

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**MORFOFISIOLOGIA E METABOLISMO ANTIOXIDANTE
DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E LUMINOSAS**

JULIANA MILENE SILVERIO

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2025

**MORFOFISIOLOGIA E METABOLISMO ANTIOXIDANTE DE MUDAS DE
Cedrela fissilis Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E LUMINOSAS**

Juliana Milene Silverio
Engenheira agrônoma

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutora.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S587m Silverio, Juliana Milene
Morfofisiologia e metabolismo antioxidante de mudas de Cedrela fissilis Vell. sob disponibilidades hídricas e luminosas [recurso eletrônico] / Juliana Milene Silverio. -- 2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon .
Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Cedro. 2. déficit hídrico. 3. ecofisiologia. 4. espécies reativas de oxigênio. 5. estresse luminoso. I. Scalon, Silvana De Paula Quintão. II. 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.

MORFOFISIOLOGIA E METABOLISMO ANTIOXIDANTE DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E LUMINOSAS

Por

Juliana Milene Silverio

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovada em: 13/03/2025

Documento assinado digitalmente
 **SILVANA DE PAULA QUINTAO SCALON**
Data: 19/08/2025 20:19:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Silvana de Paula Q. Scalon
Orientadora – UFGD/ FCA

Documento assinado digitalmente
 **CLEBERTON CORREIA SANTOS**
Data: 05/08/2025 11:43:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
UFGD/ FCA

Documento assinado digitalmente
 **EDILSON COSTA**
Data: 19/08/2025 20:47:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edilson Costa
UEMS

Documento assinado digitalmente
 **ELISSANDRA PACITO TORALES**
Data: 06/08/2025 15:18:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Elissandra Pacito Torales
UFGD/FCA

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANE ALMERI TABALDI**
Data: 20/08/2025 07:04:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Luciane Almeri Tabaldi
UFSM

*“Meu Deus tem sido meu apoio;
guiou-me através de minhas
aflições no deserto e salvou-me
das águas do grande abismo.
Encheu-me com seu amor até
consumir-me a carne.”*

2 Néfi, 4: 20-21

Á Deus, Odete Rufino Silverio (in memoriam), Regina Silverio Miranda, Jonas Miranda Marques e João Pedro Silverio Miranda.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e ao meu Salvador e Redentor, Jesus Cristo, pela vida, pela inspiração e por me sustentarem até aqui.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, expresse minha gratidão por toda a estrutura, suporte e oportunidades oferecidas ao longo desta jornada.

À Profa. Dra. Silvana de Paula Quintão Scalon, uma profissional exemplar, orientadora dedicada e ser humano incrível, sou imensamente grata por todo o conhecimento transmitido, pelo esforço contínuo em busca de recursos para a pesquisa, pelo incentivo constante e por seu acompanhamento atento em cada etapa. Sua disponibilidade e dedicação foram fundamentais, e foi um privilégio ser orientada por ela.

Ao Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, que me inspirou a trilhar o caminho da pesquisa e sempre foi um grande incentivador e amigo, agradeço profundamente pelo companheirismo, apoio, coorientação e ensinamentos. Sua presença foi essencial nos momentos de desafios e desânimo, e me sinto extremamente abençoada por tê-lo ao meu lado.

Agradeço a todos os docentes, técnicos laboratoriais e técnicos-administrativos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelo suporte, dedicação e tempo despendido em prol do ensino e da pesquisa.

Aos integrantes do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas (GEEP) da UFGD, especialmente aos colegas da pós-graduação Jéssica Aline Linné, Thaise Dantas, Rodrigo Bernardes e Anderson dos Santos Dias, agradeço pela parceria, apoio e companheirismo ao longo das avaliações e da condução dos experimentos, tanto a campo quanto em laboratório.

Não posso deixar de mencionar os alunos de iniciação científica, entre eles Rian Alex Lopes Janse, Diego Pereira, Victor Stein, João Paulo Souza, Luis Guilherme Rodrigues Macedo, Leonardo Meotti e José Ricardo Palácio, que foram extremamente solícitos em todas as avaliações, conciliando suas atividades acadêmicas e demonstrando grande empenho para participar das atividades do grupo.

