

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA ECOFISIOLOGIA DE
MUDAS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi SOB ALAGAMENTO**

DIEGO SAMPAIO MARQUES TORRACA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

**SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE
Schinus terebinthifolia Raddi SOB ALAGAMENTO**

DIEGO SAMPAIO MARQUES TORRACA

Orientador: Prof. Dr. CLEBERTON CORREIA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Curso de
Bacharelado em Agronomia, para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2020

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
4. CONCLUSÃO	23
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

SILÍCIO E ÁCIDO SALICÍLICO NA ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi SOB ALAGAMENTO

RESUMO

Schinus terebinthifolia Raddi (pimenta rosa, Anacardiaceae) é uma espécie arbórea e frutífera, encontrada em diversas fitofisionomias. Entretanto, alteração no status hídricos, tal como o alagamento temporário, pode ocasionar danos ao aparato fotossintético e crescimento inicial dessa espécie. Assim, o uso de agentes que possam mitigar esses efeitos deletérios devem ser elucidados. A fim de testar o potencial mitigador do silício e ácido salicílico, objetivou-se avaliar o efeito de doses desses produtos em mudas de *S. terebinthifolia* submetidas a dois períodos de alagamento. As mudas foram submetidas a dois regimes hídricos: controle e alagamento, sendo que as mudas alagadas foram associadas ao uso de agentes mitigadores do estresse, com e sem aplicação de silício (Si) e ácido salicílico (AS), constituindo seis tratamentos: T1) controle (não alagado)= irrigação realizada diariamente, mantendo 75% da capacidade de retenção de água no substrato; T2) Alagamento (A)= acondicionamento das mudas em piscina plástica com capacidade de 500 L, mantendo lâmina d'água $\pm 2,0$ cm acima do nível do substrato; T3) A + 1,0 mM de Si; T4) A + 2,0 mM de Si; T5) A + 1,5 mM de AS; T6) A + 3,0 mM de AS. Aos 15 e 30 dias após a submissão das mudas aos diferentes tratamentos foram realizadas avaliação das características não destrutivas, enquanto que para as características destrutivas, apenas aos 30 dias. As mudas alagadas apresentaram formação de lenticelas hipertrofiadas no caule aos sete dias de alagamento, indicando mecanismos de adaptação ecológica. A espécie apresenta sensibilidade ao alagamento, embora mantenha estável as trocas gasosas por até 15 dias nessa condição. A aplicação de 1,0 mM de Si mitigou a queda pronunciada das trocas gasosas. As duas doses de Si e AS contribuíram na integridade do aparato fotoquímico e atividades nos centros de reação. Ao utilizar 1,0 mM de Si e 3,0 mM de AS, as mudas de *S. terebinthifolia* apresentaram maior produção de biomassa e índice de qualidade. A utilização do silício e ácido salicílico favorece a regulação metabólica e morfométrica de mudas de *S. terebinthifolia* submetidas ao alagamento.

Palavras-chave: estresse oxidativo, fotossistema II, pimenta rosa, trocas gasosas.

1 INTRODUÇÃO

A *Schinus terebinthifolia* Raddi (Anacardiaceae), espécie pioneira, conhecida popularmente por pimenta rosa, aroeira, aroeira-da-praia ou aroeira-do-sertão, é uma arbórea frutífera encontrada em diversos países, incluindo o Brasil, em suas diferentes fitofisionomias. Na fase adulta, a planta pode atingir até 10 m de altura, e seus frutos pequenos avermelhados são atrativos a avifauna (LORENZI et al., 2008).

As folhas, cascas, frutos e sementes da espécie apresentam compostos fenólicos, atribuindo seu potencial de uso medicinal por atividade anti-inflamatória, cicatrizante e antimicrobiana (CARVALHO et al., 2019), e os frutos também podem ser utilizados na gastronomia. Além disso, em virtude de a espécie apresentar rápido crescimento, suas mudas podem ser inseridas em sistemas integrados de produção, tal como agroflorestas e na recomposição florestal de áreas perturbadas e/ou degradadas, tornando-se uma espécie com potencial silvicultural.

No entanto, muitas regiões, das diferentes fitofisionomias no Cerrado, como áreas próximas a matas de galeria ou ripárias ou várzeas estão sujeitas ao estresse hídrico por alagamento do solo em função do aumento do volume hídrico no lençol freático (ROSA et al., 2015), podendo ocasionar uma condição de estresse para as espécies que estão inseridas nessas localidades. As inundações eliminam os espaços de ar no solo, limitando as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, promovendo um ambiente hipóxico ou anóxico, em função do consumo do O₂ pelos microrganismos e raízes (VIDAL et al., 2019).

Nessas condições, as plantas podem apresentar senescência foliar prematura, redução da condutância estomática, da assimilação de CO₂ (A), do volume radicular e da parte aérea (VIDAL et al., 2019), além de apresentar modificações morfo-anatômicas, tais como formação de raízes adventícias e lenticelas hipertrófica, levando à sua adaptação ecológica (JUNGLOS et al., 2018). Desse modo, a redução na concentração de O₂ torna-se limitante ao metabolismo fotossintético e crescimento das plantas, especialmente por apresentarem demandas metabólicas elevadas (GOLÇALVES et al.,

2013), ocasionando maior gasto energético, podendo dificultar os processos metabólicos e de diferenciação morfológica das mudas em virtude do estresse oxidativo.

Neste sentido, torna-se necessário estabelecer práticas, tal como a aplicação de silício e ácido salicílico na forma de pré-condicionamento (*priming*), que possam mitigar os danos ao aparato fotossintético e contribuir positivamente na tolerância ecológica das espécies arbóreas a condições adversas, bem como conhecer a sensibilidade e a capacidade de resiliência da *S. terebinthifolia*. O uso de silício (Si) na forma de silicatos tem-se mostrado como prática promissora na agricultura por ser um elemento benéfico (ETESAMI e JEONG, 2017; ALOVISI et al., 2018).

O Si atenua os efeitos do déficit hídrico nas plantas por aumentar a eficiência do uso da água, além de promover melhorias nas vias metabólicas, resultando em adaptações às mudanças ambientais (SILVA et al., 2019). Na planta, o Si atua propiciando maior rigidez estrutural do tecido (LIMA et al., 2019), aumentando a eficiência nutricional e fotossintética, regulação estomática, além de estar associado a sinalização de fitohormônios, expressões gênicas e outros benefícios ao sistema antioxidante das plantas (MANIVANNAN e AHN, 2017; NEVES et al., 2019).

O ácido salicílico, um fitohormônio de natureza fenólica, tem importância na manutenção das atividades fotoquímicas no fotossistema II (FS II) e performance fisiológica, atuando no crescimento das plantas e possibilitando o aumento de enzimas antioxidantes, visando atenuar os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio – EROs (CORTES et al., 2019; SILVA et al., 2019), além de retardar a degradação da proteína D1 e danos funcionais no FS II, promovendo estabilidade da transferência de elétrons nos centros de reação e na taxa fotossintética (HOU et al., 2019; POÓR et al., 2019).

Considerando o fato da *S. terebinthifolia* ser encontrada em diferentes fitofisionomias com solos úmidos e drenados, buscamos por meio desse estudo responder os seguintes questionamentos: i) mudas de *S. terebinthifolia* apresentam sensibilidade ao alagamento? ii) modificações morfo-anatômicas atenua o efeito estresse do alagamento? iii) o *priming* com Si e AS contribuem na atenuação dos danos ao aparato fotossintético sob essa condição de estresse? iv) as doses dos produtos e o tempo de exposição ao alagamento influenciam na capacidade adaptativa da espécie?

A partir dessas premissas, objetivou-se avaliar o potencial do silício e ácido salicílico como agentes mitigadores sobre as respostas ecofisiológicas e crescimento inicial de mudas de *S. terebinthifolia* submetidas ao alagamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições gerais

Os frutos maduros de *S. terebinthifolia* foram coletados (Registro de Acesso nº A9CDAAE – CGEN-MMA, de 15/10/2018) de matrizes localizadas no Horto de Plantas Medicinais (Figuras 1a–b) (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), da UFGD. Posteriormente, foram beneficiados manualmente e realizou-se a semeadura em bandejas de poliestireno expandido de 128 células preenchidas com substrato Tropstrato® (Figura 1c), mantidas sob 50% de sombreamento e irrigação realizada diariamente. Quando as plântulas atingiram altura média de 7,0 cm foram transplantadas para vasos plásticos de 2 kg preenchidos com Latossolo Vermelho Distroférrico (SANTOS et al., 2018), até que as mudas apresentassem altura média de 20,0 cm (Figura 1d), momento em que essas foram submetidas às condições experimentais (Item 2.2).

