

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**SILÍCIO E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA INTEGRIDADE DO
APARATO FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO INICIAL
DE *Inga vera* Willd**

**IVO JOSÉ BASSO JÚNIOR
VINÍCIUS LIBANO NAVARRO**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2020**

**SILÍCIO E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA INTEGRIDADE DO APARATO
FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Inga vera* Willd**

IVO JOSÉ BASSO JÚNIOR
VINÍCIUS LIBANO NAVARRO

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B322s Basso Junior, Ivo José
SILÍCIO E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA INTEGRIDADE DO APARATO FOTOSSINTÉTICO
E CRESCIMENTO INICIAL DE *Inga vera* Willd [recurso eletrônico] / Ivo José Basso Junior,
Vinicius Líbano Navarro. -- 2020.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cleberton Correia Santos.
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. aplicação foliar. 2. fluorescência da clorofila-a. 3. plasticidade fisiológica. 4. resiliência. I.
Navarro, Vinicius Líbano. II. Santos, Cleberton Correia. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida, e por ter permitido que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, Ivo José Basso e Célia da Rocha Lima, pelo apoio, carinho, e principalmente, por sempre me motivarem a seguir em frente, vocês são minha fonte de inspiração.

Ao meu irmão, Joaquim Gabriel, por me ajudar e motivar sempre que eu preciso.

Ao meu grande amigo Vinicius, por sempre poder contar com você, me ajudando na faculdade, me motivando a ser uma pessoa melhor.

Ao orientador e professor, meu amigo Cleberton Correia Santos, pela paciência em ensinar e nos guiar da melhor maneira possível durante o decorrer do projeto.

A todos os meus amigos, Arley Junior, Bruno Rigonato, Luis Guilherme, Rafael Costa, Willian Costa, Francisco Beltramin e outros, pelo apoio e contribuição de cada um de vocês na minha vida.

A todos os meus colegas de turma que contribuíram de alguma forma em minha jornada até aqui.

A UFGD e a FCA por oferecer a sua estrutura e recepção.

A todos os meus professores que fizeram parte da minha formação.

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos, muito obrigado e um grande abraço a todos!

Ivo José Basso Junior

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e saúde que me proporciona todos os dias, agradeço a minha mãe Dona Shirlei que nunca faltou em nenhum momento de angustia que passei até hoje, sempre esteve do meu lado e compreendeu todas as dificuldades que passei até aqui, me incentivou e não me deixou desistir, minhas irmãs, Claudia Navarro, Gisela Navarro, Tania Navarro e meu irmão Luciano Navarro, que nunca tiveram a obrigação mas sempre me deram todo apoio necessário na minha formação pessoal, seja ele psicológico ou financeiro.

Ao meu orientador Cleberton Correia Santos por aceitar orientar nosso trabalho de pesquisa e que a todo momento foi muito paciente nesse processo e nos apoiou em todos os momentos. Agradeço ao meu companheiro de projeto e grande amigo Ivo José Basso por empenho e paciência, toda sua boa vontade.

A todos os amigos que carrego no coração nessa jornada, em especial, Aruan Marcondes, Francisco Beltramin, Luis Felipe Colpo, João Paulo Avila, Rafael Costa, Renan Mazzi, Willian Costa, todos estamos distantes de nossas casas e na falta de família vocês foram muitas vezes minha família.

A UFGD por fornecer toda sua estrutura, agradeço aos professores, técnicos e demais funcionários que mantem a mesma.

Por fim e talvez o agradecimento mais importante que deixo aqui ao meu grande amigo Joares, um irmão que ganhei ao entrar no curso de Agronomia, que hoje já não está entre nós, obrigado meu irmão, se não fosse por tudo que me ensinou eu teria desistido no meio do caminho, você faz parte do meu caráter, faz parte de quem sou hoje, aprendi muito com o ser humano maravilhoso que marcou de forma significativa minha vida.

Vinicius Libano Navarro

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4 CONCLUSÕES	24
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

SILÍCIO E RESTRIÇÃO HÍDRICA NA INTEGRIDADE DO APARATO FOTOSINTÉTICO E CRESCIMENTO INICIAL DE *Inga vera* Willd

RESUMO

O silício (Si) aplicado via foliar pode mitigar os danos ao aparato fotossintético e aumentar a resiliência das mudas sob o déficit hídrico. Objetivou-se com esse estudo discutir o potencial do silício em mitigar o efeito estressante e auxiliar na recuperação fisiológica de *Inga vera* Willd durante e após restrição hídrica. Foram estudados dois regimes hídricos: controle: irrigação realizada diariamente e restrição hídrica (RH): suspensão da irrigação, até que as plantas apresentaram sintomas de déficit hídrico (SDH). O regime de RH foi combinado a três doses de Si: 0,84, 1,68 e 3,36 g de Si. As plantas foram mantidas sob déficit hídricos até que apresentassem sintomas de déficit hídrico, momento em que se realizou a retomada da irrigação por 30 dias, caracterizando o período de recuperação (REC). As plantas não tratadas e com 3,36 g de Si tiveram SDH aos 7 dias de RH, enquanto que com 0,84 e 1,68 g toleram 9 e 11 dias de RH, respectivamente. Ocorreu redução da taxa fotossintética, com valores próximos a zero no período de SDH, nas plantas sem e com 3,36 g de Si. Doses intermediárias de Si, especialmente 0,84 g, mitigaram os danos ao aparato fotossintético e uso da água, e favoreceram a recuperação fisiológica. O efeito benéfico do Si nos centros de reação ocorreu com 0,84 g por favorecer o aumento da eficiência fotoquímica no fotossistema II na REC. O *I. vera* apresenta plasticidade fisiológica, pois apesar de o crescimento inicial ser afetado negativamente pela restrição hídrica, houve recuperação após a retomada do fornecimento de água. A aplicação de Si é uma prática promissora por contribuir na regulação das trocas gasosas do *I. vera* durante e após o período de estresse.

Palavras-chave: aplicação foliar, fluorescência da clorofila-*a*, plasticidade fisiológica, resiliência.

1 INTRODUÇÃO

Inga vera Willd (Fabaceae) é uma espécie arbórea e frutífera, conhecida popularmente como ingazeiro ou ingá-do-brejo, e apresenta notável valor devido seu uso medicinal, alimentício e madeireiro (FERNANDES et al., 2014; SILVA et al., 2015). As mudas podem ser indicadas para recuperação de áreas próximas a cursos d'água, tais como de preservação permanente e matas ripárias (LAMARCA et al., 2015). Além disso, podem ser utilizadas no enriquecimento de agroflorestas pelo fato de ser fixadora de nitrogênio (MAIA et al., 2010) e seus frutos podem ser consumidos *in natura* e são atrativos a avifauna.

A espécie pode ser encontrada em toda a América do Sul e Central como representante da maior parte da composição de suas matas ciliares (DAMASCENO-JUNIOR et al 2009). Na fase adulta a espécie pode atingir altura entre 5–30 m (SILVA et al., 2012). Sua classificação sucessional ecológica é pioneira, ou seja, heliófila com rápido crescimento, habitando áreas preferencialmente com solos úmidos (SOUZA e PIÑA-RODRIGUES, 2013).

As mudanças climáticas globais associadas a ações antrópicas inadequadas tem ocasionando alterações bioclimáticas, tais como irregularidades de precipitações e aumento da temperatura, promovendo redução acentuada na umidade do solo (IPCC, 2018), especialmente nas regiões tropicais. Nesse contexto, a baixa disponibilidade hídrica no solo pode reduzir o metabolismo fotossintético e o crescimento inicial das plantas, ocasionando mudanças no seu aspecto visual baseando-se em sua turgescência

Sob essa condição adversa ocorre redução no potencial de pressão e volume celular, além de acúmulos de íons no citosol e produção de espécies reativas de oxigênio – EROS que podem levar a morte celular devido a desestabilização das membranas (DALAL e TRIPATHY, 2018). Com a restrição hídrica no substrato, a planta apresenta mudanças no transporte de solutos além de atingir o ponto de murcha (BOOGAR e SALEHI, 2020).

Em função do fato de que a restrição hídrica possa ser um fator limitante ao crescimento inicial do *I. vera*, estudos direcionados a tecnologias que atenuam os efeitos estressantes dessa condição adversa devem ser investigados. O Silício (Si) é um elemento benéfico em termos de nutrição mineral de plantas, e tem sido promissor em contribuir na maior tolerância aos múltiplos estresses abióticos (KHAN et al., 2016). Assim, o pré-

condicionamento (*priming*) das mudas com Si pode mitigar os danos metabólicos no período de déficit hídrico e auxiliar na recuperação fisiológica das plantas.

O Si participa de processos fisiológicos das plantas, tais como manutenção do conteúdo de água (LIU et al., 2014), melhora as trocas gasosas, especialmente a fotossíntese e uso eficiente da água (FAROOQ e DIETZ, 2015) e estabilizados processos fotoquímicos no fotossistema II – FS II (SILVA et al., 2017). O Si também aumenta a rigidez estrutural no tecido da planta (LIMA et al., 2019) e contribui no aumento de atividade de enzimas antioxidantes (OLIVEIRA et al., 2019) e síntese de fito-hormônios (MARKOVICH et al., 2017), reduzindo o estresse oxidativo.

Na literatura existem poucos trabalhos associando o uso do Si em espécies arbóreas sob déficit hídrico, podendo citar com *Theobroma cacao* L (cacau) (ZANETTI et al., 2016) e *Castanea sativa* Mill (castanheira) (CARVALHO et al., 2019). No entanto, para *I. vera* não foram encontrados estudos nessa modalidade, tornando-se necessário o conhecimento das respostas ecofisiológicas dessa espécie durante e após período do estresse.

Considerando que o *I. vera* é encontrado em diferentes fitofisionomias com solos úmidos e alagados, buscamos responder os seguintes questionamentos: (i) as mudas de *I. vera* apresentam sensibilidade ao déficit hídrico? (ii) o silício contribui na integridade do aparato fotossintético e retarda o surgimento de sintomas visuais do estresse por déficit hídrico? (iii) essa espécie apresenta potencial de resiliência morfofisiológica após o período de estresse?

