa e temperatura do ar foram obtidos, diariamente, com o auxílio de um termo-higrômetro datalogger com sensor de temperatura e umidade relativa do ar (Modelo KlimaLogg Smart), os dados estão representados na Figura 1.

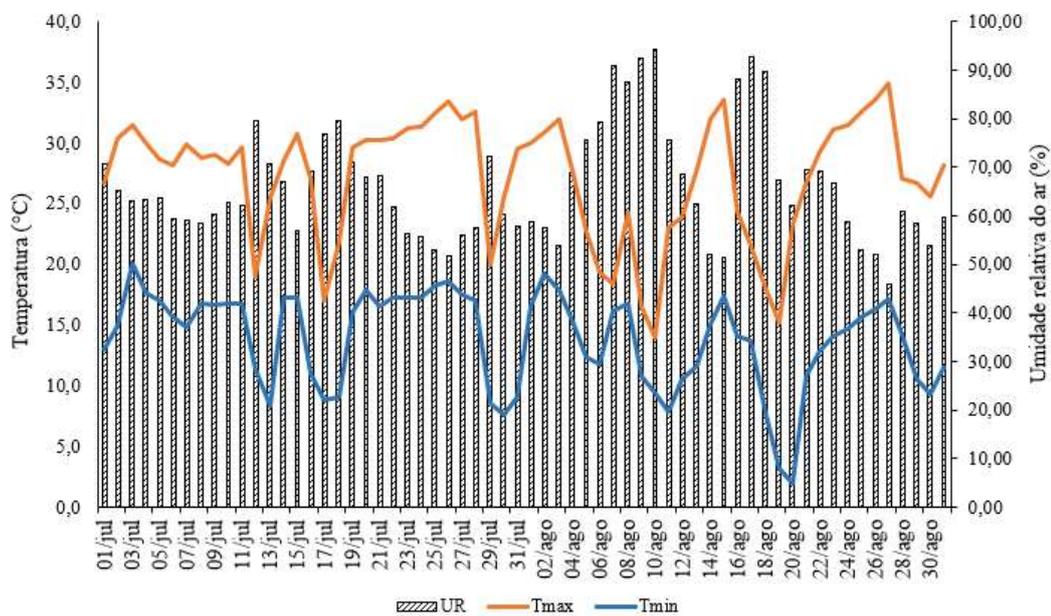


Figura 1. Valores de temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin) e umidade relativa do ar média (UR) observados em ambiente de cultivo protegido durante a realização do experimento com mudas em vaso. UNIOESTE – Marechal Cândido Rondon – PR, 2022.

Ao final do período de imposição de déficit hídrico em vasos, em mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* foram avaliados com os seguintes parâmetros: perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), alocação de biomassa para folhas (ABF), caule (ABC) e raiz (ABR), evapotranspiração total (ET_{total}) e eficiência no uso da água (EUA).

A perda de eletrólitos radiculares (PER) foi obtida utilizando-se o método de Wilner (1955), em que se avaliou a condutividade elétrica da raiz viva (C_{viva}) e, após autoclavagem, determinou-se a condutividade elétrica da raiz morta (C_{morta}). A PER foi calculada por meio da Equação 1:

$$PER (\%) = (C_{viva}/C_{morta}) * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Para determinação do conteúdo relativo de água (CRA), retirou-se 30 discos foliares, de aproximadamente 10 mm de diâmetro de cada planta. A massa fresca (MF1) foi obtida, em balança analítica, logo após o procedimento. Em seguida, os discos foram transferidos para placa de petri, contendo 35 mL de água destilada e mantidos a 25 °C por 6 horas. Após esse período os discos foram retirados e colocados em papel toalha para posterior determinação da massa fresca 2 (MF2). O mesmo material foi levado a estufa a 65 °C por 72 horas para a determinação da massa seca dos discos (MS). O cálculo do CRA foi realizado de acordo com a Equação 2, descrita por Barrs; Weatherley (1962) e os dados foram expressos em porcentagem.

$$CRA = \frac{MF1-MS}{MF2-M} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

As mudas foram seccionadas em folhas, caule e raiz, em seguida, foram levadas à secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C até massa constante, para a determinação de massa seca de folhas (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR) e massa seca total (MST). A partir dos valores de massa seca foram calculadas a alocação de biomassa para as folhas (ABF = MSF/MST), caule (ABC = MSC/MST) e raiz (ABR = MSR/MST), em g g⁻¹.

A evapotranspiração total (ET_{total}) foi obtida por meio da soma da perda de água em L⁻¹, considerada a diferença de massa de cada vaso no dia em questão e a massa do dia anterior.

Para determinação da eficiência no uso da água (EUA), foi utilizada a metodologia adaptada de Abreu et al. (2015), em que se avaliou a massa seca total inicial (MSTi) das plantas rustificadas e a massa seca total final (MST - após crescimento em vaso) e a evapotranspiração total (ET_{total}). Para avaliação de MSTi e MST, uma amostragem de mudas de cada tratamento foi separada em dois lotes, em que um lote foi avaliado antes da implantação em vasos e a segunda amostragem foi avaliada após o desenvolvimento em vaso. A EUA (L_{água} kg⁻¹ massa seca) foi calculada por meio da Equação 3:

$$EUA = \frac{ET_{total}}{MST - MSTi} \quad \text{Eq. 3}$$

A área foliar foi determinada no início (após as duas semanas de aclimação, posterior ao encerramento das aplicações de metil jasmonato e silicato de potássio) e ao final do período de restrição hídrica, por meio do método destrutivo direto, usando um medidor portátil modelo LI-3000A (área meter Li-Cor, USA). Posteriormente calculou-se o incremento em área foliar (IAF).