Aos meus pais, Regina Silverio Miranda e Jonas Miranda Marques, minha eterna gratidão por todo amor, apoio, incentivo e paciência. Eles são minha maior motivação para buscar um futuro melhor, verdadeiros exemplos de honestidade e trabalho árduo. Espero retribuir, com todo o meu esforço, o zelo que sempre tiveram por mim.

À minha avó Odete Rufino Silverio (*in memoriam*), por sempre me apoiar e incentivar nos estudos, por ser meu porto seguro. Ela esteve presente em parte dessa jornada e deixou uma marca fundamental na minha vida.

Ao meu irmão, João Pedro Silverio Miranda, agradeço pela amizade e pelo apoio incondicional, até mesmo nos finais de semana, quando ia à universidade me fazer companhia durante a irrigação das mudas.

À minha prima Gabriela Fernandes Silverio, por seu incentivo constante, apoio incondicional, compreensão diante da minha ausência e por sempre acreditar no meu potencial. Sua amizade e seu carinho foram fundamentais ao longo dessa trajetória.

À minha querida amiga Livia Robes Ayres, por seu apoio, amizade e preocupação genuína comigo, sempre me ouvindo e me confortando nos momentos difíceis.

Aos meus familiares, Tios Nelson Silverio e Cleonice Gregório Silverio, minhas primas Geovanna e Camila, e minha afilhada Pietra Silverio Brito, agradeço pelo carinho, apoio e incentivo. A presença de vocês em minha vida foi essencial para que eu seguisse firme neste caminho.

À CAPES, pela concessão de bolsas e pelo apoio financeiro, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Serei eternamente grata a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta conquista.

Juliana Milene Silverio

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	x
GENERAL ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1. Distribuição geográfica, características morfofisiológicas e importância de <i>Cedrela fissilis</i> Vell.	14
1.2. Alterações climáticas e seus impactos no desenvolvimento de plantas.....	15
1.3. Fatores abióticos limitantes ao desempenho das culturas.....	16
1.4. Percepção e modo de ação das plantas em condições de estresse	18
2. HIPÓTESE	20
3. OBJETIVOS.....	21
3.1. Objetivo geral	21
3.2. Objetivos específicos	21
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
CAPÍTULO I - INTERAÇÃO ÁGUA-LUZ E SEU REFLEXO NA MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE <i>Cedrela fissilis</i> Vell.	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
3. RESULTADOS.....	35
4. DISCUSSÃO.....	45
5. CONCLUSÃO	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPÍTULO II: TROCAS GASOSAS E METABOLISMO ANTIOXIDANTE DE MUDAS DE <i>Cedrela fissilis</i> Vell. EM DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E LUMINOSAS.....	57

RESUMO	57
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS	62
3. RESULTADOS.....	67
4. DISCUSSÃO.....	75
5. CONCLUSÃO	80
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87

RESUMO GERAL

SILVERIO, Juliana Milene. **Morfofisiologia e metabolismo antioxidante de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. sob disponibilidades hídricas e luminosas.** 2025. 85f. (Doutorado em Agronomia/Produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

Cedrella fissillis Vell. é uma espécie arbórea nativa de grande relevância para a indústria madeireira nacional e internacional, além de apresentar um significativo potencial ecológico. O seu alto valor econômico levou a intensa exploração fazendo com que essa espécie fosse designada como vulnerável. Neste contexto o aprofundamento do conhecimento sobre as respostas que mudas de *C. fissillis* apresentam quando submetidas em diferentes condições de cultivo se torna imprescindível para preservação, utilização e manejo cultural dessa espécie. Nos últimos anos tem-se intensificado a ocorrência de variações climáticas, tais variações estão fazendo com que as plantas sejam expostas a condições adversas e extremas. Dentre os fatores abióticos que interferem no crescimento e desenvolvimento das plantas a disponibilidade hídrica e luminosa se destacam. Torna-se imprescindível verificar dentre as espécies quais possuem tolerância, e por quais períodos suportam variações hídricas e luminosas sem que isso comprometa seu crescimento e desenvolvimento. Sendo assim, objetivamos avaliar os impactos do tempo de exposição à diferentes disponibilidades hídricas e luminosas e a interação desses fatores na atividade fotoquímica e no crescimento inicial de *C. fissillis*, e também verificar se o sombreamento pode mitigar os efeitos do estresse hídrico no cultivo de *C. fissillis* facilitando a ação de mecanismos de proteção e mantendo a qualidade das mudas. As mudas foram submetidas a combinações de três níveis de sombreamento – SH (0, 30 e 70%) e três regimes hídricos baseados na capacidade de retenção de água (CRA) no substrato, constituindo nove condições de cultivo: T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. No primeiro capítulo foram abordadas as características de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila que foram avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo, assim como características destrutivas de conteúdo relativo de água e crescimento que foram avaliadas aos 15 e 60 dias. Verificou-se que mudas de *C. fissillis* são sensíveis ao déficit hídrico, aqui representado por 40% CRA, independentemente do tempo de exposição, e quando cultivadas a pleno sol