Assim, objetivou-se avaliar o potencial do silício em mitigar o efeito estressante da restrição hídrica e contribuir na plasticidade fisiológica de mudas de *I. vera* Willd.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Condições gerais e obtenção de mudas

Os frutos maduros de *I. vera* foram coletados em área remanescente de Cerrado, os quais foram beneficiados manualmente, e então realizada a semeadura em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, preenchidas com substrato comercial Tropstrato® e dispostas sob 50% de sombra e irrigações diárias, até atingirem altura média de 7,0 cm. Posteriormente, foi realizado o transplântio para vasos plásticos de 7 L preenchidos com Latossolo Vermelho Distroférico + areia (3:1, v/v), até que as mudas atingiram altura média de 20 cm, permanecendo sob as condições anteriores por mais 60 dias, caracterizando o período de aclimatização.

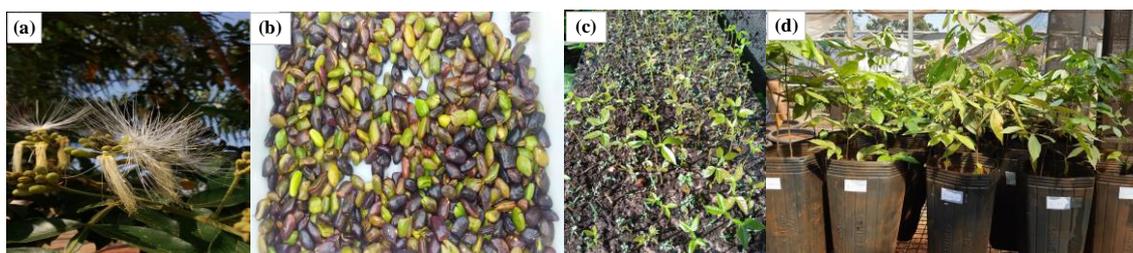


FIGURA 1. Flores e frutos (a), sementes (b), mudas (c) e plantas (d) de *Inga vera* Willd durante desenvolvimento do experimento. Fonte: Elaboração dos autores.

Regimes hídricos, *priming* com Si, períodos de avaliação e desenho experimental

O experimento foi desenvolvido sob viveiro de 30% de sombreamento utilizando tela de nylon de coloração preta e proteção interna superior de plástico de baixa densidade (PBD) de 150 μ m visando proteção contra as precipitações.

As mudas foram submetidas a dois regimes hídricos: T1) controle: caracterizado por irrigação contínua, ou seja, realizada diariamente mantendo 75% da capacidade de retenção de água (CRA) no substrato pelo método gravimétrico (SOUZA et al., 2002) e T2) Restrição hídrica (RH): suspensão da irrigação até que as plantas em cada tratamento apresentassem sintomas de falta de água (ápice curvado, brotação nova e 1º ou 2º par de folhas murchas) conforme adaptação de escala visual proposta por Navroski et al. (2014), sendo que o regime de RH foi combinado a três doses de Si: T3) RH + 0,84 g de Si; T4) RH + 1,68 g de Si e T5) RH + 3,36 g de Si.

Para isso, a fonte de Si utilizada foi o silicato de potássio (K_2SiO_3 ; 12% Si; densidade= 1,40 g/L), sendo que no preparo da calda adicionaram-se 2,0 mL de adjuvante LI 700 visando facilitar a aderência do Si nas folhas. A aplicação foi realizada via pulverização na face abaxial e adaxial das folhas, até ponto de gotejamento (15 mL por planta), no período matutino (8h00min), cinco dias antes (*priming*) da submissão das mudas aos diferentes regimes hídricos.

Ao iniciar a suspensão da irrigação realizou-se o monitoramento da umidade volumétrica do solo utilizando medidor portátil Hidrofarm[®] (Falker – Automação Agrícola, RS, Brasil). Também foram determinadas as temperaturas e umidades mínimas e máximas no ambiente por meio de termo-higrômetro (Figura 2).

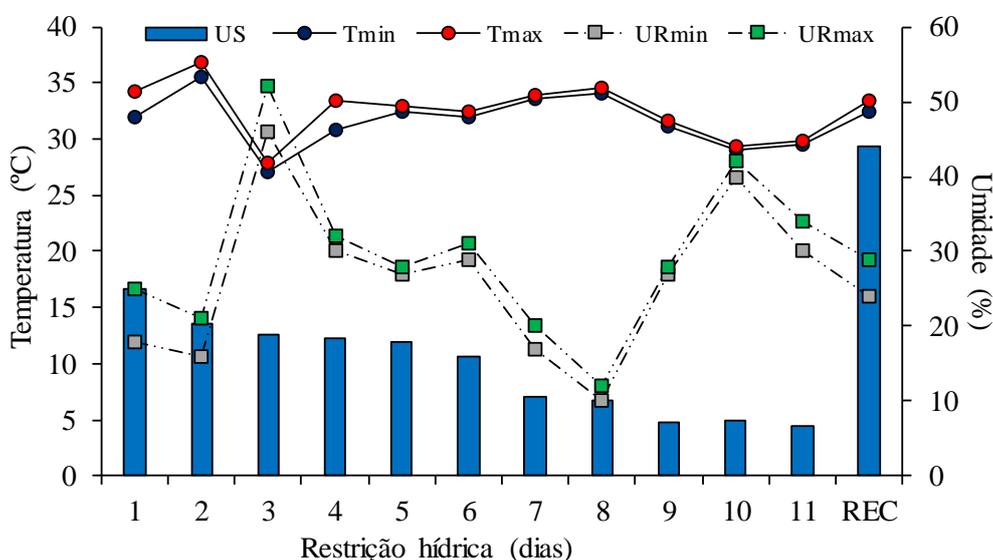


FIGURA 2. Umidade do solo, temperaturas e umidades relativa mínima e máxima no período de restrição hídrica e na avaliação final (REC). UFGD, Dourados – MS, 2020. Fonte: Elaboração dos autores.

As avaliações foram realizadas em dois períodos: 1) SDH= sintoma de déficit hídrico, isto é, foi realizado diariamente o monitoramento por meio de observação visual até que as plantas de algum dos tratamentos de RH apresentassem os sintomas de ápice curvado, brotação nova e 1º e/ou 2º par de folhas murchas (Figura 3), momento em que se realizou a análise destrutiva e não destrutivas em todos os tratamentos. Realizou-se de maneira contínua o monitoramento de quando as plantas de cada tratamento apresentaram SDH, visando conhecer o período do prolongamento (dias) da manutenção da turgescência dessa espécie nessas condições experimentais. Posteriormente, no período 2) REC= recuperação, as mudas de cada tratamento foram submetidas a retomada da

irrigação, mantendo 75% da CRA no substrato durante 30 dias, iniciando a partir do dia em que apresentaram SDH.



FIGURA 3. Sintomas de déficit hídrico observados diariamente até que apresentassem sintomas como ápice curvado, brotação nova e 1º e/ou 2º par de folhas murchas observados visualmente durante o monitoramento em período SDH nas plantas *Inga vera* Willd. Fonte: Elaboração dos autores.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, sendo que os tratamentos foram arranjados em esquema de subparcelas, sendo os manejos hídricos em associação ao uso do Si dispostos nas parcelas, e os períodos de avaliação nas subparcelas, com três repetições ($n=3$), sendo que cada unidade experimental é constituída de dois vasos, com duas plantas cada.

Em cada período de avaliação (SDH e REC) foram determinadas as seguintes características:

Trocas gasosas

Utilizando folhas totalmente expandidas, foram quantificadas a taxa de assimilação de CO_2 (fotossíntese) – A_{max} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), 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.), em que as medições foram realizadas entre às 8 e 10h e valores médios de radiação fotossinteticamente ativa de $1093,19 \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$, temperatura foliar de 40°C e concentração atmosférica de $424,33$

ppm. Posteriormente, calcularam-se 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 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\mu\text{mol mol}$), utilizando as relações entre a A_{max} e E e C_i , respectivamente.

Índices de clorofilas, fluorescência da clorofila-*a* e processos fotoquímicos no FS II

No segundo par de folhas totalmente expandidas foi determinada o índice de clorofila *a*, *b* e total ($a + b$) utilizando clorofilômetro portátil (Falker), entre as 8 às 10h. Logo após, as folhas foram submetidas à condição de escuro, com cliques foliares por 30 minutos, período em que os centros de reação ficam totalmente fechados. 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 determinadas as fluorescências inicial (F_0) e máxima (F_m) da clorofila-*a*, e a eficiência quântica fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m). A partir desses dados foi calculada a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$), eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e o rendimento máximo dos processos não fotoquímico (F_0/F_m), resultados expressos em elétrons quantum⁻¹.

Crescimento inicial

Determinou-se à 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) ($\pm 1,0$ cm acima do nível do substrato), e contabilizado o número de folhas expandidas. As plantas foram coletadas e separadas em parte aérea (folhas e caules) e raízes, sendo determinada a área foliar – AF (cm^2) utilizando integrador de área (LI-COR, 3100 C – Area Meter, Nebraska – USA) e medido o comprimento da maior raiz (cm).

Biomassa, índices fisiológicos e de qualidade

Os diferentes órgãos foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 60 ± 5 °C, até massa seca constante, e pesados em balança de precisão (0,0001 g). A partir dos dados de AF e produção de biomassa seca foram calculados os índices fisiológicos de razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) de acordo com Hunt (1990). Utilizando os dados de crescimento e biomassa calculou-se o padrão de qualidade das mudas por meio da proposta de Dickson et al. (1960). O Índice de clorofila por área de unidade foliar (ICAF) foi calculado através da razão índice de clorofila total pela área foliar.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os regimes hídricos em associação ao Si, e pelo teste t de Bonferroni para períodos de avaliação ($p < 0,05$) utilizando o *software* SISVAR (FERREIRA, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, as plantas de *I. vera* apresentaram sensibilidade à restrição hídrica (RH) pois ocorreu redução das trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos e alguns caracteres de crescimento inicial no SDH. Com base no monitoramento visual, observamos que as plantas cultivadas sob RH e RH + 3,36 g de Si apresentaram SDH aos 7 dias de restrição (Figura 4), enquanto que àquelas tratadas com 0,84 e 1,68 g de Si toleraram 9 e 11 dias sem fornecimento de água, demonstrando o efeito do Si nessas doses em retardar o surgimento de SDH.