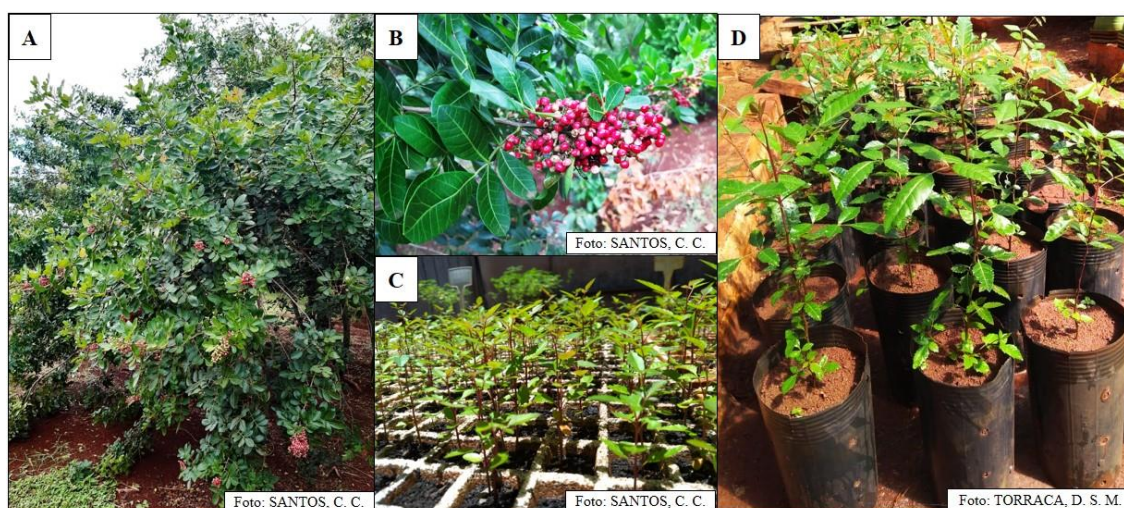


FIGURA 1. Planta adulta (a), frutos (b), plântulas (c) e mudas em vasos (d) de *Schinus terebinthifolia* Raddi.

2.2. Tratamentos

O experimento foi realizado sob viveiro de 30% de sombreamento utilizando tela de nylon com coloração preta (Sombrite®). As mudas foram submetidas a dois regimes hídricos: controle e alagamento, sendo que as mudas alagadas foram associadas com e sem aplicação de silício (Si) e ácido salicílico (AS), constituindo seis tratamentos:

T1) controle (não alagado)= irrigação realizada diariamente, mantendo 75% da capacidade de retenção de água no substrato; T2) Alagamento (A)= acondicionamento das mudas em piscina plástica com capacidade de 500 L, mantendo lâmina d'água $\pm 2,0$ cm acima do nível do substrato (Figura 2); T3) A + 1,0 mM de Si; T4) A + 2,0 mM de Si; T5) A + 1,5 mM de AS; T6) A + 3,0 mM de AS.



FIGURA 2. Mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob condição de alagamento. Fonte: Diego S. Marques Torraca (2020).

Foram realizadas duas aplicações dos produtos na face abaxial e adaxial das folhas, até ponto de gotejamento ($10 \text{ mL planta}^{-1}$) em intervalos de 24h, três dias antes da submissão das mudas ao alagamento, utilizando como fonte de Si e AS o silicato de potássio (K_2SiO_3 ; 12% Si) e o ácido salicílico P.A., respectivamente. No preparo da calda (solução) foi adicionado $2,0 \text{ mL L}^{-1}$ de adjuvante LI 700 visando favorecer a aderência dos produtos nas folhas. Semanalmente, foi feita a limpeza e troca da água visando evitar a proliferação de larvas de insetos. As condições do ambiente e da água encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Condições do ambiente e da água nos dois períodos de avaliação das mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. UFGD, Dourados – MS, 2020.

Condições ambientais	Período de avaliação (dias)	
	15	30
Radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	913,92	852,37
Concentração de CO_2 atmosférico (ppm)	437,12	447,91
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	23,7	25,5
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	23,9	26,3
Umidade relativa mínima (%)	43	65
Umidade relativa máxima (%)	50	71
Água		
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-2}$) ¹	0,076	0,073
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ²	19,9	22,3

¹Condutivímetro portátil TDS & EC – Meter Hold; ²Termômetro infravermelho Raytek.

2.3. Características avaliadas

Aos 15 e 30 dias após a submissão das mudas aos diferentes tratamentos foram realizadas avaliação das características não destrutivas, e apenas aos 30 dias foram feitas as avaliações destrutivas:

(a) Sobrevivência: contabilizado o número de plantas vivas tendo como critério a presença de folhas verdes totalmente expandidas e fotossíntese $>$ de $1,00 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

(b) Estruturas morfo-anatômicas: foram realizadas observações visuais e registros fotográficos quanto à emissão de lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias.

(c) Trocas gasosas: foi quantificada a taxa de assimilação de CO_2 (fotossíntese) (A ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 (C_i ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s ; $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando-se medidor de fotossíntese portátil LCIPRO-SD (IRGA – *Infra Red Gas Analyzer*) (Modelo ADC BioScientific Ltd.), entre às 8 e 10h. Posteriormente, foram calculadas as eficiências

do uso da água (EUA ; $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) e de carboxilação da Rubisco (A/C_i ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando as relações A/E e A/C_i , respectivamente.

(d) Processos fotoquímicos no fotossistema II: as folhas foram submetidas à condição de escuro, com cliques foliares por 30 minutos. Utilizando fluorômetro portátil (OS-30p; Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, NY, USA), sob flash de $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ foram quantificadas as eficiências quântica fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m), de conversão de energia absorvida (F_v/F_0), além do rendimento máximo dos processos não fotoquímico (F_0/F_m), sendo os resultados expressos em elétrons quantum^{-1} .

(e) Crescimento inicial: foi determinada a altura das plantas com régua graduada em milímetros, tendo como padrão de avaliação, a distância entre o coleto e a inflexão da folha mais alta (cm), diâmetro do coleto (mm) ($\pm 2,0$ cm acima do nível do substrato), e contabilizado o número de folhas expandidas. Utilizando a terceira folha totalmente expandida de cada muda foi determinada a clorofila a , b e total ($a + b$) utilizando clorofilômetro portátil ClorofiLOG CFL 1030 (Falker), entre as 8 às 10h.

(f) Produção de biomassa: as mudas foram coletadas e separadas em diferentes folhas, caules e raízes, sendo determinada a área foliar utilizando integrador de área (LI-COR, 3100 C – Area Meter, Nebraska – USA) e medido o comprimento da maior raiz (cm). Os diferentes órgãos foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 60 ± 5 °C, obter massa seca constante, e posteriormente pesados em balança de precisão (0,0001 g).

(g) Índices de qualidade de mudas: calculado utilizando os dados de crescimento e fitomassa seca de acordo com a metodologia de Dickson et al. (1960).

2.4. Delineamento experimental e análises estatísticas

Os tratamentos foram arranjados em esquema de subparcelas, sendo alocados nas parcelas os tratamentos, e na subparcelas os períodos de avaliação. O delineamento

experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições ($n= 3$), sendo que cada unidade experimental foi constituída de três vasos com uma muda cada.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste t de Bonferroni para períodos de avaliação, e pelo teste de Scott-Knott para os tratamentos ($p < 0,05$), utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, embora todas as mudas tiveram 100% de sobrevivência, o alagamento reduziu as características do metabolismo fotossintético e do crescimento inicial das mudas de *S. terebinthifolia*, demonstrando que essa espécie apresenta sensibilidade a essa condição, mas a aplicação de silício e ácido salicílico atenuou esses efeitos deletérios, comprovando nossa hipótese inicial. Todavia, as respostas das mudas variam em função das doses dos produtos e dos períodos de avaliação (tempo de alagamento).