A condutância estomática (Cs) foi mensurada com porômetro digital (SC-1 Leaf Porometer, Decagon®). Em mudas de *E. uniflora* as medidas foram realizadas ao final do período de restrição hídrica. Em mudas de *G. integrifolia* as mensurações de Cs foram realizadas no início da suspensão da irrigação (0 dias), e aos 10 dias e aos 18 dias de déficit hídrico. As medições foram realizadas na face abaxial de folhas expandidas, no período da manhã com início às 8:00 horas e os resultados foram expressos em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A evapotranspiração (ET) foi determinada pela diferença entre a massa atual e a massa do dia anterior dos vasos, por meio do cálculo da quantidade de água perdida, em litros. Para mudas de *E. uniflora* determinou-se a ET aos 10, 20 e 30 dias de déficit hídrico, em mudas de *G. integrifolia* as determinações foram realizadas aos 6, 12 e 18 dias de déficit hídrico.

Os dados foram analisados quanto a normalidade de distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e quanto a normalidade da variância pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foram submetidos à análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na avaliação dos parâmetros Cs, em mudas de *G. integrifolia*, e ET, para ambas as espécies, os dados foram analisados em esquema de parcelas subdivididas, em que os tratamentos rustificativos foram subdivididos no tempo de déficit hídrico, em que foram realizadas avaliações no período inicial (0 dias), aos 10 e aos 18 dias de restrição hídrica.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software estatístico R v. 4.2.2 (R Core Team, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros morfofisiológicas e relações hídricas foram determinados em mudas *E. uniflora* e *G. integrifolia*, submetidas ao déficit hídrico, em função do tratamento rustificativo. As espécies apresentaram respostas distintas em relação a restrição hídrica. Mudas de *E. uniflora* permaneceram, de acordo com os critérios utilizados neste estudo, por 30 dias com restrição hídrica, enquanto mudas de *G. integrifolia* suportaram até os 18 dias de suspensão da irrigação. Leal (2020) ao estudar a ecofisiologia de diferentes espécies florestais observaram que as mudas de *G. integrifolia* apresentaram-se mais sensíveis ao déficit hídrico, pois reduziram significativamente a fotossíntese a partir do menor déficit imposto (-0,51 MPa).

Além da disponibilidade hídrica no solo, outros fatores podem influenciar nas respostas das plantas as condições de desenvolvimento e nas suas relações hídricas, como características intrínsecas da espécie, e condições do ambiente como temperatura, umidade e o

déficit de pressão de vapor (DPV). A condução do experimento (suspensão da irrigação) ocorreu no período de inverno, com temperaturas amenas e umidade relativa alta (Figura 1), que proporcionou baixo DPV, amenizando os efeitos iniciais da restrição hídrica e prolongando a duração das mudas.

Em mudas de *E. uniflora*, após 30 dias de restrição hídrica (Tabela 2), não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os tratamentos de rustificação química com metil jasmonato (MeJa) e silicato de potássio (K_2SiO_3) e as mudas sem rustificação (controle), para os parâmetros perda de eletrólitos radiculares (PER) e evapotranspiração total (ET_{total}). Para o conteúdo relativo de água (CRA), incremento em área foliar (IAF) e para a condutância estomática (C_s) o método de rustificação com K_2SiO_3 revelou-se mais promissor, com maior média para CRA e IAF e menor para C_s , em que em condição de déficit hídrico, estes resultados são indicativos de indução de tolerância à planta.

Tabela 2. Perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), incremento em área foliar (IAF), condutância estomática (C_s) e evapotranspiração total (ET_{total}) de mudas de *E. uniflora* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), submetidas a 30 dias de déficit hídrico.

Rustificação	PER	CRA	IAF	C_s	ET_{total}
	%		cm ²	mmol m ⁻² s ⁻¹	L ⁻¹
MeJa	70,04 a	22,24 b	1,65 b	75,5 a	1,36 a
K_2SiO_3	79,38 a	26,83 a	54,48 a	53,23 b	1,32 a
Controle	76,13 a	14,25 c	-12,52 c	71,93 a	1,37 a
CV%	9,27	11,72	17,86	12,72	3,92

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em condição de déficit hídrico a planta, estrategicamente, controla a perda excessiva de água pelo fechamento estomático e, deste modo, mantém o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água nas folhas, porém ocorrem restrições na condutância estomática e trocas gasosas, o que reduz a taxa de transpiração e a assimilação de CO₂ (TAIZ et al., 2017).

A aplicação de fontes de silício promove aumento da capacidade fotossintética da planta, pois este elemento proporciona melhoria da arquitetura da planta, permitindo que as folhas permaneçam mais eretas e rígidas, favorecendo a maior interceptação solar, refletindo em maior produção de fotoassimilados, incremento foliar e produção de biomassa (SANTOS et al., 2021). Adicionalmente, o elemento promove ajuste osmótico, favorecendo o metabolismo e crescimento das plantas (BEZERRA et al., 2019).