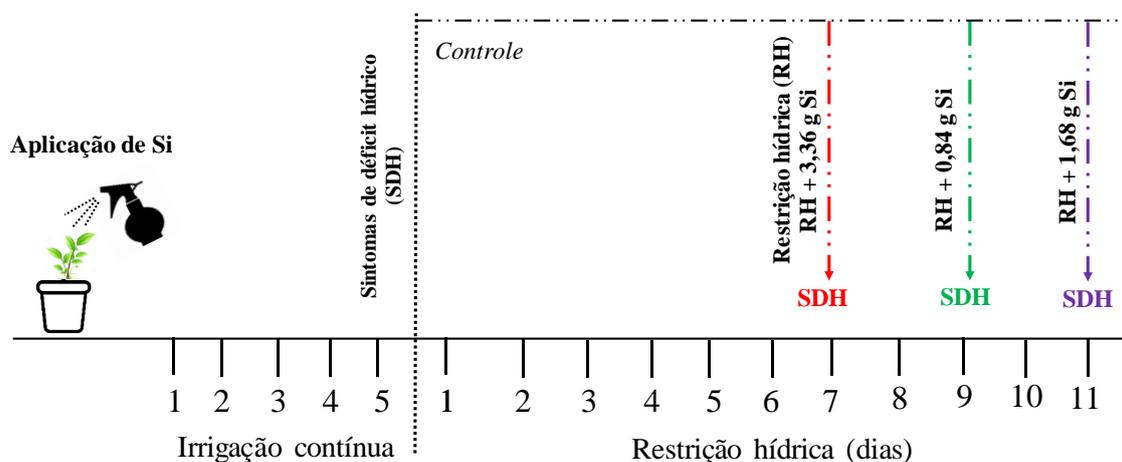


FIGURA 4. Escala visual de sintomatologia de déficit hídrico (SDH) em plantas jovens de *Inga vera* Willd submetidas à restrição hídrica (RH) associadas a aplicação foliar de silício. Fonte: Elaboração dos autores.

A taxa fotossintética (A_{max}), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO_2 (C_i) e transpiração (E) nas plantas de *I. vera* foi influenciada pela interação entre os fatores em estudo (Figura 4). Os valores de A reduziram nas plantas cultivadas sob RH ($0,39 \mu mol CO_2 m^2 s^{-1}$) e RH + 3,36 g de Si ($0,26 \mu mol CO_2 m^2 s^{-1}$), ambas no período de SDH, enquanto que àquelas tratadas com 0,84 e 1,68 g de Si, mesmo sob RH mantiveram A mais elevadas ($2,91$ e $1,53 \mu mol CO_2 m^2 s^{-1}$, respectivamente) (Figura 5a). Embora os valores de A em todas as plantas tenham aumentado na REC e diferiram estatisticamente do SDH, as plantas sob RH sem silício apresentaram valores inferiores estatisticamente ($3,89 \mu mol CO_2 m^2 s^{-1}$) em comparação ao das plantas sob

irrigação contínua (controle) e RH + 0,84 g de Si (7,15 e 6,29 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente).

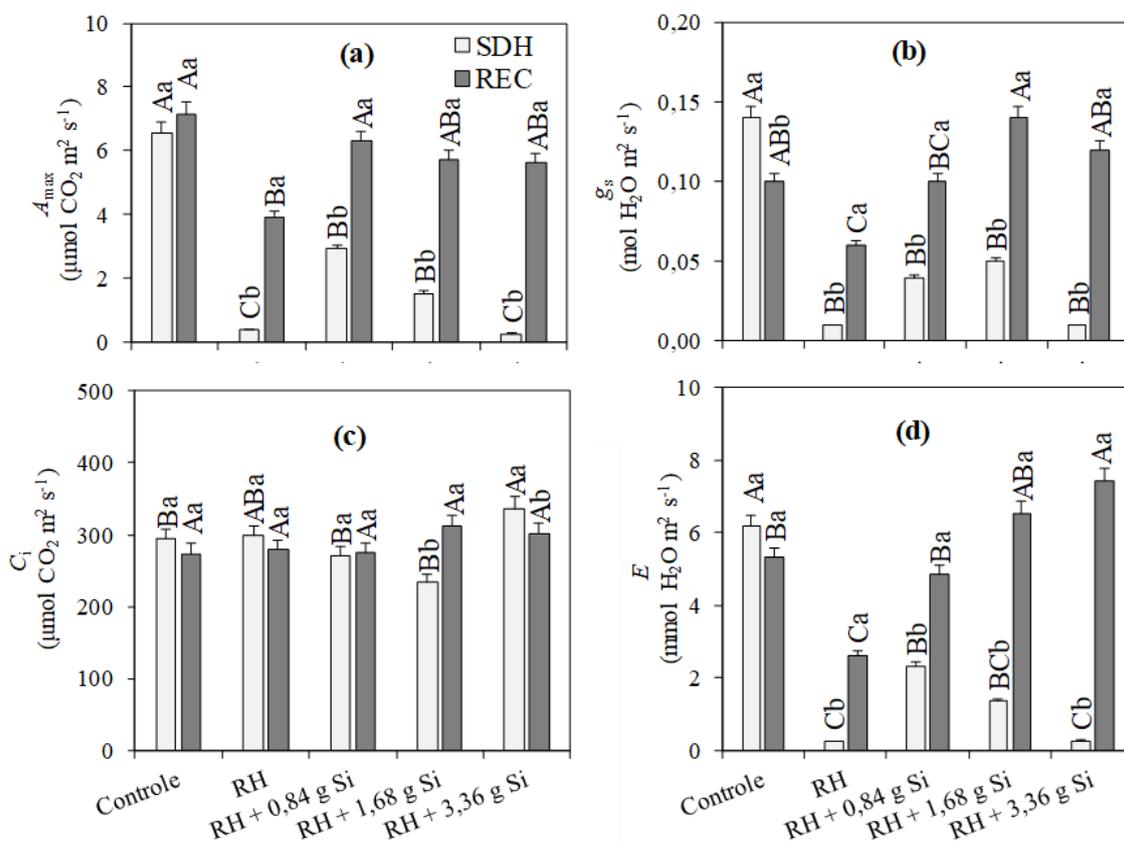


FIGURA 5. Fotossíntese – A_{\max} (a), condutância estomática – g_s (b), concentração intercelular de CO_2 – C_i (c) e transpiração – E (d) em mudas de *Inga vera* Willd sob irrigação contínua (controle) e restrição hídrica (RH) em associação ao silício, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídricos e silício) em cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os dois períodos de avaliação em cada tratamento (teste t de Tukey, $p < 0,05$).

Em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo, na maioria das plantas ocorre o fechamento estomático e o estresse oxidativo, diminuindo o CO_2 disponível nas câmaras subestomáticas (GONÇALVES et al., 2009), comprometendo a fotossíntese – A_{\max} , tal como observado nas plantas de *I. vera*. No entanto, a manutenção dos valores de A_{\max} com doses de 0,84 e 1,68 g de Si demonstram o efeito atenuador de danos ao aparato fotossintético.

O Si promove aumento da atividade de enzimas do metabolismo antioxidante, dentre elas a superóxido dismutase e catalase e do aminoácido prolina (OLIVEIRA et al., 2019), não apresentadas em nosso estudo, reduzindo o estresse oxidativo e favorecendo

a estabilidade na assimilação de CO₂, demonstrando seu efeito mitigador do déficit hídrico, além de incrementar a A_{max} do *I. vera* no período pós-estresse (REC). De maneira semelhante, outras espécies arbóreas apresentaram melhores respostas fisiológicas sob déficit hídrico com silício, por exemplo: *Theobroma cacao* L (cacau) (ZANETTI et al., 2016) e *Castanea sativa* Mill (castanheira) (CARVALHO et al., 2019).

Observamos redução da condutância estomática (g_s) das plantas cultivadas sob RH na fase SDH, independente do uso do silício (Figura 5b). Por outro lado, na REC os valores aumentaram em comparação aos de SDH, sendo que a maior g_s ocorreu nas plantas sob RH + 1,68 g de Si (0,14 mol H₂O m² s⁻¹), enquanto que sob RH sem Si, a g_s foi menor (0,06 mol H₂O m² s⁻¹). Em geral, uma das primeiras respostas das plantas submetidas ao déficit hídrico é a queda no potencial hídrico do tecido, o que promove redução da condutância estomática, conseqüentemente afetando os processos metabólicos das trocas gasosas e turgescência (VELAZQUEZ-MARQUEZ et al., 2015).

No período de SDH, as plantas tratadas com 3,36 g de Si apresentaram maior C_i (377,5 μ mol CO₂ m² s⁻¹) diferindo-se estatisticamente das controle e com 0,84 e 1,68 g de Si, as quais apresentaram menores valores nesse mesmo período (Figura 5c). Na REC os valores de C_i não diferiram estatisticamente entre as plantas tratadas ou não com silício em relação as plantas controle. O aumento pronunciado da C_i sob condição de estresse é desfavorável ao metabolismo da planta, pois reflete em baixa A/C_i e conseqüentemente influencia negativamente as trocas gasosas.