Aos sete dias de alagamento, as mudas começaram a apresentar lenticelas hipertrofiadas nos caules (Figura 3a), sendo que aos 15 e 30 dias observou-se, aumento dessas estruturas (Figura 3b–c), especialmente nas mudas que receberam aplicação de Si e AS, enquanto que àquelas alagadas sem nenhum dos produtos tiveram menor índice visual de emissão dessa estrutura morfo-anatômica. O surgimento de adaptações morfológicas, dentre elas as raízes adventícias e lenticelas contribui na tolerância ecológica das espécies sob condições de alagamento (FERREIRA et al., 2006). De acordo com Junglos et al. (2018) as lenticelas associadas a um tecido esponjoso, favorecem a troca de gases entre os tecidos internos e o ambiente externo.

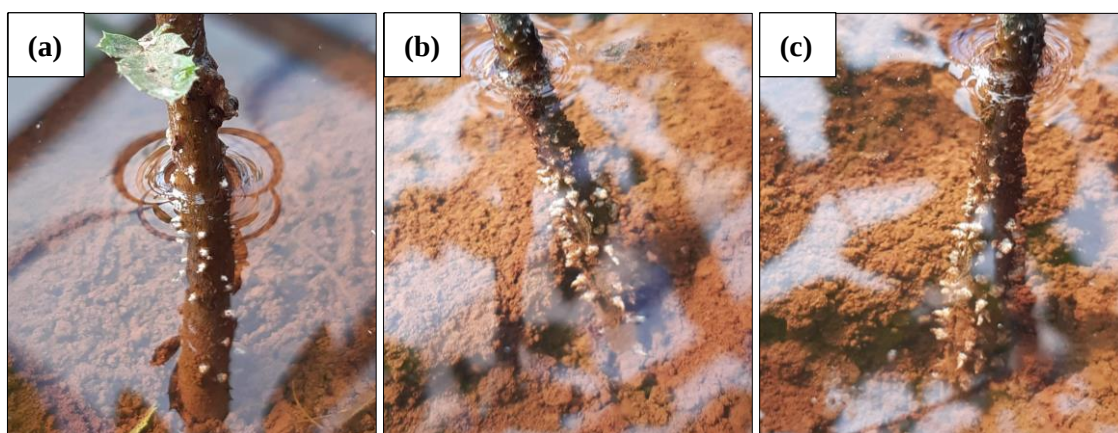


FIGURA 3. Aspecto visual de lenticelas hipertrofiadas em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob alagamento aos 7 (a), 15 (b) e 30(c) dias de alagamento. Fonte: Diego S. Marques Torraca (2020).

As mudas tratadas com Si e AS apresentarem lenticelas bem desenvolvidas, sendo esse fato associado ao efeito *priming*, da aplicação desses produtos antes da submissão à condição de estresse, os quais induzem a sinalização de enzimas, que por sua

vez aceleram o processo das atividades de reparo de danos (ETESAMI e JEONG, 2017; HOU et al., 2019); Assim, quando as mudas foram submetidas ao alagamento, essas já estavam com atividades do metabolismo antioxidante mais estáveis e emitiram estruturas adaptativas mais rapidamente em comparação àquelas que ainda não haviam sido pré-condicionadas.

As características das trocas gasosas foram influenciadas pela interação entre os tratamentos e períodos de alagamento (Figura 4). A taxa fotossintética (A) das mudas de *S. terebinthifolia* aos 15 dias manteve-se alta mesmo sob alagamento (A) e naquelas alagadas e tratadas com silício ($A + 1,0 \text{ mM Si}$), $11,01$ e $12,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, ressaltando que não diferiram estatisticamente das mudas não alagadas ($12,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto que nos demais tratamentos verificou-se redução da A , nesse mesmo período de avaliação (Figura 4a). A estabilidade de A nesse período e nessas condições indica tolerância fisiológica dessa espécie a períodos curtos de estresse por meio de ajustes morfológicos, tal como o surgimento das lenticelas (Figura 3) as quais favoreceram ajustes metabólicos.

Entretanto, à medida que a planta fica exposta à condição de estresse ocorre decréscimo/desestabilização dos processos metabólicos (OLIVEIRA e GUALTIERI, 2017). A redução da A pode ser atribuída ao fechamento estomático e ao declínio na etapa fotoquímica da fotossíntese em função do levando ao aumento da C_i (ROSA et al., 2018). Com o aumento da exposição da planta ao alagamento pode ocorrer produção de EROS devido a atividade de enzima álcool desidrogenase (ADH) aumentando de maneira pronunciada a atividade das enzimas fermentativas, isto é, a obtenção de energia nessa condição ocorre principalmente pela fermentação alcoólica (BORELLA et al., 2019), reduzindo a capacidade fotossintética das plantas.

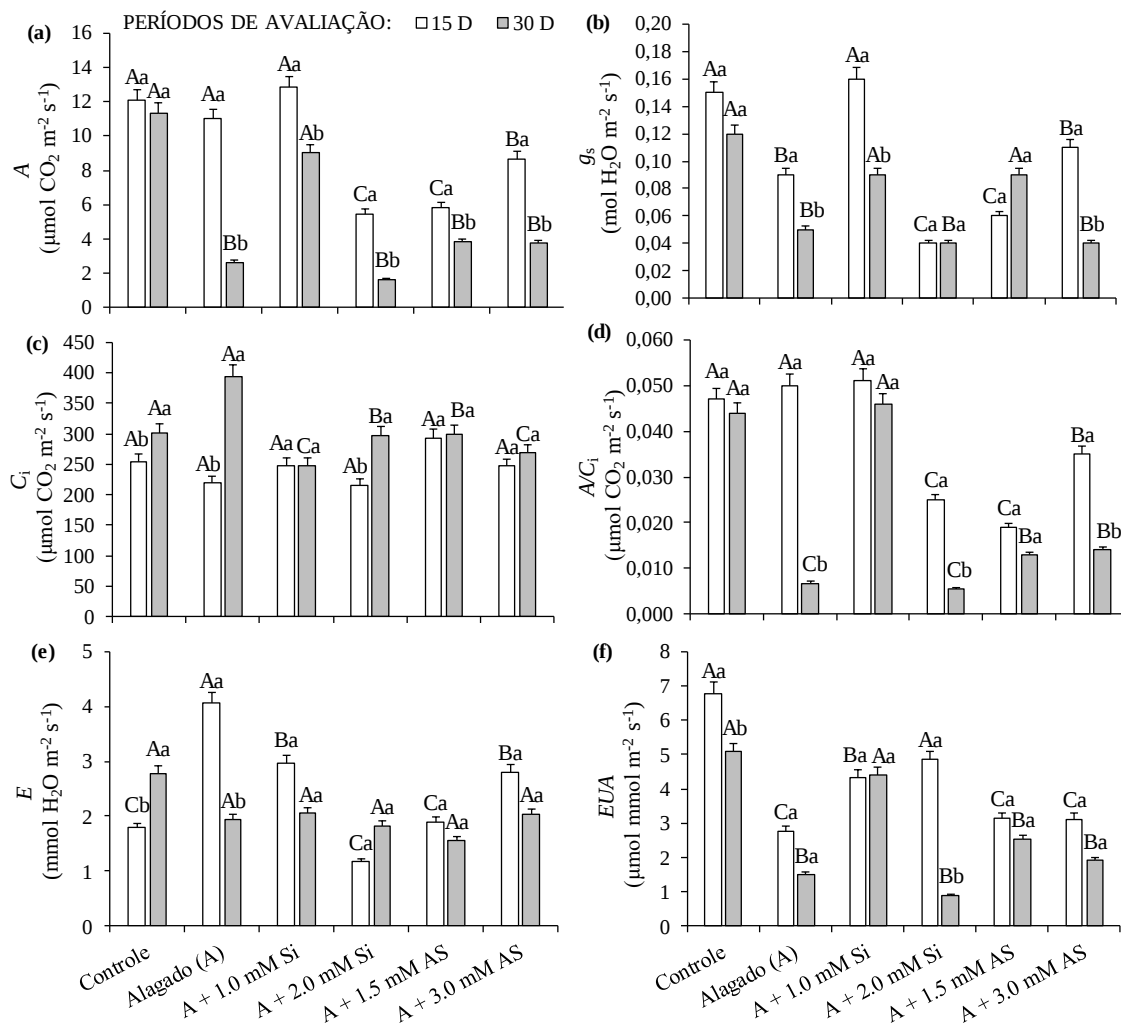


FIGURA 4. Fotossíntese – A (a), condutância estomática – g_s (b), concentração intercelular de CO_2 – C_i (c), eficiência de carboxilação da Rubisco – A/C_i (d), transpiração – E (e) e eficiência do uso da água (EUA) (f) em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob controle (não alagado) e alagamento em associação ao uso do Si e AS, sob dois períodos de avaliação (15 e 30 dias). Letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada período de avaliação (Scott-Knott; $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os dois períodos de avaliação em cada tratamento (t de Bonferroni; $p < 0,05$).