mesmo havendo variações na radiação, os efeitos estressantes foram potencializados, atuando de forma sinérgica. A condição que proporcionou maiores valores de trocas gasosas e maior acúmulo de massa seca total para mudas de *C. fissilis* foi 30% de sombreamento combinado com 100% CRA. O segundo capítulo explora as respostas de *C. fissilis* no que diz respeito a atividade fotoquímica, teor de água, metabolismo antioxidante e qualidade das mudas. As avaliações dessas características foram realizadas em dois períodos distintos: aos 15 e 60 dias. As mudas de *C. fissilis* respondem aos extremos de disponibilidade hídrica e luminosa combinados e dentre as condições de cultivo estudadas, a combinação de sombreamento moderado (30% SH) com maior disponibilidade hídrica (100% CRA) reduziu os danos no aparato fotossintético e proporcionou melhor qualidade das mudas com o aumento do tempo de exposição. O ambiente pleno sol ocasionou danos às trocas gasosas e ao fotossistema II e redução na qualidade das mudas na condição 0% SH. As mudas sob pleno sol e baixa disponibilidade hídrica (0% SH + 40% CRA) não apresentaram boa qualidade. Concluindo que mudas de *C. fissilis* demonstraram plasticidade fisiológica e resiliência frente às variações nas condições hídricas e luminosas, adaptando-se por meio de ajustes no metabolismo fotossintético e na ativação do sistema antioxidante. A combinação de 30% de sombreamento com 100% da capacidade de retenção de água (CRA) favoreceu as trocas gasosas, o acúmulo de biomassa e resultou em mudas mais vigorosas. Em contrapartida, a restrição hídrica a 40% da CRA comprometeu o crescimento, especialmente sob pleno sol.

Palavras-chave: Cedro; déficit hídrico; ecofisiologia; espécies reativas de oxigênio; estresse luminoso; fotoquímica; resiliência; sombreamento.

GENERAL ABSTRACT

SILVERIO, Juliana Milene. **Morphophysiology and antioxidant metabolism of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings under water and light availability.** 2025. 85f. (Doutorado em Agronomia/Produção vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