Em condições de baixa disponibilidade hídrica ocorre a produção de EROs devido ao aumento da concentração intercelular de CO₂ (DALAL e TRIPATHY, 2018). Farooq e Dietz (2015) descreveram que a taxa fotossintética sofre efeitos negativos com o aumento de C_i . Nesse sentido, o Si em doses adequadas, em nosso estudo com 0,84 e 1,68 g de Si promoveram a regulação das trocas gasosas. Isso, porque esse elemento diminui a perda de água por transpiração como consequência a absorção de íons tóxicos reduz (XU et al., 2017).

Por outro lado, doses elevadas de Si, aqui representada por 3,36 g, podem ocasionar redução dos processos metabólicos, uma vez que possivelmente promove uma deposição excessiva sobre os poros estomáticos, ocasionando limitações fisiológicas, fato comprovado pela redução pronunciada da maioria dos componentes das trocas gasosas com essa mesma dose. Similarmente, Zanetti et al. (2016) observaram que doses acima de 3,0 mg mL⁻¹ comprometeram o metabolismo fotossintético e antioxidante, demonstrando a relevância de conhecer a melhor dose para cada espécie.

A E nas plantas cultivadas sob RH e RH + 3,36 g de Si (0,24 e 0,27 mmol $\text{H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente) reduziu no SDH, enquanto na dose 0,84 g de Si manteve-se mais elevada (2,32 mmol $\text{H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1}$) mesmo que menor do que nas plantas controle (Figura 5d). No entanto, embora todas as plantas sob RH no REC tenham diferido estatisticamente em comparação ao período de SDH, constatamos aumento pronunciado nas plantas tratadas com 3,36 g de Si em comparação aos demais tratamentos, enquanto que naquelas em RH não tratadas com Si ainda apresentaram valores menores (2,62 mmol $\text{H}_2\text{O m}^2 \text{s}^{-1}$).

A redução da E sugere estratégia de evitar perda excessiva de água, especialmente em condições de restrição hídrica no solo (VELAZQUEZ-MARQUEZ et al., 2015). Todavia, também limitou a entrada de CO_2 atmosférico, o que refletiu em menor A_{max} (Figura 5d) no SDH e na REC em comparação aos demais tratamentos. Sugerimos então que aplicação de doses intermediárias de Si favoreceram os valores de E . O Si ao ser aplicado sobre as folhas deposita-se na forma de sílica-cutícula e forma uma dupla camada sobre o poro estomático (LIU et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2020), estabilizando o balanço hídrico e o metabolismo foliar.

A eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i) e eficiência do uso da água (EUA) foram influenciadas pelos fatores em estudo isoladamente (Figura 6). Houve redução da A/C_i nas plantas cultivadas sob RH e RH + 3,36 g de Si, com valores de (0,007 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ e 0,009 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$), enquanto que sob RH + 0,84 g de Si manteve a A/C_i elevada (0,020 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$) não diferindo-se estatisticamente das controle (Figura 6a). Quanto aos períodos de avaliação, na REC os valores foram maiores do que ao de SDH (Figura 6b).

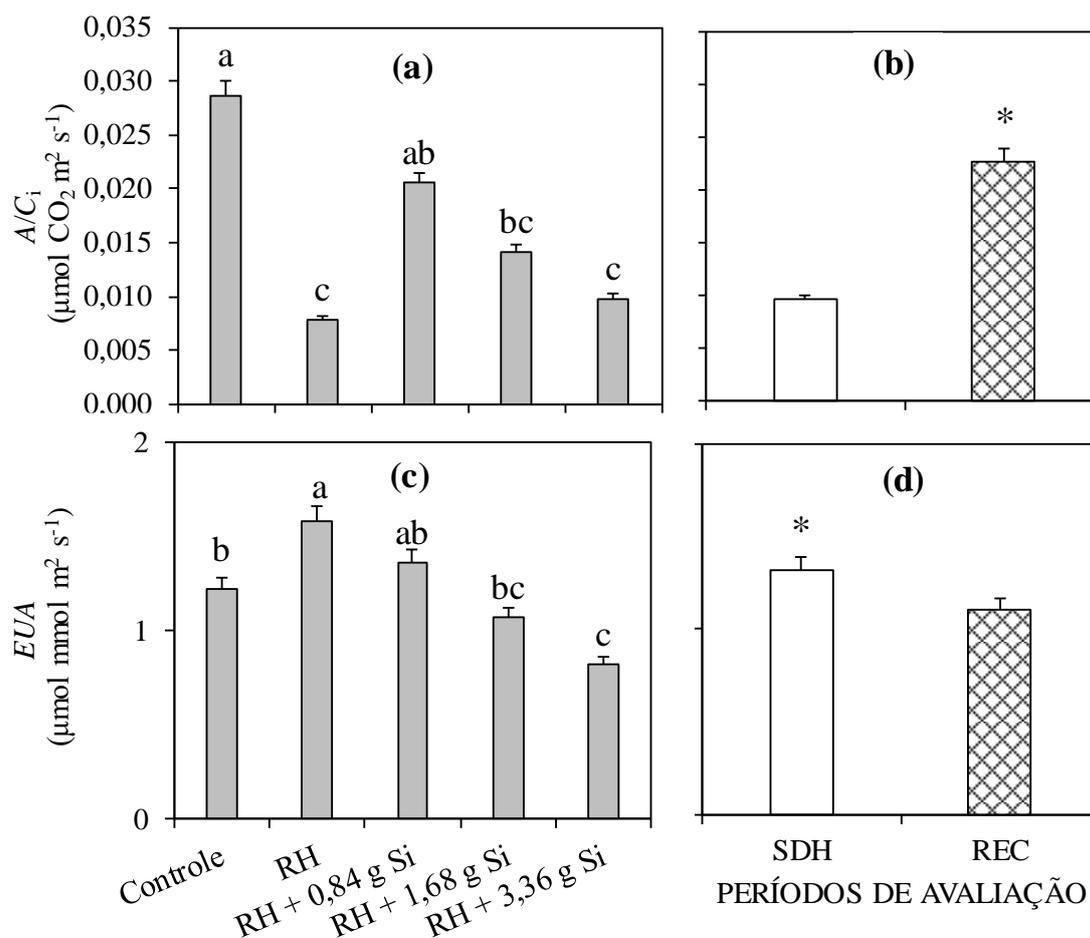


FIGURA 6. Eficiência de carboxilação da Rubisco – A/C_i (a, b), eficiência do uso da água – EUA (c, d) em mudas de *Inga vera* Willd sob irrigação contínua (controle) e restrição hídrica (RH) em associação ao silício, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). (a, c) Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$). (b, d) * (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$)

A restrição hídrica no substrato promove redução do potencial hídrico foliar e de solutos internos, produzindo EROs, tais como singlete de O_2 e peróxido de hidrogênio (BARBOSA et al., 2014), reduzindo a A/C_i devido a degradação de estruturas celulares podendo levar a planta a morte (DALAL e TRIPATHY, 2018). Com a aplicação de 0,84 g de Si as plantas mesmo em condição estressante tiveram valores de A/C_i que não diferiram das plantas controle, indicando maior eficiência na assimilação de CO_2 . O pré-condicionamento com Si contribui na maior estabilidade metabólica das plantas na fase de estresse, uma vez que o *priming* com esse elemento induz a sinalização hormonal, gênicas e enzimáticas de maneira antecipada (SILVA et al., 2019).

Entretanto, após o período de estresse as plantas tiveram os valores de C_i e A/C_i estabilizados, independente do uso do Si, sugerindo plasticidade fisiológica, ou seja,

que a espécie em estudo apresenta potencial de recuperação metabólica quando em condições de fornecimento de água. Algumas espécies nativas no Cerrado apresentam essa mesma resposta de resiliência, dentre elas a *Campomanesia adamantium* Cambess. O. Berg (guavira), *Campomanesia xanthocarpa* Mart. O. Berg (Gabirola) e *Dipteryx alata* Vogel (baru) (SANTOS et al., 2020). No entanto, embora as plantas de *I. vera* apresentaram aumento de alguns componentes fisiológicos, as plantas não tratadas com Si não aumentaram de maneira semelhante às controle, demonstrando o efeito benéfico do Si na recuperação fisiológica dessa espécie.

No que se refere à eficiência do uso da água (*EUA*) verificamos aumento dessa característica nas plantas cultivadas sob RH, com valor de $1,58 \mu\text{mol mmol m}^2 \text{s}^{-1}$, mas sob os tratamentos de RH + 1,68 e 3,36 g de Si, os valores reduziram para 1,07 e 0,82 $\mu\text{mol mmol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 6c). No SDH os valores de *EUA* foram maiores do que na REC (Figura 6d). O aumento da *EUA* é reflexo da menor *E* nessas mesmas condições de cultivo (Figura 5d). Plantas submetidas à limitações hídricas apresentam mecanismos fisiológicos a fim de manter os processos metabólicos estáveis, tal como aumento da *EUA* (BELTRAMIN et al., 2020; TEIXEIRA et al., 2020). Embora o Si favoreça a eficiência do uso da água (XU et al., 2017), verificamos que para o de *I. vera*, doses elevadas de Si ocasionaram prejuízos no balanço hídrico.

As características da fluorescência da clorofila-*a* e processos fotoquímicos no FS II, exceto F_v , foram influenciados pela interação dos fatores em estudo (Figura 7). A F_0 não variou em função dos tratamentos no período de SDH (Figura 7a). Na REC os valores reduziram sob os tratamentos de RH e com 1,68 g de Si (0,045 e 0,043 elétrons quantum^{-1} , respectivamente), diferindo-se estatisticamente apenas naquelas em RH + 0,84 g de Si.