Nunes et al. (2019) observaram em *Lycopersicon esculentum* Mill. que aplicações de silicato de potássio reduziram os impactos do estresse hídrico e favoreceram o desenvolvimento

de características morfológica e fotossintéticas da planta. No entanto, os autores recomendaram a dose de 50 ml L⁻¹ do produto. Assim, sugere-se que a resposta em relação ao produto tem efeitos combinados com as características endógenas de cada espécie.

Em mudas de *G. integrifolia* (Tabela 3) não houve diferença ($p>0,05$) entre os métodos de rustificação (MeJa ou K₂SiO₃) e as mudas controle em relação aos parâmetros PER, CRA e ET_{total}. A rustificação com K₂SiO₃ proporcionou maior incremento em área foliar (IAF). Por outro lado, o menor IAF foi quantificado nas mudas rustificadas com MeJa.

Tabela 3. Perda de eletrólitos radiculares (PER), conteúdo relativo de água (CRA), incremento em área foliar (AF) e evapotranspiração total (ET_{total}) de mudas de *G. integrifolia* rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K₂SiO₃) e sem rustificação (controle), submetidas a 18 dias de déficit hídrico.

Rustificação	PER	CRA	IAF	ET _{total}
	----- % -----		cm ²	L ⁻¹
MeJa	115,54 a	18,62 a	30,49 b	1,05 a
K ₂ SiO ₃	108,74 a	15,21 a	44,21 a	1,04 a
Controle	110,07 a	19,60 a	38,14 ab	1,08 a
CV%	6,04	11,57	11,78	8,32

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O menor valor de IAF em mudas tratadas com MeJa pode ser explicado pelo redirecionamento de metabólitos para a ativação das rotas de síntese de compostos de defesa, o que proporciona maior o gasto de energia, podendo resultar em menor desenvolvimento das plantas. Adicionalmente, os jasmonatos podem reduzir a taxa fotossintética, associada a supressão da atividade da enzima Rubisco, resultando em redução do crescimento de plantas (TAIZ et al., 2017; CECATTO JUNIOR et al., 2019).

Para a área foliar, ressalta-se que foram realizadas as avaliações no período antes da restrição hídrica. Posteriormente, as mudas foram implantadas em vasos e permaneceram por 16 dias (aclimatação) sem restrição hídrica. Ademais, durante o período de restrição hídrica houve baixa demanda evaporativa atmosférica observadas pelas condições de ambiente (Figura 1). Nesse período, supõe-se que houve um crescimento em área foliar, pois as mudas estavam em condições favoráveis de crescimento e desenvolvimento, o que justifica o incremento positivo, mesmo em déficit hídrico. Contudo, após período intenso de déficit hídrico, ocorrem uma série de distúrbios fisiológicos, dentre os quais a redução da área foliar. A diminuição da umidade no solo pode levar à desidratação da planta, crescimento mais lento, senescência mais rápida do tecido da planta, diminuição da expansão das folhas e da fotossíntese, que afetam no tamanho da área foliar (TAIZ et al., 2017).

Deste modo, sugere-se que o K_2SiO_3 proporcionou maior incremento, inicial, em área foliar em mudas de *E. uniflora* e de *G. integrifolia*. Além disso, este tratamento rustificativo favoreceu o acionamento de mecanismos de defesas da planta que resultaram em menor perda de folhas durante o período de déficit hídrico.

O silício é considerado um elemento não essencial, porém quando adicionado as plantas promove efeitos benéficos, estimula o crescimento e a produção vegetal proporcionado pela deposição deste elemento às folhas, oferecendo maior rigidez da parede celular e redução da transpiração cuticular (IRFAN et al., 2023). Deste modo, promove um aumento do potencial hídrico foliar e aumento da produção de fotoassimilados (JESUS et al., 2018). Os autores complementaram que o silício promove o aumento da atividade de enzimas antioxidantes como catalase e peroxidase, em que estas atuam no combate as espécies reativas de oxigênio (ERO) em condição de estresse.

Reis (2022) estudando os efeitos do sombreamento e aplicação de silício em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob déficit hídrico, observaram que as mudas da espécie são sensíveis à restrição hídrica e que a aplicação de K_2SiO_3 contribuiu positivamente para a integridade do aparato fotossintético, atividade das enzimas antioxidantes e crescimento inicial sob déficit hídrico, além de auxiliar no potencial de recuperação.

Os valores médios de condutância estomática (Cs) em mudas de *G. integrifolia* rustificadas com MeJa, K_2SiO_3 e mudas controle, avaliadas no período inicial de suspensão hídrica (0 dias) e aos 10 e aos 18 dias de restrição hídrica estão apresentados na Figura 2. Aos 0 dias e 18 dias de condução das mudas em suspensão da irrigação, não houve diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos rustificativos. Aos 10 dias de déficit hídrico a menor Cs foi observada nas mudas rustificadas com K_2SiO_3 .