Cedrella fissilis Vell. is a native tree species of great relevance to the national and international timber industry, in addition to presenting significant ecological potential. Its high economic value has led to intense exploitation, resulting in this species being designated as vulnerable. In this context, deeper knowledge about the responses that *C. fissilis* seedlings present when subjected to different cultivation conditions becomes essential for the preservation, use and cultural management of this species. In recent years, the occurrence of climate variations has intensified, and such variations cause plants to be exposed to adverse and extreme conditions. Among the abiotic factors that interfere with the growth and development of plants, water and light availability stand out. It is essential to verify which species are tolerant, and for what periods they can withstand water and light variations without compromising their growth and development. Therefore, we aimed to evaluate the impacts of exposure time to different water and light availability and the interaction of these factors on the photochemical activity and initial growth of *C. fissilis*, and also to verify whether shading can mitigate the effects of water stress on the cultivation of *C. fissilis*, facilitating the action of protection mechanisms and maintaining the quality of the seedlings. The seedlings were subjected to combinations of three shading levels – SH (0%, 30% e 70%) and three water regimes based on the water holding capacity (WHC) of the substrate, constituting nine cultivation conditions: T1 – 0% SH + 40% WHC; T2 – 0% SH + 70% WHC; T3 – 0% SH + 100% WHC; T4 – 30% SH + 40% WHC; T5 – 30% SH + 70% WHC; T6 – 30% SH + 100% WHC; T7 – 70% SH + 40% WHC; T8 – 70% SH + 70% WHC; T9 – 70% SH + 100% WHC. The first chapter addressed the characteristics of gas exchange, chlorophyll a fluorescence and chlorophyll index, which were evaluated at 15, 30, 45 and 60 days of cultivation, as well as destructive characteristics of relative water content and growth, which were evaluated at 15 and 60 days. It was found that *C. fissilis* seedlings are sensitive to water deficit, here represented by 40% WHC, regardless of the exposure time, and when grown in full sun, even with variations in radiation, the stressful effects were enhanced, acting synergistically. The condition that provided the best gas exchange performance and the greatest accumulation of total dry mass for *C. fissilis* seedlings was 30% shading combined with 100% WHC. The second chapter explores the responses of *C. fissilis* with regard to photochemical activity, water content, antioxidant metabolism and seedling quality. The evaluations of these characteristics were carried out in two different periods: at

15 and 60 days. *C. fissilis* seedlings respond to extremes of combined water and light availability and among the cultivation conditions studied, the combination of moderate shading (30% SH) with greater water availability (100% WHC) reduced damage to the photosynthetic apparatus and provided better seedling quality with increased exposure time. Excessive light caused damage to gas exchange and photosystem II and reduced seedling quality under 0% SH conditions. Seedlings grown under full sun and low water availability (0% SH + 40% WHC) did not show good quality. We conclude that *C. fissilis* seedlings adapt to different growing conditions through adjustments in their physiology and metabolism.

Keywords: Cedar; ecophysiology; photochemistry; resilience; reactive oxygen species; shading; water deficit.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Distribuição geográfica, características morfofisiológicas e importância de *Cedrela fissilis* Vell.

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) é uma espécie arbórea, lenhosa, nativa, não endêmica e popularmente conhecida como “cedro-rosa” (ROCHA et al., 2022). Essa espécie é de grande importância para a indústria madeireira nacional e internacional (SANTOS JÚNIOR et al., 2021; SALA et al., 2021), possui ampla distribuição geográfica, e no Brasil abrange os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, sendo encontrada em diversas fitofisionomias, especialmente em florestas atlânticas semidecíduas (FERREIRA et al., 2021).

Em um levantamento realizado por Siqueira et al. (2019) verificou-se, a partir do banco de dados via satélite, que *C. fissilis* está presente na maioria dos países da América do Sul especialmente no Brasil, Paraguai, Bolívia e Peru. Essa espécie comumente ocorre em regiões onde as condições climáticas apresentam temperaturas entre 13 e 26 °C, sem longos períodos de baixas precipitações. Além disso, prefere solos argilosos, bem drenados, profundos e com alta retenção de água (RODRIGUEZ et al., 2023).

Os indivíduos de *C. fissilis* podem atingir até 30 m de altura, e até 150 cm de diâmetro na altura do peito (DAP), apresentando plasticidade fisiológica e morfológica da copa, tolerância a baixas temperaturas e alta adaptabilidade a diferentes condições de sombreamento (SALA et al., 2021).

Quanto a classificação ecológica dessa espécie, encontra-se na literatura algumas divergências entre autores, sendo classificada como secundária inicial (STEPKA et al., 2021), entretanto, quando presente em pastagens de capoeira, *C. fissilis* pode se comportar

como pioneira (CUSATIS et al., 2018). Segundo Rocha et al. (2022), *C. fissilis* é considerada secundária precoce ou secundária tardia e possui características relevantes para reflorestamento.