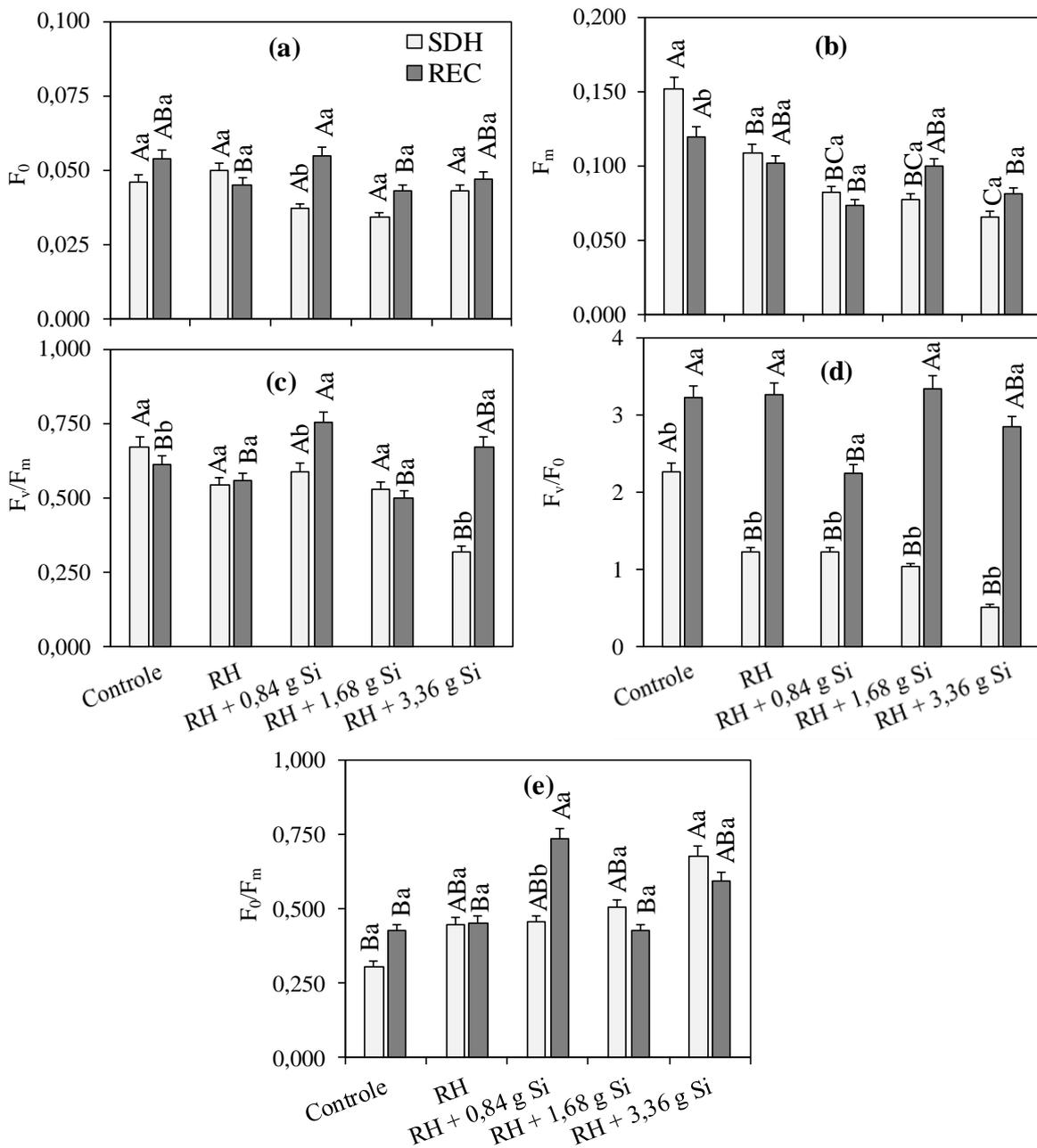


FIGURA 7. Fluorescência inicial – F_0 (a), fluorescência máxima – F_m (b), eficiência quântica fotoquímica no fotossistema II – F_v/F_m (c), eficiência de conversão de energia absorvida – F_v/F_0 (d) e rendimento máximo dos processos não fotoquímico – F_0/F_m (e) em mudas de *Inga vera* Willd sob irrigação contínua (controle) e restrição hídrica (RH) em associação ao silício, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídricos e silício) em cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os dois períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$).

Constatamos redução da F_m sob todos os tratamentos de RH em comparação ao controle, de maneira acentuada das plantas tratadas com 3,36 g de Si ($0,066 \text{ elétrons quantum}^{-1}$) no período de SDH (Figura 7b). Na REC o maior valor ocorreu nas plantas

sob controle ($0,120$ elétrons quantum^{-1}), embora não diferiu estatisticamente de RH; nesse mesmo período, as plantas cultivadas sob RH com as três doses de Si apresentaram menores valores de F_m . A eficiência fotoquímica no FS II (F_v/F_m) nas plantas cultivadas no SDH reduziu apenas daquelas sob RH + $3,36$ g de Si ($0,320$ elétrons quantum^{-1}), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Na REC ocorreu incremento da F_v/F_m nas plantas sob RH + $0,84$ g de Si ($0,752$ elétrons quantum^{-1}), não diferindo daquelas tratadas com $3,36$ g de Si (Figura 7c).

Em geral, as variações nos valores dos processos fotoquímicos nas plantas sob RH, especialmente no SDH, devem-se à instabilidade da transferência de energia nos centros de reações no FS II. Isso, porque com a baixa disponibilidade hídrica no solo ocorre a redução de transporte de elétrons (DALAL e TRIPATHY, 2018). Isso deve-se ao fato de nessa condição ocorrer decréscimo da excitação nos centros de reação do FS II e a reoxidação dos elétrons nos aceptores plastoquinona e QA^- , reduzindo o rendimento fotoquímico (GOLTSEV et al., 2012).

O Si pouco contribuiu na regulação fotoquímica no período de SDH, sendo que seu efeito benéfico foi evidenciado nas plantas tratadas com $0,84$ g de Si na REC, as quais apresentaram melhor performance fotoquímica no FS II (F_v/F_m). O Si promove melhor eficiência quântica do fotossistema II (KHAN et al., 2016), possivelmente pelo fato de promover o reparo nas membranas e reduzir o estresse oxidativo (OLIVEIRA et al., 2019), regulando a máxima eficiência fotoquímica nos centros de reação. As plantas cultivadas sob RH, independente do uso do Si apresentaram redução da eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) no SDH (Figura 7d). Já na REC ocorreu aumento da F_v/F_0 nas plantas sob RH e naquelas tratadas com $0,84$ g de Si, apresentando valores de $3,25$ e $2,24$ elétrons quantum^{-1} , não diferindo das plantas controle.

O maior rendimento máximo dos processos não fotoquímicos (F_0/F_m) ocorreu nas plantas cultivadas sob RH + $3,36$ g de Si ($0,677$ elétrons quantum^{-1}) no período de SDH. Ao aplicar $0,84$ g de Si, as plantas apresentam maior F_0/F_m ($0,734$ elétrons quantum^{-1}) não diferindo estatisticamente das tratadas com $3,36$ g de Si (Figura 7e). O aumento da F_0/F_m está associado ao decréscimo da F_m , promovendo dissipação de energia que irá fortalecer o rendimento máximo dos processos fotoquímicos (KALAJI et al., 2016). Na literatura valores de referência para F_0/F_m variam entre $0,14$ e $0,20$ (ROHÁČEK, 2002; REIS et al., 2020), e valores acima indicam que as plantas estão estressadas, fato observado em *I. vera*. Similarmente, mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess.

(guanandi) também tiveram danos ao aparato fotoquímico em condições de déficit hídrico (REIS et al., 2020).

Quanto à fluorescência variável (F_v), ocorreu redução em todas as plantas sob RH, especialmente naquelas tratadas com 3,36 g de Si ($0,076 \text{ elétrons quantum}^{-1}$) (Figura 8a), e quando cultivadas no período de SDH (Figura 8b). No SDH o transporte de elétrons nos centros de reação foi comprometido. A redução no conteúdo de água do tecido, resulta na inativação parcial ou total de reações fotoquímicas primárias nos fotossistemas (GOLTSEV et al., 2012). No entanto, após a retomada do fornecimento de água promoveu incremento na F_v , reforçando a plasticidade fisiológica. O incremento da F_v representa a máxima capacidade que a planta usar os elétrons disponíveis (YORDANOV et al., 2008).

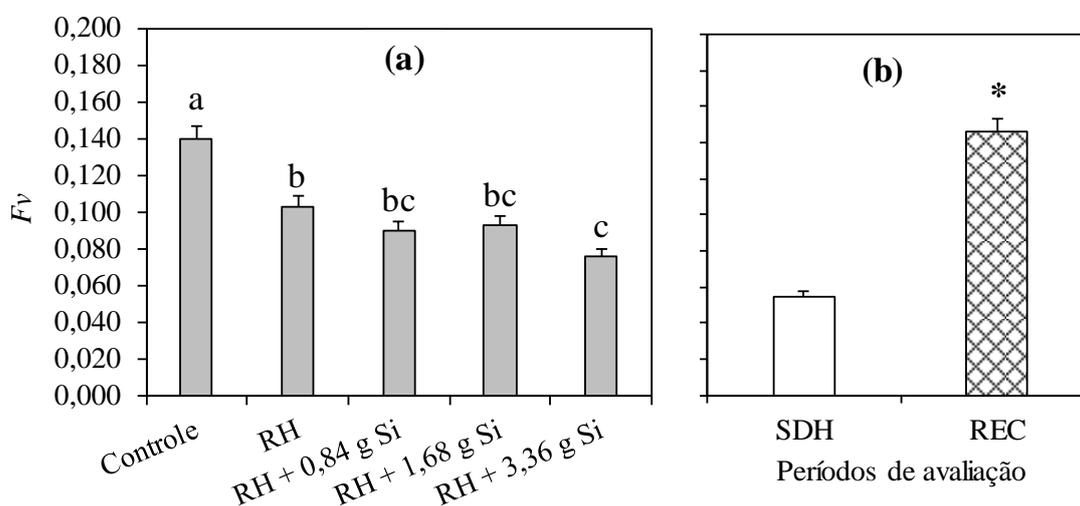


FIGURA 8. Fluorescência variável – F_v em mudas de *Inga vera* Willd sob irrigação contínua (controle) e restrição hídrica (RH) em associação ao silício (a), em dois períodos de avaliação (SDH e REC) (b). (a) Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$). (b) * (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$)

Constatamos que houve interação entre os tratamentos e períodos de avaliação sobre os índices de clorofilas e razão clorofila a/b (Figura 9). O índice de clorofila a diminuiu nas plantas cultivadas em RH e RH + 3,36 g de Si, com valores de 22,56 e 15,26 Falker, em SDH (Figura 9a). Em REC ocorreu aumento desse pigmento nas plantas em todos os tratamentos de RH, independente do uso do Si. Na clorofila b os valores foram menores em RH (7,133 Falker) e RH + 0,84 g de Si quando comparadas às controle em SDH. Na REC não houve diferença estatística em função dos tratamentos (Figura 9b).