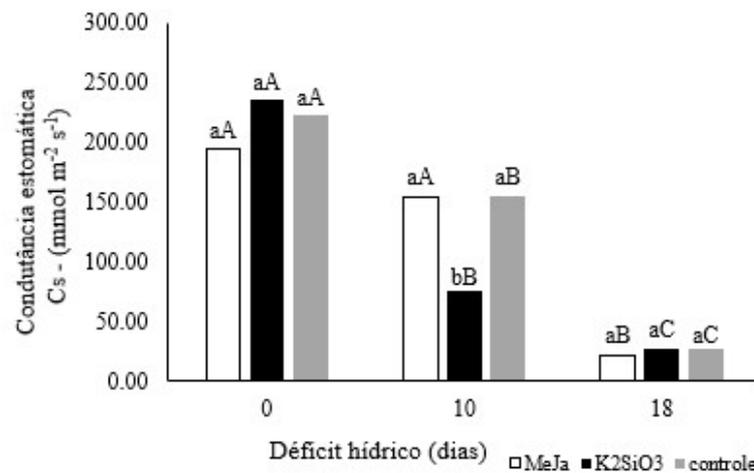


Figura 2. Condutância estomática de mudas de *G. integrifolia*, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle), aos 0, 10 e 18 dias de déficit hídrico.

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas, não diferem entre os tratamentos rustificativos para cada período de déficit hídrico. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre os dias de déficit hídrico para cada tratamento rustificativo. As médias foram testadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro

Na comparação entre os períodos de déficit hídrico (Figura 2) verificou-se que em mudas rustificadas com MeJa não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na Cs aos 0 e 10 dias de restrição hídrica, contudo, aos 18 dias de déficit hídrico houve redução de 89% na Cs. Nas mudas rustificadas com K_2SiO_3 observou-se redução de 68% aos 10 dias de déficit hídrico e aos 18 dias de déficit hídrico a redução foi de 88% em relação ao período inicial (0 dias). Nas mudas controle houve redução da Cs 30% aos 10 dias e 88% aos 18 dias de déficit hídrico.

Deste modo pode-se inferir que, em condição de restrição hídrica, o tratamento com K_2SiO_3 em mudas de *G. integrifolia* resultou em fechamento estomático mais antecipado, como estratégia para evitar a perda excessiva de água e consequente danos fisiológicos a planta. Reduções da condutância estomática estão interligadas a diminuição da atividade fotossintética, porém promovem a retenção de água e permitem que a planta sobreviva por mais tempo em condição de estresse por seca (CARRARO; DI IORIO, 2022).

A tolerância das plantas ao estresse hídrico, associada ao uso do silício tem sido atribuída ao acúmulo de enzimas antioxidantes na parte aérea, indicando ser um mecanismo regulador de mudanças fisiológicas na planta, a partir da redução do potencial hídrico celular, levando ao desenvolvimento de processos reguladores de perda de água, tais como o fechamento dos estômatos (SHARIFI, 2017).

Os benefícios do K_2SiO_3 são atribuídos tanto ao silício quanto ao potássio, pois ambos exercem papel importante na promoção da tolerância a condições adversas. O silício promove o aumento da atividade de enzimas do metabolismo antioxidante, que atuam como mecanismo

de proteção contra as EROs. Já o potássio participa no ajuste osmótico e regulação do turgor favorecendo o aumento do CRA nas folhas (REIS, 2022).

As médias de evapotranspiração (ET) de mudas de *E. uniflora* aos 10, 20 e 30 dias de déficit hídrico e de mudas de *G. integrifolia* aos 6, 12 e 18 dias de déficit hídrico, rustificadas com MeJa, K_2SiO_3 e mudas controle estão apresentadas na Figura 3. Em mudas de *E. uniflora*, (Figura 3A) não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os métodos de rustificação aos 10 e aos 30 dias de déficit hídrico. No entanto, aos 20 dias a rustificação com K_2SiO_3 promoveu menor ET em relação as mudas controle.