No entanto, apenas as mudas alagadas que receberam 1,0 mM Si mantiveram o valor de A ($9,02 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) elevado, em comparação as mudas sob essa condição adversa, sem e com aplicação das demais doses do Si e AS, aos 30 dias. Nesse período observamos manutenção de 79% da taxa fotossintética das mudas cultivadas sob A + 1,0 mM Si quando comparadas as sob controle. (100%). Nesse mesmo tratamento as mudas

apresentaram manutenção de 56 e 64% de A em relação às aquelas com menores valores (2,62 e 1,68 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), isto é, sob A e $A + 2,0 \text{ mM Si}$, respectivamente, todos em comparação ao controle aos 30 dias.

A mitigação da queda acentuada da A com 1,0 mM de Si deve-se ao fato desse elemento contribuir na proteção do aparato fotossintético proporcionado pela adição do Si nas folhas, o que possivelmente favoreceu a atividade de enzimas antioxidantes que atuam no reparo dos danos celulares pela desintoxicação das EROs, aumentando a funcionalidade da ultraestrutura do cloroplasto e síntese de pigmentos fotossintéticos (ETESAMI e JEONG, 2017), estabilizando os processos metabólicos.

Quanto à condutância estomática (g_s), as respostas das mudas foram semelhantes ao de A , ou seja, os valores mantiveram elevados nas mudas sob $A + 1,0 \text{ mM Si}$ sendo que apresentaram valores semelhantes aos das mudas não alagadas, aos 15 dias, enquanto que as alagadas tiveram seus valores reduzidos nos períodos. No período de 30 dias as mudas sob $A + 1,0 \text{ mM Si}$ e $A + 1,5 \text{ mM AS}$ mantiveram valores de g_s próximos (0,09 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos das plantas não alagadas. O silício é depositado nas folhas levando à diminuição da transpiração, regulando as trocas gasosas e a captação de CO_2 , melhorando a eficiência da fotossíntese (XIE et al., 2015). Ressalta-se que aos 15 e 30 dias, as mudas sob $A + 2,0 \text{ mM Si}$ apresentaram menores valores de g_s , ambos com 0,04 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4b). Observa-se que doses elevadas desse elemento podem promover uma deposição excessiva sobre os poros estomáticos, ocasionando depleção das trocas gasosas e limitações estomáticas.

A manutenção das trocas gasosas semelhante as mudas não alagadas, também foi observado no trabalho de Oliveira e Gualtieri (2017) no qual relatam que ocorreu uma adaptação da planta a longos períodos de inundação devido a manutenção de taxas constantes de g_s . Porém, Gamir et al. (2011), verificaram que mudas cítricas tiveram redução na g_s quando alagadas por períodos curtos. Similarmente, plantas de *Physocarpus amurensis* Maxim e *Physocarpus opulifolius* também reduziram a taxa fotossintética a valores próximos a zero aos 16 dias de alagamento (ZHANG et al., 2017).

A concentração intercelular de CO_2 (C_i) não variou em função dos tratamentos aos 15 dias. Entretanto, aos 30 dias, o valor de C_i nas mudas alagadas sem nenhum tratamento aumentou de maneira pronunciada (393 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) quando comparado aos demais

tratamentos, que mantiveram menores valores dessa característica, especialmente daquelas sob A + 1,0 mM Si ($247,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), nesse mesmo período (Figura 4c). O aumento dessa característica representa que a maior parte do CO_2 está armazenado ao invés de ser assimilado, indicando ineficiência enzimática da Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (RUBISCO), comprometendo os demais processos metabólicos e produção de fotoassimilados.

Assim, constatamos que a eficiência de carboxilação – (A/C_i) no período de 15 dias reduziu nas mudas cultivadas sob A + 2,0 mM Si, A + 1,5 mM AS e A + 3,0 mM AS, apresentando valores de 0,025, 0,019 e 0,035 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Valores baixos de A/C_i podem ser reflexo dos danos causados por condições prolongadas de falta de O_2 no substrato, promovendo colapsos no aparato fotossintético das mudas expostas ao alagamento por mais tempo, comprometendo a atividade da RUBISCO (ROSA et al., 2018).

Porém, aos 30 dias, as mudas que receberam aplicação de 1,0 mM Si, apresentaram manutenção da A/C_i , enquanto os menores valores ocorreram nas mudas cultivadas sob alagamento e A + 2,0 mM Si ((Figura 4d). A aplicação de Si e AS promove a eficiência da RUBISCO, pois esses elementos favorecem a proteção do aparato fotossintético de radicais livres em função de maior ação de enzimas antioxidantes, tais como catalase, superóxido dismutase, entre outras (NAZAR et al., 2015). Assim, com base em nossos resultados observa-se o benefício do *priming* com Si e AS para a *S. terebinthifolia* como estratégia de atenuar limitações estomáticas e não estomáticas, entretanto deve-se verificar a dose adequada de cada produto.

O maior valor de transpiração (E) foi observado nas mudas alagadas por 15 dias ($4,05 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o menor valor no tratamento A + 2,0 mM de Si ($1,17 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em), nesse mesmo período (Figura 4e). A menor E está associada a menor g_s nessa mesma condição de cultivo, porém, aos 30 dias, as mudas alagadas e alagadas com aplicação de Si e AS permaneceram com valores próximos ao das mudas não alagadas (Figura 4).

Segundo Oliveira e Gualtieri (2017), em espécies lenhosas observa-se sobrevivência das plantas em condição de alagamento, isso deve-se por conta do aparecimento de lenticelas hipertrofiadas levando ao equilíbrio das taxas fotossintéticas

por determinados períodos, além da redução da transpiração devido a ineficiência do controle estomático nas espécies submetidas ao alagamento. Porém, como visto por Santos et al. (2006), espécies submetidas ao alagamento por longos períodos por estresses ambientais, os fatores não-estomáticos, como alterações nas enzimas de carboxilação ou a degradação de pigmentos, podem levar a decréscimos nas taxas de assimilação de CO₂, tal como ocorreu com a *S. terebinthifolia* aos 30 dias.

No que refere-se a eficiência do uso da água (*EUA*) no período de 15 dias, apenas as mudas sob A + 2,0 mM Si apresentaram valor próximo (4,86 H₂O m⁻² s⁻¹) ao das mudas não alagadas (6,78 H₂O m⁻² s⁻¹), uma vez que essas diferiram-se estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 4f). Quanto ao tempo de exposição ao alagamento, os valores da *EUA* aos 30 dias reduziram em relação aqueles observados aos 15 dias, exceto quando cultivadas sob A + 1,0 mM Si, pois mantiveram-se próximos e não diferiram estatisticamente entre os dois períodos de alagamento, com valores de 4,32 e 4,41 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Ressalta-se, em que esses valores mantiveram semelhantes ao das plantas controle aos 30 dias (Figura 4f), indicando estabilidade tanto na assimilação de CO₂ quanto na transpiração foliar, reforçando o efeito benéfico dessas doses na regulação hídrica. Rosa et al. (2018) observaram que valores mais elevados de *EUA* indicam maior plasticidade fisiológica diante das adversidades bióticas e abióticas a que as espécies estão expostas.

O menor valor da eficiência fotoquímica no FS II (F_v/F_m) foi de 0,729 elétrons quantum⁻¹ nas mudas alagadas, enquanto que nos demais tratamentos os valores mantiveram-se altos (Figura 5a). O ácido salicílico e o silício, independente da dose, preveniram a inibição enzimática e colapsos na membrana, retardando degradação da proteína D₁ e danos nos centros de reação (GHASSEMI-GOLEZANI e LOTFI, 2015; MIMOUNI et al., 2016), promovendo a estabilidade dos processos fotoquímicos no FS II.