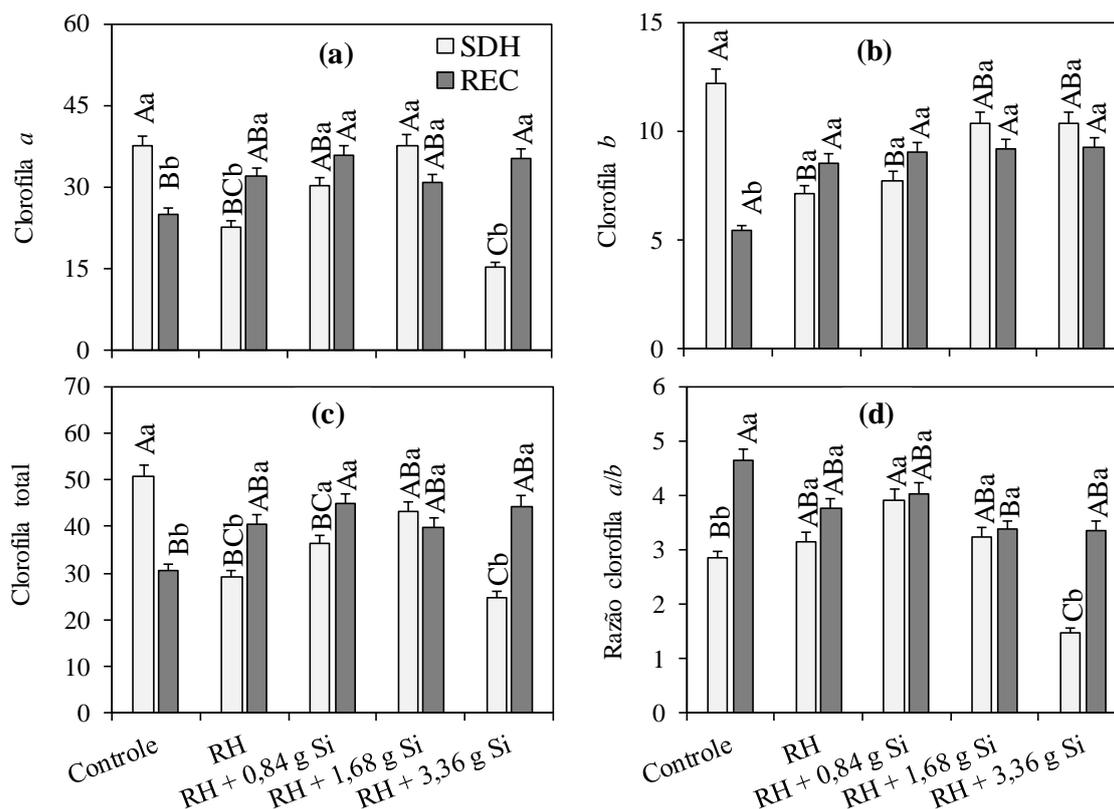


FIGURA 9. Índice de clorofila *a* (a), clorofila *b* (b), clorofila total (*a* + *b*) (c) e razão clorofila *a/b* (d) em mudas de *Inga vera* Willd sob irrigação contínua (controle) e restrição hídrica (RH) em associação silício, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídrico e silício) dentro de cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os dois períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$).

No SDH, a clorofila total reduziu especialmente em RH + 3,36 g de Si, enquanto que os maiores valores ocorreram sob controle e RH + 1,68 g de Si, os quais não diferiram entre si (Figura 9c). Na REC, as plantas controle apresentaram menor valor em comparação àquelas tratadas com 0,84 g de Si (44,85 Falker). Quanto à razão clorofila *a/b* o menor valor foi de 1,48 nas plantas sob RH + 3,36 g de Si, no SDH (Figura 9d), e na REC foi de 3,37 em RH + 1,68 g de Si, diferindo estatisticamente em relação às controle.

Em geral, o déficit hídrico promove danos oxidativos aos cloroplastos, degradando os pigmentos fotossintéticos, afetando negativamente a mobilidade dos elétrons entre os aceptores da cadeia transportadora nos centros de reação dos fotossistemas (ASHRAF et al., 2013), conseqüentemente influenciando a taxa fotossintética, produção de fotoassimilados e o crescimento das plantas.

Entretanto, ao avaliar a altura de plantas e o número de folhas observamos que não houve influência dos fatores em estudo ($p < 0,05$), apresentando valores médios de 33,86 cm e 6,16 folhas/planta, o que pode ser atribuído ao período de exposição ao estresse por déficit hídrico que não foi o suficiente para promover mudanças sobre essas características de crescimento, especialmente por se tratar de uma espécie arbórea, isto é, que apresenta crescimento inicial lento considerando seu ciclo de desenvolvimento.

O comprimento das raízes (CR) e diâmetro do coleto (DC) foi influenciado tanto pelos tratamentos quanto períodos de avaliação, isoladamente (Figura 10). O menor e maior CR ocorreu nas plantas sob RH tratadas com 0,84 e 3,36 g de Si, com valores de 21,76 e 32,71 cm, respectivamente (Figura 10a). Quanto aos períodos de avaliação, observamos maior CR na REC (Figura 10b).

O Si atua no aumento da eficiência de uso da água na planta, mitigando o efeito estressante do déficit, além do fato desse elemento induzir a síntese de citocinina e ácido abscísico, que promovem a divisão celular e expansão dos meristemas radiculares (MARKOVICH et al., 2017; CHUNG et al., 2020). Geralmente, as plantas sob limitações hídricas passam por ajustes morfológicos, tal como aumento da raiz, o que favorece maior adaptabilidade às condições adversas (FURQUIM et al., 2018). No entanto, os resultados observados para o *I. vera* foram diferentes aos descritos na literatura para outras espécies.

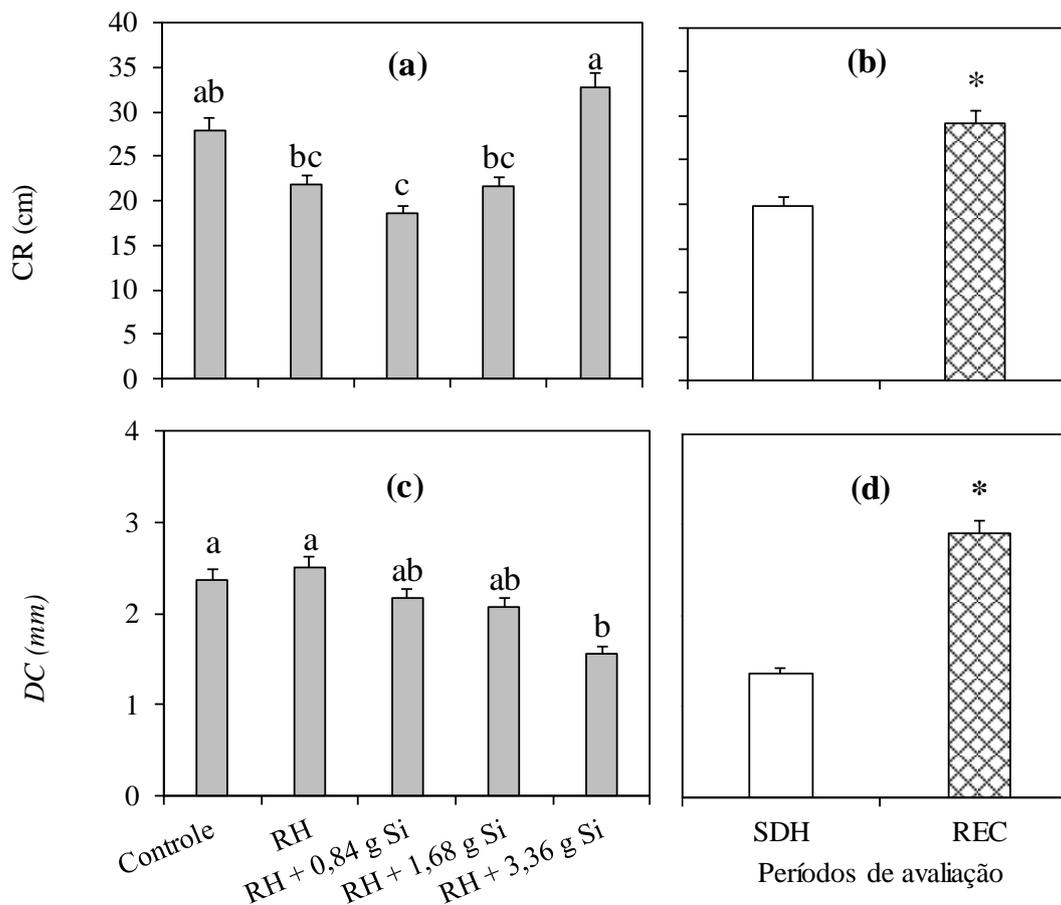


FIGURA 10. Comprimento das raízes – CR (cm) (a), Diâmetro do coleto – DC (mm) (c), em mudas de *I. vera* Willd sob condições de déficit hídrico em associação ao uso do Si, sob dois períodos de avaliação (SDH e REC). (a, c) Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey; $p < 0,05$). (b, d) * (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$)

Os maiores diâmetros do coleto (2,36 e 2,50 mm, respectivamente) ocorreram nas plantas cultivadas sob controle e RH (Figura 10c), enquanto que os menores DC foram observados naquelas em RH + 3,36 g de Si e no período de SDH (Figura 10c e 10d). A redução do DC pode estar associada ao fato de nessas condições, as plantas tiveram 1º ou 2º par de folhas murchos, indicando que a espécie estava em ponto de murcha temporária, sendo assim em aspecto de redução da turgescência acentuada tanto das folhas quanto do diâmetro.