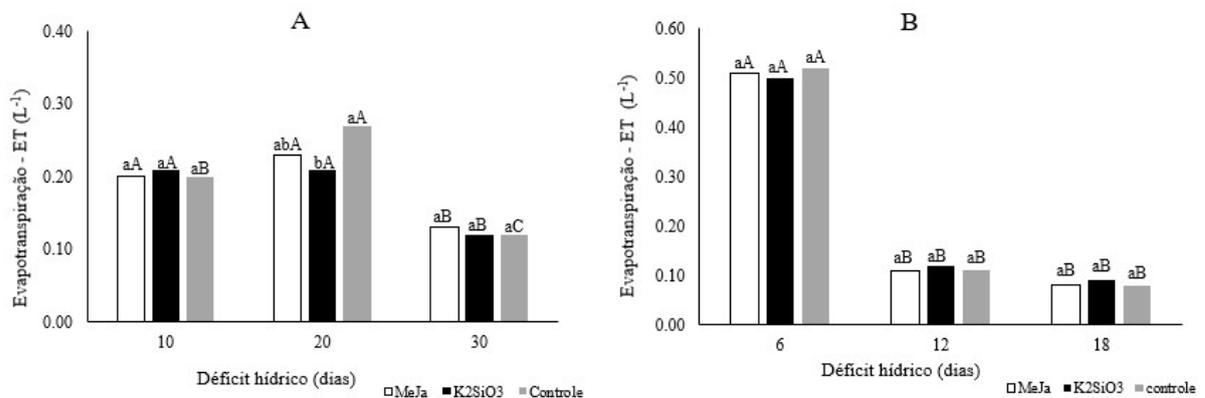


Figura 3. Evapotranspiração de mudas de *E. uniflora* aos 10, 20 e 30 dias de déficit hídrico (A) e de mudas de *G. integrifolia* aos 6, 12 e 18 dias de déficit hídrico (B), rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas, não diferem entre os tratamentos rustificativos para cada período de déficit hídrico. Médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre os dias de déficit hídrico para cada tratamento rustificativo. As médias foram testadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na comparação entre os períodos de avaliação (Figura 3A) verificou-se que não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre 10 e 20 dias de déficit hídrico para ambos os tratamentos rustificativos. As mudas controle apresentaram maior ET aos 20 dias de déficit hídrico. A ET de mudas de *E. uniflora* foi significativamente reduzida aos 30 dias de déficit hídrico independente do tratamento.

Em mudas de *G. integrifolia* (Figura 3B) não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os métodos rustificativo com MeJa e K_2SiO_3 e com as mudas controle. Contudo, na comparação entre os dias de déficit hídrico, houve redução significativa para todos os tratamentos a partir dos 12 dias.

A transpiração, ao mesmo tempo em que contribui para o resfriamento das folhas e para a absorção e transporte de água e minerais para a parte aérea é também um processo físico de perda de água pela planta através da evaporação da água a partir da superfície das folhas. O

processo transpiratório está relacionado às condições ambientais e à condutância estomática uma vez que a deficiência hídrica, ao provocar a diminuição da turgescência das células-guarda, também promove o fechamento dos estômatos e assim evita a perda excessiva de água pela transpiração (TAIZ et al., 2017).

Normalmente, o maior acúmulo de silício ocorre nas paredes celulares das folhas, formando uma dupla camada de sílica, em decorrência desta camada protetora ocorre redução da transpiração, fornecendo maior tolerância as plantas ao estresse por déficit hídrico (SANTOS et al., 2021).

Para as alocações de biomassa para folha (ABF), caule (ABC) e raiz (ABR) em mudas de *E. uniflora* (Figura 4A) e *G. integrifolia* (Figura 4B) rustificadas com MeJ, K_2SiO_3 e sem rustificação, submetidas a restrição hídrica, não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os tratamentos rustificativos. No entanto, se observou para ambas as espécies, independentemente do método de rustificação, uma alocação de biomassa para a raiz de, aproximadamente, 40% ($0,40 \text{ g g}^{-1}$), em detrimento de ABF ($\sim 0,20 \text{ g g}^{-1}$ para *E. uniflora* e $0,15 \text{ g g}^{-1}$ para *G. integrifolia*). Essa é uma das estratégias utilizada pelas plantas para redução dos impactos e sobrevivência ao déficit hídrico.

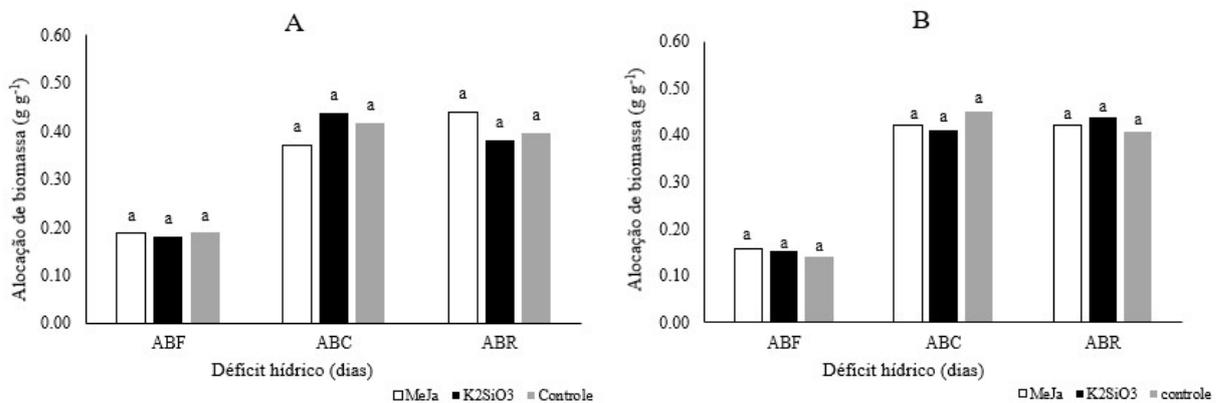


Figura 4. Alocação de biomassa para folhas (ABF), caule (ABC) e raiz (ABR) em mudas de *E. uniflora* aos 30 dias de déficit hídrico (A) e em mudas de *G. integrifolia* aos 18 dias de déficit hídrico (B), rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas, não diferem entre os tratamentos rustificativos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O maior incremento radicular em relação à parte aérea é um caráter adaptativo comum às plantas submetidas ao estresse hídrico, para permitir que obtenham água em outras camadas do solo. Essa resposta pode estar associada ao mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, pois, sob condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas tendem a investir mais massa seca no sistema radicular, permitindo maior crescimento das raízes. Quando o potencial

de água é repentinamente reduzido nas raízes, ocorre rapidamente o ajuste osmótico para permitir a recuperação parcial de turgescência e tais ajustes permitem que as raízes retomem o crescimento mesmo em baixo potencial de água. Em contraste, sob reduções semelhantes de potencial de água, o ajuste osmótico na parte aérea ocorre lentamente, levando à inibição do seu crescimento (LIMA et al., 2014).