Por outro lado, a eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) foi influenciada pelos períodos de avaliação, sendo que sob menor tempo de exposição (15 dias) ocorreu maior valor (3,952 elétrons quantum⁻¹) (Figura 5b). Esse resultado demonstra que sob maior período de exposição (30 dias) à essa condição adversa, ocorre redução do potencial coletor de luz e posterior transferência para o complexo da antena,

sendo essa razão em associação a F_v/F_m os componentes mais sensíveis na cadeia de transporte de elétrons (GHASSEMI-GOLEZANI e LOTFI, 2015), e quanto maiores essas razões melhor será a performance dos processos metabólicos da fotossíntese.

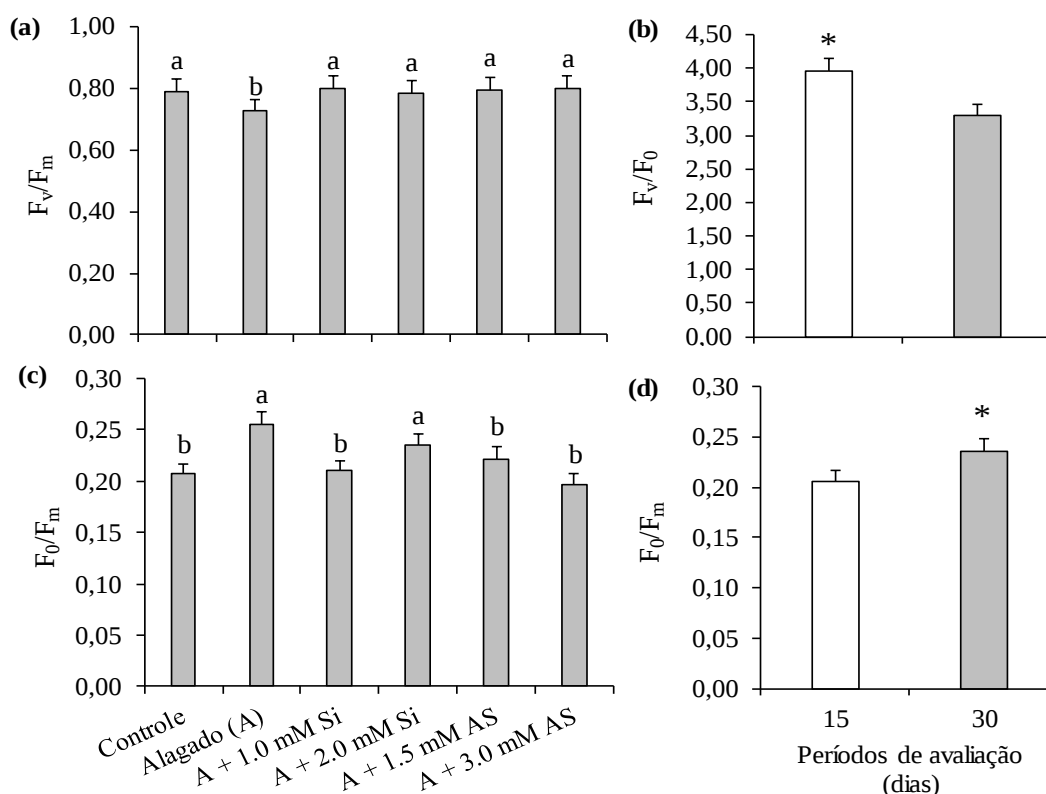


FIGURA 5. Eficiência quântica fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) (a), eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) (b), rendimento máximo dos processos não fotoquímico (F_0/F_m) (c - d) em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob controle (não alagado) e alagamento em associação ao uso do Si e AS, sob dois períodos de avaliação (15 e 30 dias). Letras iguais não diferem entre si (a-c, Scott-Knott; $p < 0,05$); (b-d; t de Bonferroni; $p < 0,05$).

Quanto ao rendimento máximo não fotoquímico (F_0/F_m) as mudas apresentaram maiores valores quando submetidas ao alagamento (A) ou A + 2,0 mM Si (0,255 e 0,235 elétrons quantum⁻¹, respectivamente) (Figura 5c), e aos 30 dias (0,236 elétrons quantum⁻¹) (Figura 5d), reforçando que nessas condições ocorre redução significativa no aproveitamento energético. Sob alagamento ocorre a instabilidade de transferência de elétrons pelos danos aos cloroplastos promovidos pelo aumento da C_i (Figura 4c) e maior gasto de ATP e NADPH, uma vez que a maior parte da energia luminosa convertida em

química é direcionada para as EROs ou dissipada na forma de fluorescência (ZHANG et al., 2017; SASIDHARAN et al., 2018), ocasionando menor eficiência fotoquímica.

A altura de plantas, número de folhas, clorofila *b* e clorofila total foi influenciada pelos tratamentos, independente dos períodos de avaliação (Figura 6). Sob alagamento e A + 1,5 mM AS, as mudas apresentaram menor altura (26,15 e 29,65 cm, respectivamente) (Figura 6a). Contudo, os valores da altura das mudas mesmo alagadas com as duas doses de Si e com 3,0 mM AS não diferiram estatisticamente das não alagadas, indicando estabilidade na produção de fotoassimilados e investimento em caracteres morfológicos.

O fornecimento de Si pode afetar positivamente a absorção de nutrientes, como N e outros cátions que contribuem no crescimento das plantas (SILVA JÚNIOR et al., 2019). Quanto ao AS, esse resultado pode ser atribuído à sua participação em diversos processos metabólicos, especialmente otimização do uso da água e regulação dos processos metabólicos, resultando no incremento em crescimento (SARACHO et al., 2021).

O incremento dos indicadores de crescimento em plantas tratadas com Si e/ou AS tem sido verificado, demonstrando seus efeitos mitigadores sobre os distúrbios do estresse abiótico, indicando que esses produtos podem aumentar a tolerância das plantas a estresses (MELO-FILHO et al., 2019; SILVA et al., 2019). Mudas de *S. terebinthifolia* submetidas ao estresse hídrico e aplicação exógena de AS apresentaram maior crescimento quando cultivada sob saturação hídrica (100% da capacidade de retenção de água diariamente) e falta de água por 12 dias, reforçando o potencial do AS em mitigar o estresse (SARACHO et al. 2021)

Carvalho et al. (2016) observaram em mudas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert que o maior crescimento da parte aérea ocorreu nos 15 primeiros dias de alagamento, sugerindo que esse aumento foi uma resposta à condição de inundação como estratégia de manter as folhas acima do nível da água.

O menor número de folhas foi observado nas mudas alagadas (14,5 folhas); sendo que as mudas alagadas com aplicação do AS e o Si, especialmente com 1,0 mM Si e 1,5 mM AS, mantiveram valores próximos ao das não alagadas (Figura 6b). Medri et al. (2011) relatam que sob alagamento ocorre redução de folhas em resposta ao aumento

de etileno no tecido foliar, promovendo a abscisão foliar, tal como em *Aegiphila sellowiana* Cham.