A área foliar (AF) e o índice relativo de clorofila por unidade de área foliar (ICAF) influenciados pela interação dos fatores em estudo (Figura 11). Quanto à AF, ocorreu redução nas plantas cultivadas sob RH (255 cm²) e tratadas com 3,36 g de Si (138 cm²) no SDH (Figura 11a). A redução da AF refletiu menor taxa fotossintética, mas ao mesmo tempo contribuiu na redução da transpiração foliar (Figura 5d) em condição de déficit e quando associado ao excesso de Si. Por outro lado, com as doses de 0,84 e 1,68

g de Si, contribuíram na manutenção dessas características, uma vez que não diferiram estatisticamente das plantas controle nesse mesmo período. Na REC a AF das plantas tratadas com 0,84 e 3,36 g de Si tiveram os menores valores (172 e 222 cm², respectivamente) em comparação aos demais tratamentos. Embora a AF com 0,84 g de Si tenha reduzido, ocorreu incremento de clorofila por unidade de área e valores da F_v/F_m , mantendo A_{max} estável

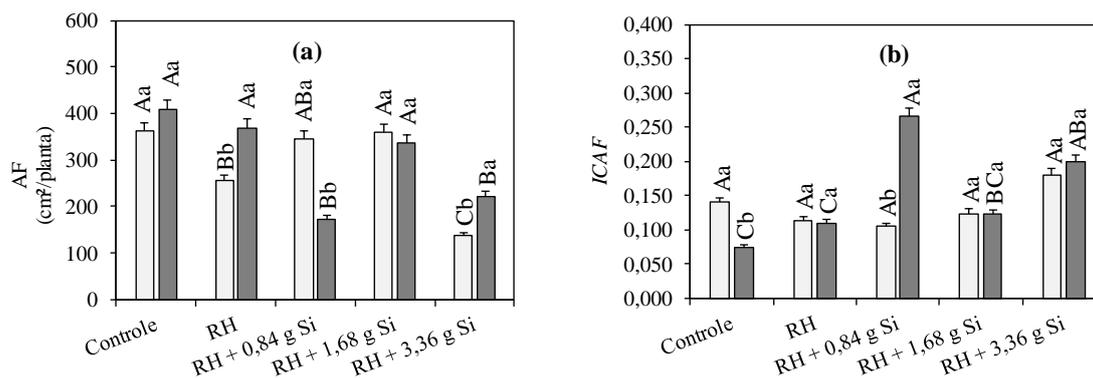


FIGURA 11. Área foliar – AF (a), índice relativo de clorofila por área foliar – ICAF (b) em mudas de *I. vera* Willd sob condições de déficit hídrico em associação ao uso do Si, sob dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídrico e silício) dentro de cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$). Letras minúsculas comparam os dois períodos de avaliação dentro de cada tratamento (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$).

Os valores de ICAF não diferiram estatisticamente no período de SDH (Figura 11b). Já na REC, houve incremento pronunciado nas plantas tratadas com 0,84 g de Si (0,2653), possibilitando que nessas condições ocorresse máximo rendimento fotoquímico (Figura 7d) e aumento de A (Figura 5a). O Si melhora a arquitetura da planta, favorecendo o arranjo foliar mais ereto, contribuindo na intercepção luminosa (TEIXEIRA et al., 2020).

Os índices fisiológicos de área foliar específica (AFE) e razão de área foliar (RAF), bem como a massa seca da parte aérea (MSPA) foram influenciados apenas pelos tratamentos, sendo que AFE e RAF apresentaram a mesma tendência de resposta, isto é, maiores valores (416,51 e 111,24 cm² g⁻¹, respectivamente) nas plantas cultivadas sob RH + 1,68 g de Si (Figuras 12a e 12b). Nos demais tratamentos, exceto controle, os valores foram menores.

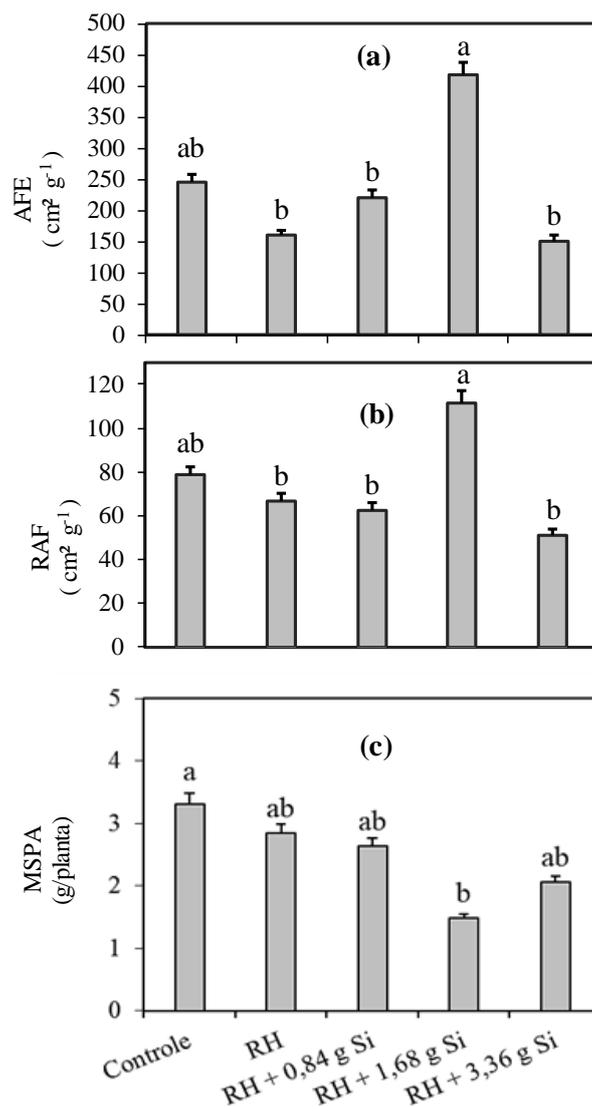


FIGURA 12. Área foliar específica – AFE (a), razão de área foliar – RAF (b) e massa seca da parte aérea – MSPA (c), em mudas de *I. vera Willd* sob condições de déficit hídrico em associação ao uso do Si, sob dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey; $p < 0,05$).

De acordo com Beltramin et al. (2020) o aumento desses índices fisiológicos resulta do aumento da espessura foliar. O Si aumenta a rigidez estrutural no tecido da planta (LIMA et al., 2019). No entanto, vale destacar que nem sempre esse incremento resulta em produção de biomassa, tal como observado nas plantas de *I. vera*, uma vez que tiveram menor MSPA nessa mesma condição de cultivo (Figura 12c) em função da dissipação de energia na forma de fluorescência (Figura 7a) e menor eficiência fotoquímica no FS II (Figura 7d). Por outro lado, a massa seca de raiz e total das mudas não foram influenciadas pelos fatores em estudo ($p > 0,05$), apresentando média geral de 1,676 e 4,264 g/planta, respectivamente.

No que se refere ao índice de qualidade de Dickson (IQD), os maiores valores ocorreram nas plantas cultivadas sob irrigação contínua (controle), embora não tenha diferido estatisticamente daquelas sob RH e RH + 0,84 g de Si (Figura 13a), e quando cultivadas no período de REC (Figura 13b). Essa resposta no período REC deve-se ao fato dessas condições terem favorecido na manutenção da disponibilidade hídrica e dos processos fisiológicos e de produção de fotoassimilados. O índice de qualidade Dickson leva em consideração o vigor e o equilíbrio da distribuição da biomassa, sendo assim um bom indicador de qualidade (MEDEIROS et al., 2018).

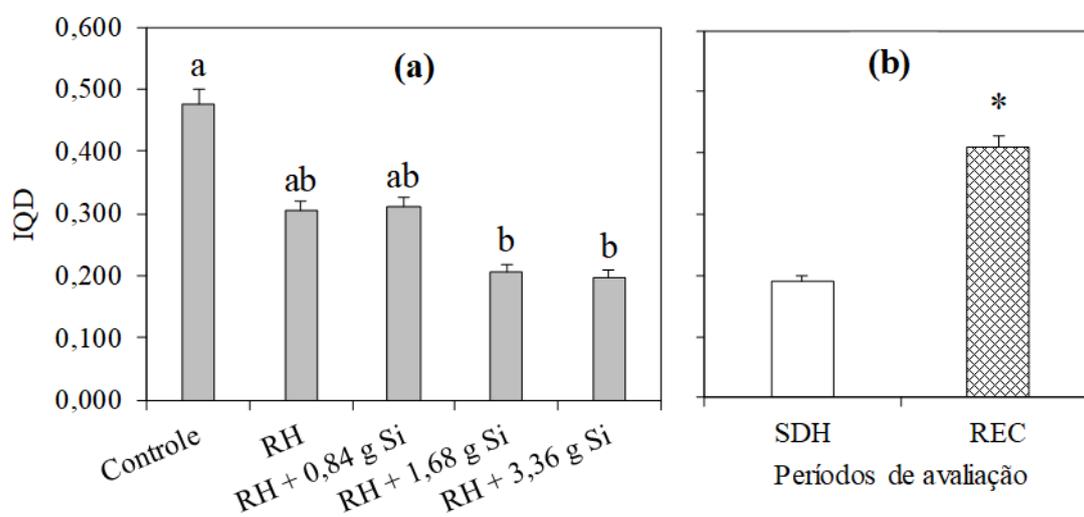


FIGURA 13. Índice de qualidade de Dickson – IQD (a), em mudas de *I. vera* Willd sob condições de déficit hídrico em associação ao uso do Si, sob dois períodos de avaliação (SDH e REC). (a) Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$). (b) * (teste t de Bonferroni, $p < 0,05$)

Com base nos resultados, verificamos que o *I. vera* é uma espécie sensível a baixa disponibilidade hídrica no solo, uma vez que apresentou redução do metabolismo fotossintético. A aplicação de Si foliar demonstrou ser uma prática promissora para produção de mudas dessa espécie. Em perspectivas futuras, novos estudos devem ser realizados com a espécie, especialmente sobre determinação de atividade de enzimas antioxidantes em condições estressantes, visando aumentar as informações sobre a espécie e seu potencial de inserção em recuperação de áreas degradadas ou sistemas integrados de produção, além disso, sugerimos outros estudos com maior período de exposição das plantas de *Inga vera* Willd ao déficit hídrico e Si visando conhecer as respostas de crescimento de maneira gradual.