A eficiência no uso da água (EUA) de mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia*, rustificadas com MeJa, K_2SiO_3 e mudas controle, submetidas ao déficit hídrico, está representada na Figura 5. Este parâmetro está relacionado ao consumo de água, por planta, necessária para produzir um kg de massa seca. Deste modo, a maior EUA refere-se ao menor consumo de água.

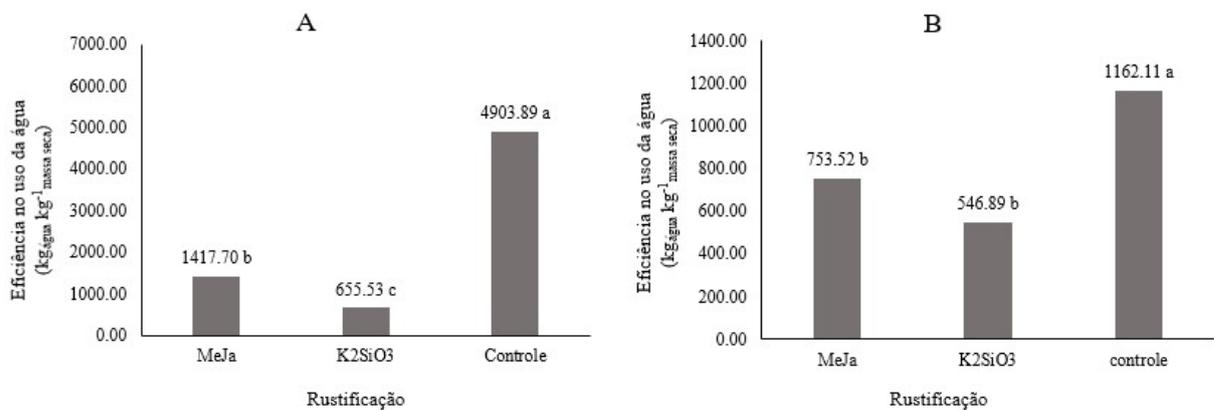


Figura 5. Eficiência no uso da água (EUA) em mudas de *E. uniflora* aos 30 dias de déficit hídrico (A) e em mudas de *G. integrifolia* (B) aos 18 dias de déficit hídrico, rustificadas com metil jasmonato (MeJa), silicato de potássio (K_2SiO_3) e sem rustificação (controle).

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas, não diferem entre os tratamentos rustificativos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para ambas as espécies os métodos de rustificação foram eficientes em reduzir o consumo de água sob déficit hídrico, em comparação as mudas controle. Em mudas de *E. uniflora* após 30 dias de suspensão da irrigação (Figura 5A), a maior valor de EUA foi promovida pela rustificação com K_2SiO_3 ($655,53 kg_{\text{água}} kg^{-1}_{\text{massa seca}}$). Em mudas de *G. integrifolia* aos 18 dias de restrição hídrica (Figura 5B), os tratamentos rustificativos com MeJa e K_2SiO_3 foram semelhantes entre si e apresentaram menor consumo de água em comparação as mudas controle.

O fechamento estomático durante os estádios iniciais do estresse hídrico promove um aumento da eficiência do uso da água, mais CO_2 pode ser absorvido por unidade de água transpirada, porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO_2 (TAIZ et al., 2017).

A transpiração das plantas tende a aumentar quando o gradiente de pressão de vapor entre a folha e ar atmosférico se eleva. No entanto, os estômatos exercem o controle das trocas gasosas para que as plantas possam evitar uma perda excessiva de água em condições de alta demanda evaporativa da atmosfera. O fechamento estomático limita a transpiração, mas também diminui a realização da fotossíntese. Esta é uma das estratégias utilizada pelas plantas em situação de déficit hídrico. A EUA tem relação direta com a fotossíntese e a transpiração, pois representa a capacidade da planta assimilar carbono enquanto limita as perdas de água pelo estômato (MEDLYN et al., 2017).

Durante sua evolução, as plantas terrestres desenvolveram quatro mecanismos que lhes permitem superar o déficit hídrico: prevenção, tolerância, escape e recuperação da seca. A prevenção é a capacidade das plantas sob condições de estresse hídrico leve ou moderado de armazenar o máximo de água possível e sustentar os processos metabólicos para sobrevivência. Para isso, as plantas adotam as seguintes estratégias que permitem reduzir a perda de água, fechamento estomático rápido, redução da área foliar exposta à radiação incidente, acúmulo de cera na superfície celular, maior relação raiz/parte aérea, profundidade de enraizamento e maior capacidade de armazenamento de água. Tolerância é a capacidade das plantas sob condições severas de estresse hídrico de suportar baixo teor de água nos tecidos e manter um certo nível de atividades fisiológicas reparando os danos do estresse, principalmente danos oxidativos e osmóticos. Escape é a capacidade das plantas de completar seu ciclo de vida antes do início do estresse hídrico, portanto, as plantas não sofrem estresse hídrico. A recuperação é a capacidade das plantas de se recuperarem de um estado de desidratação após serem expostas a um estresse hídrico prolongado. Cada espécie pode apresentar um ou mais mecanismos descritos, dependendo do estágio de desenvolvimento (CARRARO; DI IORIO, 2022).