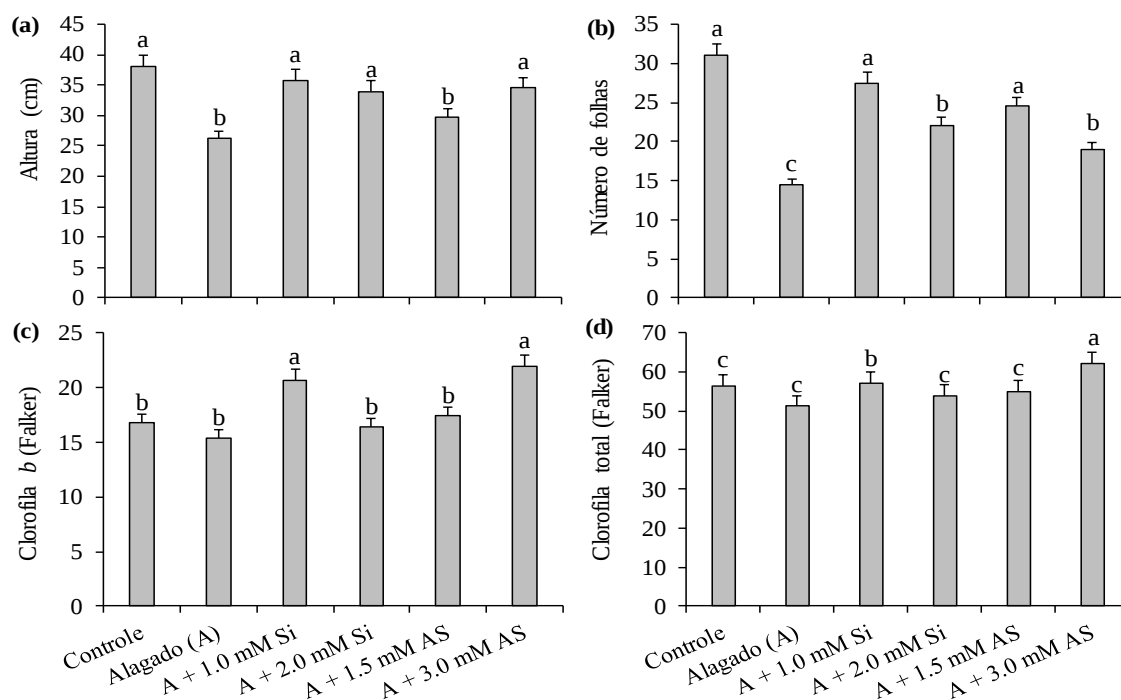


FIGURA 6. Altura (a), número de folhas (b), clorofila *b* (c) e clorofila total (d) em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob controle (não alagado) e alagamento em associação ao uso do Si e AS, sob dois períodos de avaliação (15 e 30 dias). Letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott; $p < 0,05$).

Os maiores índices de clorofila *b* (20,61 e 21,88 Falker) e total (57,10 e 61,95 Falker) ocorreram nas mudas sob A + 1,0 mM Si e A + 3,0 mM AS, respectivamente, enquanto que nos demais tratamentos os valores foram menores, embora não diferiram-se ao das plantas não alagadas (Figuras 6c–d). O alagamento pouco influenciou a síntese de pigmentos clorofilianos, mas com 1,0 mM Si e 3,0 mM AS elevaram os valores de pigmentos clorofilianos. Entretanto, deve-se ressaltar que as respostas morfofisiológicas variam em função da sensibilidade de cada espécie e habitats que são encontradas. Mudas de *Cedrela fissilis* Vell. apresentaram incremento gradativo nos teores de clorofilas conforme aumento do tempo de inundação (BINOTTO et al., 2016).

A área foliar (AF) das mudas cultivadas sob A e A + 1,5 mM AS (91,66 e 187 cm²) foi menor, enquanto que nos demais tratamentos os valores não diferiam entre si,

sendo observado com incremento nas mudas sob A + 1,0 mM Si (398 cm²) (Figura 7a). Esse resultado pode estar associado a maior estabilidade das relações hídricas, tal como observado na g_s e EUA , contribuindo no incremento do número de folhas, consequentemente na área foliar. Quando as plantas apresentam ajustes metabólicos do uso interno da água, o efeito do etileno é reduzido, promovendo menor abscisão foliar, tal como observado em *Peltophorum dubium* (Sprengel) (CARVALHO et al., 2016). De maneira semelhante, plantas de *Capsicum annuum* L. também apresentaram incremento de AF com aplicação de Si (PERREIRA et al., 2019).

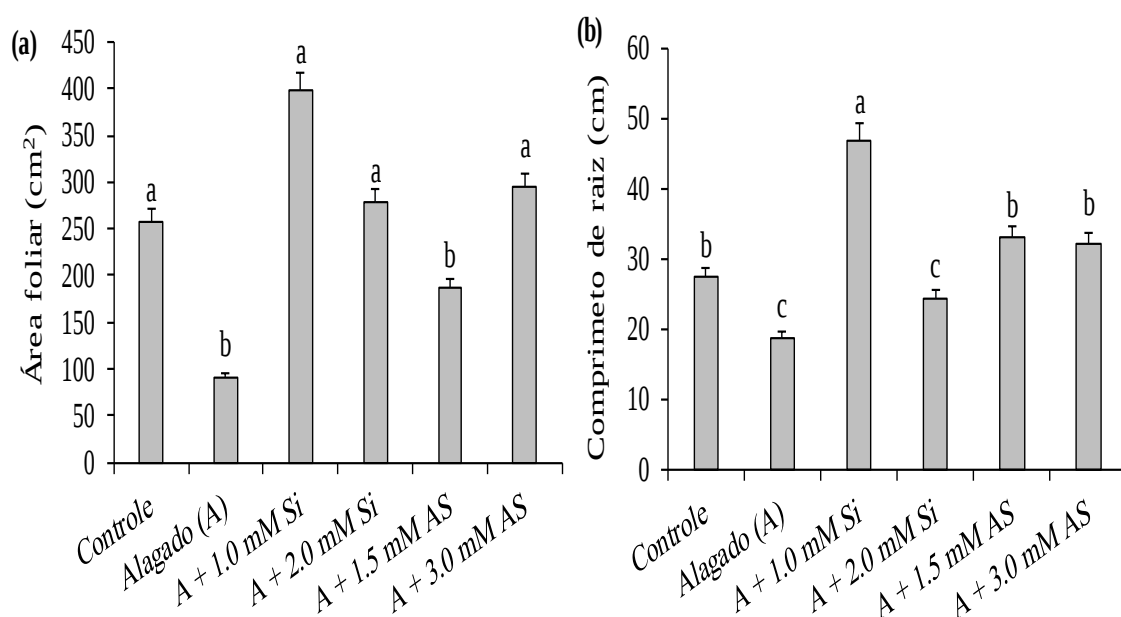


FIGURA 7. Área foliar (a) e comprimento de raiz (b) em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob controle (não alagado) e alagamento em associação ao uso do Si e AS, sob dois períodos de avaliação (15 e 30 dias). Letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott; $p < 0,05$).

O comprimento da raiz (CR) foi menor nas mudas submetidas ao alagamento (A) e A + 2,0 Mm de Si (18,66 e 24,35 cm, respectivamente), e o maior crescimento de raiz (47 cm) ocorreu sob A + 1.0 mM Si. Ressalta-se que os valores de CR em A + 1.5 mM AS e A + 3.0 mM AS não diferiram-se diferem estatisticamente das mudas não alagadas (Figura 7b). A redução no crescimento da raiz possivelmente está associado ao fato de a planta na condição alagada apresentar maior gasto energético e menor produção

de ATP, reduzindo a elongação tanto em comprimento da parte aérea como do sistema radicular a fim de regular o metabolismo quando em solos deficientes em O₂ (CARVALHO et al., 2016).

No entanto, Kim et al. (2015) afirmam que o silício atenuou os efeitos sobre a biomassa da planta, pois o Si tem relação com a sinalização hormonal e favorece o aumento de enzimas antioxidante atuando no reparo de danos gerados pelas EROs, estabilizando as atividades enzimáticas, sendo assim um indicativo de diminuição nos distúrbios na membrana e redução da indução de estresse oxidativo, favorecendo o crescimento em plantas tratadas com Si.

Além disso, as raízes de *S. terebinthifolia* alagadas mudaram de coloração roxa para tonalidade escurecida, indicando oxidação. Isso, porque em condições de anoxia/hipoxia ocorre a produção excessiva de etanol em função do aumento da atividade enzimática associada a respiração anaeróbica, ou seja, devido ao baixo fornecimento de O₂ ocorre aceleração da glicólise e a respiração anaeróbica promove o excesso de produção de ácido pela lactato desidrogenase para compensar a baixa produção de energia em respiração (LOBO e JOLY, 2000; VIDAL et al., 2019). Destaca-se que as mudas alagadas que receberam 1,0 mM de Si e 3,0 mM de AS apresentaram surgimento de raízes adventícias (Figuras 8c–f, respectivamente), sugerindo ajuste morfológicos nessas condições de cultivo.