4 CONCLUSÕES

As plantas de *Inga vera* Willd apresentam sensibilidade ao déficit hídrico, mas o silício, especialmente na dose de 0,84 g contribui na mitigação dos danos ao aparato fotossintético durante e após a restrição hídrica.

A aplicação de 0,84 e 1,68 g de Si retardou surgimento de sintomas visuais do estresse por déficit hídrico, enquanto que as plantas tratadas com 3,36 g de Si apresentaram sintomas ao mesmo tempo daquelas não tratadas.

A espécie apresenta recuperação fisiológica e de crescimento inicial, demonstrando seu potencial de resiliência ecológica por meio de plasticidade fisiológica, de maneira mais pronunciada com doses de 0,84 g de Si enquanto que o crescimento também apresenta recuperação após retomada do fornecimento de água, independente do uso do silício.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAF, M.; HARRIS, P. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, n. 1, p. 163–190, 2013.

BARBOSA, M.; SILVA, M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T.; Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas, **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BELTRAMIN, F. A.; COSTA, W. C.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Water-Retaining polymer mitigates the water deficit in *Schinus terebinthifolia*: photosynthetic metabolism and initial growth. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 6, p. 684-691, 2020.

BOOGAR, A. R.; SALEHI, H. Developmental indices of cones collected from male plants of *Juniperus polycarpus* K. Koch under in vitro water deficit and salt stress conditions. **South African Journal of Botany**, v. 131, n. 1, p. 277-282. 2020

CARVALHO, A. C.; ANJOS, R.; AIRES, R.; MARQUES, T.; PINTO, T.; LARANJO, T. Ecophysiological study of the impact of SiK(R) fertilization on *Castanea sativa* Mill. seedlings tolerance to high temperature. **Photosynthetica**, v. 57, n. 1, p. 1165-1175, 2019.

CHUNG, Y.; U, LEE.; S, HEO.; R, SILVA.; C, NA.; Y, KIM. Image-based machine learning characterizes root nodule in soybean exposed to silicone, **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 16-52, 2020.

DALAL, V.; TRIPATHY, B. Water-stress induced downsizing of light-harvesting antenna complex protects developing rice seedlings from photo-oxidative damage. **Scientific Reports**, v. 8, n. 5955, p. 1-16, 2018.

DAMASCENO-JUNIOR, G.; POTT, A.; POTT, V.; SILVA, J. Florestas estacionais no pantanal: considerações florísticas e subsídios para conservação. **Embrapa Agropecuária**, v. 34, n. especial, p. 697-707, 2009.

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.

FAROOQ, M. A.; DIETZ, K. J. Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 1, p. 994-998, 2015.

FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C. P.; MELLO AMOROZO, M. C.; SIQUEIRA, L. C.; MAROTTA, P. B.; CARDOSO, I. M. Etnobotânica de leguminosae entre agricultores agroecológicos na Floresta Atlântica, Araponga, Minas Gerais, Brasil, **Rodriguesia**, v. 65, n. 2 p. 539-554, 2014.

FERREIRA, D, F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 3, p. 529–535, 2019.

FURQUIM, L.; SANTOS, M.; ANDRADE, C.; OLIVEIRA, L.; EVANGELISTA, A.; Relação entre plantas nativas do cerrado e água. **Científica Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 146-156, 2018.

GOLTSEV, V.; ZAHARIEVA, I.; CHERNEV, P.; KOUZMANOVA, M.; KALAJI, H.; YORDANOV, I.; KRASTEVA, V.; ALEXANDROV, V.; STEFANOV, D.; ALLAKHVERDIEV, S.; STRASSER, R. Drought-induced modifications of photosynthetic electron transport in intact leaves: Analysis and use of neural networks as a tool for a rapid non-invasive estimation, **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics**, v. 1817, n. 8, p. 1490-1498, 2012.

GONÇALVES, J.; SILVA, C.; GUIMARÃES, D. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14. 2009.

HUNT, R. **Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners**. Unwin Hyman, 1990. 112p.

IPCC, 2018: **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_AnnexI_Glossary.pdf, Acesso em 10/10/2020.

KALAJI, M.; JAJOO, A.; OUKARROM, A. Chlorophyll *a* fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiological Plant**, v. 38, n. 102, p. 1-11, 2016.

KHAN, W.-D.; AZIZ, T.; MAQSOOD, M. A.; SABIR, M.; AHMAD, H. R.; RAMZANI, P. M. A.; NASEEM, M. Silicon: a beneficial nutrient under salt stress, its uptake mechanism and mode of action. **Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectivas**, v. 10, n. 7, p. 287–301. 2016.

LAMARCA, V.; BARBEDO, C. Sensibilidade à dessecação de embriões de *Inga vera* Willd. formados sob diferentes condições ambientais. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1083-1092, 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.

LIU, P.; YIN, L.; DENG.; X, WANG.; TANAKA, K.; ZHANG, S. Aquaporin-mediated increase in root hydraulic conductance is involved in silicon-induced improved root water uptake under osmotic stress in Sorghum bicolor L. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n.1, p. 4747-4756, 2014.

MAIA, J.; SCOTTI, M. R. Growth of *Inga vera* Willd. Subsp. *Affinis* under Rizobia inoculation. **Revista de la Ciencia del suelo y Nutrición Vegetal**, v. 10, n. 2, p. 139–149, 2010.

MARKOVICH, O.; STEINER, E.; KOURIL, S.; TARKOWSKI, P.; AHARONI, A.; ELBAUM, R. Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in *Arabidopsis* and *Sorghum*. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 7, p. 1189-1196, 2017.

MEDEIROS, M.; JESUS, H.; SANTOS, N.; MELO, M. R.; SOUZA, V.; BORGES, L.; GUERREIRO, A.; FREITAS, L. Índice de qualidade de Dickson e características morfológicas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 159–173, 2018.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Influência do polímero hidrorretentor na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus dunnii* sob diferentes manejos hídricos. **Revista Nativa**, v. 2, n. 2, p. 108 - 113, 2014.

TEIXEIRA, G.; ROCHA, A.; OLIVEIRA, K.; SARAH, M.; OLIVEIRA FILHO, A.; PRADO, R.; PALARETTI, L. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. **Científica**, v. 48, n. 2, p. 170-187, 2020.

OLIVEIRA, L.; PRADO, P. M.; FELISBERTO, G., CHECCHIO M.V.; GRATÃO, P.L. silicon mitigates manganese deficiency stress by regulating the physiology and activity of antioxidant enzymes in sorghum plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 51, p. 524-534, 2019.

REIS, L. C., P.Q. SCALON, S., DRESCH, D., FORESTI, A. C., SANTOS, C. C., & PEREIRA, Z. V. Chlorophyll *a* fluorescence as an indicator of water stress in *Calophyllum brasiliense*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 1, p. 210-220, 2020.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: The definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.

SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M. Water stress on the photosynthetic and enzymatic metabolism in seedlings native specie's of brazilian cerrado. **Open Access Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 4, p. 252, 2020.

SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; VAN DEN BERG, P.; NUNES, M. H.; CARVALHO, D. A. Florestas Inundáveis: ecologia, florística e adaptações das espécies. **UFLA**, p. 170, 2012.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUZA, L. P.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency in soursop under saline water irrigation and nitrogen sources. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 12, p. 325-334. 2017

SILVA, J.; PAIVA, E.; LEITE, M.; TORRES, S.; NETA, M.; GUIRRA, K. 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.

SILVA, R. H., MARINHO, M. G. V., SILVA, E., SILVA, F. G. Etnobotânica como subsídio para conservação das espécies vegetais utilizadas pela população ribeirinha do Rio Piranhas, São Bento, Paraíba. **Science Plena**, v. 11, n. 12, p. 1–12, 2015.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIN NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2002.

SOUZA, M. C.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2013.

ZANETTI, L.; MILANEZ, C.; GAMA, V.; AGUILAR, M.A.; SOUZA, C.; CAMPOSTRINI, E.; FERRAZ, T.; FIGUEIREDO, F. Leaf applications of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 3, p. 215-223, 2016.

VELAZQUEZ-MARQUEZ, S.; CONDE-MARTINEZ, V.; TREJO, C. Effect of water deficit on radicle apex elongation and solute accumulation in *Zea mays* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, n. 1, p. 29-37, 2015.

YORDANOV, I.; GOLTSEV, V.; STEFANOV, D.; CHERNEV, P.; ZAHARIEVA, I.; KIROVA, M.; GECHEVA, V.; STRASSER, R. Preservation of photosynthetic electron transport from senescence-induced inactivation in primary leaves after decapitation and defoliation of bean plants, **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 18, p. 1954-1963, 2008.

XU, L.; ISLAM, F.; ALI, B.; PEI, Z.; LI, J.; GHANI, M.; ZHOU, W. Silicon and water-deficit stress differentially modulate physiology and ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum* L.) **Biotech**, v. 7, n. 8, p. 3-13, 2017.