Neste sentido, os métodos de rustificação, são utilizados com intuito de aprimorar os mecanismos de defesa das plantas, tornando-as ainda mais eficientes em respostas aos estresses que podem sofrer após o plantio.

CONCLUSÕES

Mudas de *E. uniflora* e *G. integrifolia* apresentaram alterações morfofisiológicas em resposta ao estresse hídrico.

Os tratamentos rustificativos promoveram modulações nas relações hídricas das espécies em função do déficit hídrico.

Em mudas de *E. uniflora* a aplicação de K_2SiO_3 promoveu redução da condutância estomática e maior conteúdo relativo de água após 30 dias de restrição hídrica, proporcionando maior eficiência no uso da água.

G. integrifolia foi mais sensível ao déficit hídrico. A rustificação com K_2SiO_3 promoveu o fechamento estomático antecipado, no entanto, ambos os métodos rustificativos proporcionaram maior eficiência no uso da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. C.; MARTINS, F. B.; FREITAS, C. H.; PEREIRA, R. A. A.; MELLONI, E. G. P. Valores limítrofes para transpiração, desenvolvimento e crescimento *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson em resposta à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 841-852, 2015.

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.15, n.3, p. 413-428, 1962.

BEZERRA, B. K. L.; LIMA, G. P. P.; REIS, A. R.; SILVA, M. A.; CAMARGO, M. S. Physiological and biochemical impacts of silicon against water deficit in sugarcane. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.41, n. 1, p. 1-12, 2019.

BOURSCHEID, K.; VIEIRA, N. K.; LISBÔA, G. N.; KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. *Eugenia uniflora*: Pitangueira. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília: Ed. MMA, 2011. Cap. 5, p. 170-177.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CARRARO, E.; DI IORIO, A. Eligible strategies of drought response to improve drought resistance in woody crops: a mini-review. **Plant Biotechnology Reports**, v. 16, n. 1, p. 265–282, 2022.

CARVALHO, P. E. R. Pau-D’alho: *Galesia integrifolia*. In: __. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2003. p. 734-742.

CECATTO JÚNIOR, R.; SUSS, A. D.; BARTZEN, B. T.; BAZEI, G. L.; GUIMARÃES, V. F.; BULEGON, L. G. Jasmonatos nas plantas e utilização na agricultura. In: **Análise crítica das ciências biológicas e da natureza**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 320-334.

D’AVILA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.13-19, 2011.

DEUNER, C.; BORGES, C. T.; ALMEIDA, A. S.; MENEGHELLOE, G. E.; TUNES, L. V. M. M. Ácido jasmônico como promotor de resistência em plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.3, p. 275-281, 2015.

GROSSNICKLE, S. C. MACDONALD, J. E. Seedling Quality: History, Application, and Plant Attributes. **Forests**, v. 9, n. 283, p. 1-23, 2018.

HEBERLE, K.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Morfometria e lignificação em função da aplicação de ácido jasmônico em mudas de ipê roxo e guajuvira. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 317-325, 2018.

IRFAN, M.; MAQSOOD, M. A.; REHMAN, H. U.; MAHBOOB, W.; SARWAR, N.; HAFEEZ, O. B. A.; HUSSAIN, S.; ERCISLI, S.; AKHTAR, M.; AZIZ, T. Silicon Nutrition in Plants under Water-Deficit Conditions: Overview and Prospects. **Water**, v. 15, n. 739, p. 1-20, 2023.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D. Hardening. In: DUMROESE, R. K.; LUNA, T.; LANDIS, T. D. **Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries**. Washington: Ed. USDA Forest Service, 2009, 302 p.

JACOBS, D. F.; LANDIS, T. D.; WILKINSON, K. M. Hardening. In: WILKINSON, K. M.; LANDIS, T. D.; HAASE, D. L.; DALEY, B. F.; DUMROESE, R. K. **Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants**. Washington: USDA, 2014. p. 293-302.

JESUS, E. G.; FATIMA, R. T.; GEURRERO, A. C.; ARAÚJO, J. L.; BRITO, M. E. Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 119-124, 2018.

KRELING, B. E.; TONET, C.; COSSUL, F. A.; MOREIRA, J. D.; DIERINGS, T. A.; PIMENTA, B. D. A cultura da pitangueira (*Eugenia uniflora*): uma revisão sobre aspectos da propagação sexuada e assexuada. In: SILVA, L. F.; OLIVEIRA, V. C. **Ciências agrárias: Estudos sistemáticos e investigación avanzad**. 2023. p. 14-26.

LEAL, M. S. **Comportamento ecofisiológico de *Croton urucurana* Baill, *Cecropia pachystachya* Trécul, *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms, *Hevea brasiliensis* Willd. Ex A. Juss e *Psidium cattleianum* Sabine**. 2020. 126 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, 2020.

LIMA P. R.; HORBACH, M. A.; DRANSKI, J. A. L.; ECCO, M.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Avaliação Morfofisiológica em Mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos Durante a Rustificação. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 316-326, 2014.