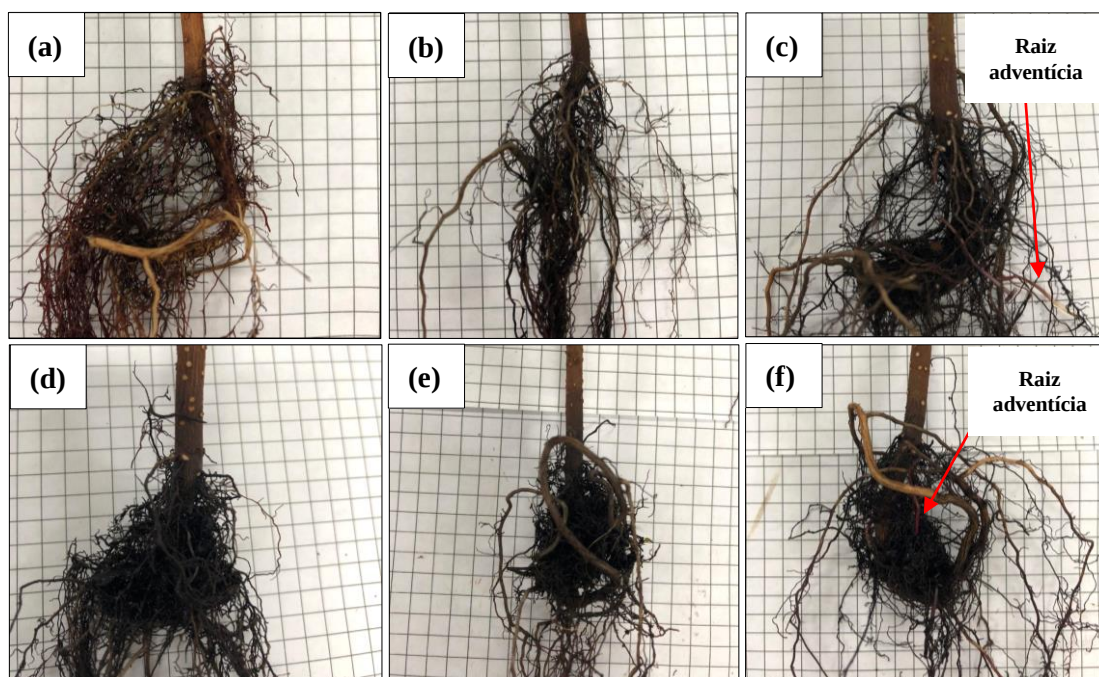


FIGURA 8. Aspecto visual de raízes em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. (a) controle, (b) alagamento, (c) A + 1,0 mM Si, (d) A + 2,0 mM Si, (e) A + 1,5 mM AS e (f) A + 3,0 mM AS.

As mudas apresentaram maior produção de massa seca da parte aérea quando cultivadas em A + 1,0 mM Si e A+ 3.0 mM AS (3,52 e 3,90 g/planta, respectivamente) (Figura 9a). Entretanto, sob A + 2,0 mM Si e A+ 1,5 mM AS os valores não diferiram estatisticamente das mudas não alagadas, demonstrando que o *priming* com esses produtos contribuem no incremento de fotoassimilados, especialmente por serem superiores aos valores das mudas sob alagamento.

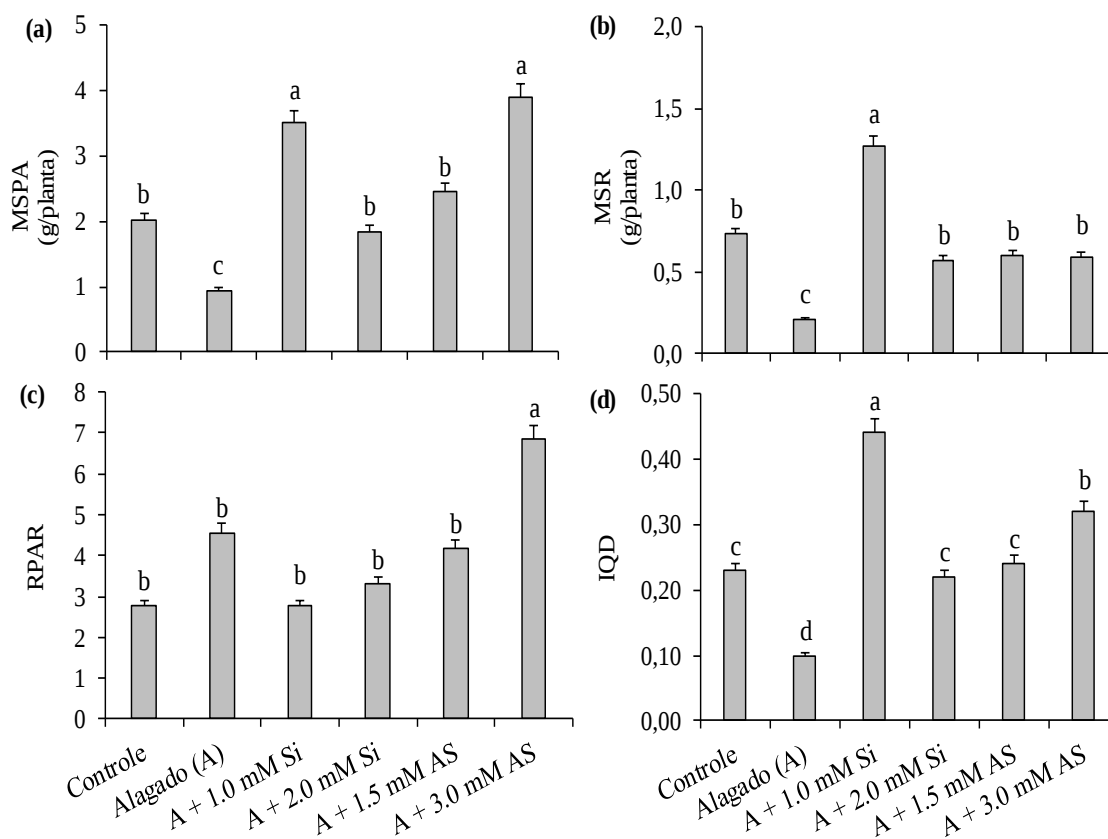


FIGURA 9. Massa seca da parte aérea – MSPA (a), massa seca da raiz – MSR (b), Relação parte aérea/raiz – RPAR (c) e Índice de qualidade de Dickson – IQD (D) em mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi sob controle (não alagado) e alagamento em associação ao uso do Si e AS, sob dois períodos de avaliação (15 e 30 dias). Letras iguais não diferem entre si (Scott-Knott; $p < 0,05$).

Quando as plantas estão alagadas a biomassa diminui em função da abscisão foliar e desestabilização metabólica, o que reduz a produção de fotoassimilados (HENRIQUE et al., 2010). Esses autores observaram essa resposta em mudas de *Caesalpinia peltophoroides* Benth, semelhante aos observados em *S. terebinthifolia*. No que refere-se a massa seca da raiz, seu maior valor foi de 1,27 g/planta quando cultivadas sob A+ 1,0 mM Si; nota-se ainda que mudas em A + 2,0 mM Si e alagamento com as duas doses de AS não diferiram estatisticamente das mudas não alagadas (Figura 9b).

As mudas apresentaram maior RPAR (6,83) quando cultivadas em A + 3,0 mM AS, sendo que nas demais condições foram menores e não diferiram estatisticamente (Figura 9c). Em geral, as mudas alagadas com Si e AS apresentam maiores valores de IQD em relação as mudas apenas alagadas (0,10), sendo que àquelas em A + 1,0 mM Si

tiveram incremento pronunciado, com valor de 0,44 em comparação aos demais tratamentos (Figura 9d). O aumento do IQD é reflexo dos maiores caracteres vegetativos e produção de biomassa nessa mesma condição de cultivo, contribuindo em mudas de elevada qualidade.

Com base em nossos resultados, destaca-se que embora as mudas alagadas tenham apresentado 100% de sobrevivência, semelhante aos demais tratamentos, essas tiveram menores taxas de crescimento e do metabolismo fotossintético, o que comprometerá seu estabelecimento inicial em áreas sujeitas a inundações temporárias. Nessas premissas, o uso dos agentes mitigadores, aqui representados pelo *priming* com silício e ácido salicílico contribuíram positivamente na integridade do aparato fotossintético e qualidade das mudas, promovendo aumento da plasticidade ecológica, demonstrando-se uma técnica promissora para atividades silviculturais.

4 CONCLUSÃO

A utilização do silício e ácido salicílico na dose de 1,0 e 3,0 mM, respectivamente, demonstrou ser uma prática promissora para a produção de mudas, pois mitigou os danos ao aparato fotossintético e potencializou a produção e qualidade das mudas de *S. terebinthifolia* em condições de alagamento.

As mudas de *Schinus terebinthifolia* apresentam lenticelas hipertrofiadas em resposta a sensibilidade ao alagamento, mas toleram essa condição por até 15 dias sem reduzir drasticamente a taxa fotossintética e os rendimentos fotoquímicos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOVISI, A. M. T.; AGUIAR, G. C. R.; ALOVISI, A. A.; GOMES, C. F.; TOKURA, L. K.; LOURENTE, E. R. P.; MAUAD, M.; SILVA, R. S. Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio e magnésio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. **Agrarian**, v. 11, n. 40, p. 150-158, 2018.
- BINOTTO, B.; ANTONIAZZI, A. P.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Tolerância de plântulas de *Cedrela fissilis* Vell. a diferentes amplitudes e intensidades de inundação. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 924-936, 2018.
- BORELLA, J.; BECKER, R.; LIMA, M. C.; OLIVEIRA, D. S. C.; BRAGA, E. J. B.; OLIVEIRA, A. C. B.; AMARANTE, L. Nitrogen source influences the antioxidative system of soybean plants under hypoxia and re-oxygenation. **Scientia Agrícola**, v. 76, n. 1, p. 51-62, 2019.
- BRANDANI, J. Z.; JUNGLES, M. S.; SANTIAGO, E. F.; SCALON, S. de P. Q.; MUSSURY, R. M. Are seeds *Genipapa americana* L. (Rubiaceae) tolerance to water submersion. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 1-9, 2018.
- CARVALHO, L. S. O.; LIRA, J. M. S.; RODRIGUES, A. C.; LARA, T. S.; PACHECO, F. V.; ALVARENGA, A. A. Resistance mechanisms of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert submitted to flood conditions. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 1-7, 2016.
- CARVALHO, M. G.; MELO, A. G. N.; ARAGÃO, C. F. S.; RAFFIN, F. N.; MOURA, T. F. A. L. *Schinus terebinthifolius Raddi*: composição química, propriedades biológicas e toxicidade. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 15, n. 1, p. 158-169, 2013.
- CORTES, J. S. A.; GODOY, J. A.; CORTÉS, D. A.; MORA, R. M. S. 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. **Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- ETESAMI, H.; JEONG B. R. Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, p. 881-896, 2018.
- FERREIRA, C. S; PIEDADE, M. T. F.; BONATES, L. C. Germinação de sementes e sobrevivência de plântulas de *Himatanthus sucuuba* (Spruce) Wood. em resposta ao alagamento, nas várzeas da Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 413-418, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GAMIR, J. R.; ANCILLO, G.; GONZÁLES-MAS, M. C.; INGLESIAS, D. J.; FORNERGINER, M. A. Root signaling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 6, p. 636-645. 2011.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll *a* fluorescence in mung bean under salt stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 62, n. 5, p. 611–616, 2015.

GOLÇALVES, J. F. C.; MELO, E. G. F.; FERREIRA, M. J.; SILVA, C. E. M.; GOMES, I. B. Growth, biomass partitioning and photosynthesis of young plants of *Genipa spruceana* subjected to flooding. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 193-200. 2016.

HENRIQUE, P. C.; ALVES, J. D.; GOULART, P. F. P.; DEUNER, S.; SILVEIRA, N. M.; ZANANDREA, I.; CASTRO, E. M. Physiological and anatomical characteristics of sibipiruna plants under hypoxia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 1-7, 2010.

HOU, Q. Z.; PANG, X.; SUN, K.; LIANG, J. Y.; JIA, L. Y.; FENG, H. Q.; ZHANG, T. S.; ZHENG, Y. D.; WANG, Y. P. Depletion of extracellular ATP affects the photosystem II photochemistry and the role of salicylic acid in this process. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 533-539, 2019.

JUNGLOS, F. S.; JUNGLOS, M. S.; DRESCH, D. M.; BENTO, L. F.; SANTIAGO, E. F.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. de P. Q. Morphophysiological responses of *Ormosia arborea* (Fabaceae) seedlings under flooding and post-flooding conditions. **Australian Journal of Botany**, v. 66, n. 7 p. 489-499, 2018.

KIM, Y. H.; KHAN, A. L.; LEE, I. J. Silicon: a duo synergy for regulating crop growth and hormonal signaling under abiotic stress conditions. **Avaliações Críticas em Biotecnologia**, v. 36, p. 1-12, 2015.

LIMA, D. T.; SAMPAIO, M. V.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; PEREIRA, H. S.; MARTINS, W. G. Silicon accumulation and its Effect on agricultural traits and anthracnose incidence lignocellulosic Sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-8, 2019.

LOBO, P.C.; JOLY, C.A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudeste do Brasil. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). Matas ciliares: conservação e recuperação. 2 ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2001. p. 143-158.

MANIVANNAN, A.; AHN, Y. K. Silicon regulates potential genes involved in major physiological processes in plants to combat stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2017.

MEDRI, C.; MEDRI, M. E.; RUAS, E. A.; SOUZA, L. A.; MEDRI, P. S.; SAYHUN, S.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 445-454, 2011.

MELO-FILHO, J. S.; SILVA, T. I.; GOLÇALVES, A. C. de M.; SOUSA, L. V.; VÉRAS, M. L. M.; DIAS, T. J. Aplicación de agua salobre y silicio en el crecimiento, pigmentos cloroplásticos, fluorescencia de clorofila y producción de remolacha. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 13, n. 3, p. 406-415, 2019.

MIMOUNI, H.; WASTI, S.; MANAA, A.; GHARBI, E.; CHALH, A.; VANDOORNE, B.; LUTTS, S.; AHMED, H. B. Does salicylic acid (SA) improve tolerance to salt stress in plants? A study of SA effects on tomato plant growth, water dynamics, photosynthesis, and biochemical parameters. **A Journal of Integrative Biology**, v. 20, n. 3, p. 180-190, 2016.

NAZAR, R.; UMAR, S.; KHAN, N. A.; SAREER, O. Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. **South African Journal of Botany**, v. 98, p. 84-94, 2015.

NEVES, J. M. G.; AQUINO, L. A.; BERGER, P. G.; NEVES, J. C. L.; BARBOSA, E. A. Silicon and boron mitigate the effects of water deficit on sunflower. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 175-182, 2019.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 181-191, 2017.

PEREIRA, A. I. A.; GUIMARÃES, J. de J.; COSTA, J. V.; CANTUÁRIO, F. S.; SALOMÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. C.; LUZ, J. M. Q. Crescimento de plantas de pimentão submetidas a tensões de água no solo e doses de silicato de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 82-88, 2019.

POÓR, P.; BORBÉLY, P.; BÓDI, N.; BAGYÁNSZKI, M.; TARI, I. Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, p. 367- 376, 2019.

ROSA, T. D.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; GEHLING, V. M.; AISENBERG, G. R.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Alagamento do solo: efeito no crescimento inicial da aveia branca (*Avena sativa* L.) **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 2, p. 2-5, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.;

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., ver. ampliada-Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

SARACHO, L. C. S.; LIMA, N. M.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Salicylic acid increases growth of *Schinus terebinthifolia* seedlings subjected to varying irrigation intervals. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 1, p. 1-10, 2021.

SASIDHARAN, R.; HARTMAN, S.; LIU, Z.; MARTOPAWIRO, S.; SAJEEV, N. VEEN, H. V.; YEUNG, E.; VOESENEK, L. A. C. J. Signal dynamics and interactions during flooding stress. **Plant Physiology**, v. 176, p. 1106-1117, 2018.

SILVA, D. C.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; ANDRADE, W. L.; LIMA, L. M.; SANTOS, A. R. Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1-10, 2019.

SILVA, J. E. S. B.; de PAIVA, E. P.; LEITE, M. de S.; TORRES, S. B.; NETA, M. L. de S.; GUIRRA, K. S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 12, p. 919-924, 2019.

VIDAL, D. B.; ANDRADE, I. L. M. M.; DALMOLIN A.; MIELKE, M. Photosynthesis and growth of copaiba seedlings subjected to soil flooding. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. 1-9, 2019.

XIE, Z.; SONG, R.; SHAO, H.; SONG, F.; XU, H. LU, Y. Silicon improves maize photosynthesis in saline-alkaline soils. **The Scientific World Journal**, v. 15, p. 1-7 2015.

ZHANG, H.; FENG, P.; YANG, W.; SUI, X.; LI, X.; LI, W.; ZHANG, R.; GU, S.; XU, N. Effects of flooding stress on the photosynthetic apparatus of leaves of two *Physocarpus* cultivars. **Journal of Forestry Research**, v. 29, p. 1049–1059, 2017.