MARCHIORETTO, M.S. **Phytolaccaceae**. In: Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB187>.

MEDLYN, B. E.; KAUWE, M. G.; LIN, Y. S.; KNAUER, J.; DUURSMA, R. A.; WILLIAMS, C. A.; ARNETH, A.; CLEMENTE, R.; ISAQUE, P.; LIMOUSIN, J. M.; LINDERSON, M.;

MEIR, P.; PAUL, N. M.; WINGATE, L. How do leaf and ecosystem measures of water-use efficiency compare?. **New Phytologist**, v. 216, n.1, p. 758–770, 2017.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina: Ed. Instituto Agronômico do Paraná, 2019. 210 p.

NUNES, A. M. C.; NUNES, L. R. L.; RODRIGUES, A. J. O.; UCHÔA, K. S. A. Silício na tolerância ao estresse hídrico em tomateiro. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 239-258, 2019.

NUNES, S.; GASTAUERA, M.; CAVALCANTE, R. B. L.; RAMOSA, S. J.; CALDEIRA JR.; C. F.; SILVA, D.; RODRIGUES, R. R.; SALOMÃO, R.; OLIVEIRA, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SIQUEIRA, J. O. Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species. **Forest Ecology and Management**, v. 466, n. 15, p. 1-15, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 23 de abril de 2023.

REIS, L. C. **Sombreamento e aplicação de silício em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob déficit hídrico e seu potencial de recuperação**. 2022. 74 f. Tese (doutorado em agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A. O.; PERES, F. S. B. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v.9, n.17; p. 3775-3787, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Ed. Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M.; ABRANCHES, M. O.; ROCHA, J. L. A.; SILVA, S. T. A.; RIBEIRO, M. D. S.; GOMES, V. R.; SEVERO, P. J. S.; BRILHANTE, C. L.; SOUSA, F. Q. O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p 1-19, 2021.

SHARIFI, P. Effect of Silicon Nutrition on Yield and Physiological Characteristics of Canola (*Brassica napus*) under Water Stress Conditions. **International Journal of Advanced Biotechnology and Research**, v. 8, n. 1, p. 144-153, 2017.

TAIZ L.; ZEIGER, E., MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 954p.

VERMA, K.K.; SINGH, P.; SONG, X.P.; MALVIYA, M.K.; SINGH, R.K.; CHEN, G.L.; SOLOMON, S.; LI, Y.R. Mitigating climate change for sugarcane improvement: Role of silicon in alleviating abiotic stresses. **Sugar Tech**, v. 22, n. 5, p. 741-749, 2020.

WILNER, J. Relative and absolute electrolyte conductance tests for frost hardiness of apple varieties. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 40, p. 630-637, 1960.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do grande volume de pesquisas referentes a produção de mudas de espécies florestais, ainda se observa uma carência de informações sobre espécies nativas, pois a maioria dos estudos encontrados na literatura é voltado para espécies exóticas de valor econômico, como *Eucaliptus* spp e *Pinus* spp. No entanto, muitas espécies nativas vêm ganhando espaço devido a sua adaptabilidade e as possibilidades de múltiplos usos para além de finalidade madeireira. Soma-se a isto, as demandas e exigências por programas de produção com manejo sustentável e a necessidade de recuperação de áreas desmatadas e degradadas.

Assim, a produção de mudas em viveiros, com controle e melhoria da qualidade determina o estabelecimento do plantio florestal, visto que em condições de campo diversos fatores podem acometer o seu desenvolvimento. Neste sentido, mudas de alta qualidade e rustificadas adequadamente apresentarão maior chance de sobrevivência e desenvolvimento satisfatório.

Nesta pesquisa foram avaliados dois métodos de rustificação química em mudas de *Eugenia uniflora* e *Galesia integrifolia*, a saber: aplicação do regulador vegetal metil jasmonato (MeJa) e do fertilizante silicato de potássio (K_2SiO_3). De modo geral observou-se que ambos os produtos induziram respostas rustificativas às plantas, porém com mecanismos diferentes. Na análise de crescimento, o MeJa proporcionou a redução da parte aérea e aumento do diâmetro do coleto e a realocação da matéria seca para a raiz. O K_2SiO_3 favoreceu o aumento da área foliar e incrementos na produção de massa seca da parte aérea. Os métodos rustificativos também foram eficientes em promover alterações fisiológicas nas mudas, como sinalizadores dos mecanismos de defesa das plantas. A aplicação de K_2SiO_3 destacou-se por proporcionar maior incremento no teor de lignina e maior eficiência do uso da água, em condições favoráveis de fornecimento hídrico.

Em condição de restrição hídrica mudas de *G. integrifolia* apresentaram-se mais sensíveis ao déficit de água em comparação as mudas de *E. uniflora*. Porém, ambas as espécies apresentaram respostas em relação aos tratamentos rustificativos, com modulações das relações hídricas como mecanismos de defesa ao estresse.

De modo geral, pode-se concluir que os métodos de rustificação com MeJa e K_2SiO_3 foram eficazes na indução de respostas de defesa das mudas quando submetidas a condição de estresse em vasos. No entanto, ressalta-se que novos estudos devem ser realizados, com a condução a campo para ter a comprovação da eficácia dos produtos no estabelecimento pós-plantio.