Espécies do gênero *Cedrela* podem viver mais de 200 anos, devido à sua longevidade, ampla distribuição e anéis anuais bem demarcados. Assim *C. fissilis* tem sido amplamente utilizada em estudos dendrocronológicos tropicais com aplicações para vários objetivos de pesquisa (FONTANA et al., 2024). Árvores desse gênero apresentam rápido crescimento, produzem madeira de alta qualidade e possuem alta biomassa e capacidade de filtragem devido ao seu extenso sistema radicular (COVRE et al. 2020). Silva et al. (2023) concluíram, em suas análises do índice de tolerância, que mudas de *C. fissilis* apresentam capacidade de crescerem em solo contaminado com cobre, sugerindo que esta espécie poderia ser potencialmente usada como fitorremediadora. Além disso, *C. fissilis* é amplamente utilizada em paisagismo e na composição de reflorestamentos heterogêneos em áreas degradadas.

C. fissilis se destacou na economia brasileira como uma das madeiras mais exportadas para uma ampla variedade de usos na década de 1970 (SIQUEIRA et al., 2019). O seu alto valor econômico para produção comercial de madeira levou a intensa exploração fazendo com que *C. fissilis* fosse designada como vulnerável na lista vermelha de espécies ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) (OLIVEIRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021).

Diante da relevância dessa espécie, a investigação detalhada sobre as respostas que *C. fissilis* apresenta quando submetida em diferentes condições de cultivo se torna imprescindível para preservação, utilização e manejo cultural da mesma.

1.2. Alterações climáticas e seus impactos no desenvolvimento de plantas

Nos últimos anos tem ocorrido no mundo variações extremas na temperatura e na disponibilidade de água, em decorrência das alterações climáticas impulsionadas por atividades antropogênicas. Tais atividades aumentaram a concentração de gases nocivos com

efeito estufa na atmosfera, causando o aquecimento global e a perturbação dos ciclos hidrológicos (CHADHRY e SIDHU, 2022).

Essas alterações climáticas podem ser consideradas como um sistema dinâmico e multifacetado de variações nas condições ambientais que afetam os componentes abióticos e bióticos do mundo. Dentre essas variações, temos como exemplo, aumento das ondas de calor, da intensidade das chuvas, da concentração de CO₂ e temperatura, que levam ao aparecimento de novas pragas e aumento de ervas daninhas e patógenos.

Essas condições submetem as plantas a condições climáticas adversas e extremas que afetam negativamente os processos morfológicos, celulares e mecanismos moleculares relacionados ao crescimento, prejudicando o seu desenvolvimento. Assim, o mecanismo molecular de resposta das plantas ao estresse abiótico é multinível e multiprocesso, envolvendo detecção, transdução de sinal, transcrição, processamento, tradução e modificação de proteínas, e é um mecanismo de resposta complexo com múltiplos genes, vias de sinalização e processos metabólicos (GALVIZ et al., 2022).

A resposta primária geral das plantas ao estresse abiótico inclui uma redução no consumo de energia e na biossíntese geral de proteínas, a fim de que a planta, ao invés de focar no seu crescimento, invista em mecanismos de proteção, ajustando várias vias metabólicas primárias, incluindo o metabolismo de carboidratos, aminoácidos e poliaminas (ZANDALINAS et al., 2022). No entanto, as plantas respondem de muitas maneiras aos estresses abióticos, com alterações na expressão genética, fisiológica, na arquitetura e metabolismo primário e secundário, e estas mudanças permitem que as plantas tolerem e/ou se adaptem a condições adversas (MARERI et al., 2022).

1.3. Fatores abióticos limitantes ao desempenho das culturas

A disponibilidade hídrica é um dos fatores essenciais que afetam a produção de mudas e o desenvolvimento das plantas. O estresse hídrico, tanto pelo excesso quanto pelo déficit, pode ser considerado o estresse ambiental mais destrutivo, alterando severamente a produção vegetal levando ao declínio do rendimento das culturas (GROSSE-HEILMANN

et al., 2024). As plantas comumente estão sob condições de estresse hídrico quando a disponibilidade de água no solo é menor e/ou maior que a necessária, e devido às condições climáticas, a água é perdida frequentemente por evaporação e transpiração.

O estresse hídrico inibe o processo de fotossíntese uma vez que prejudica as relações hídricas das plantas e a pressão de turgescência, faz com que ocorra a diminuição da taxa de expansão foliar, aparato fotossintético danificado, redução dos pigmentos fotossintéticos, da condutância estomática, redução na assimilação de CO₂ e senescência precoce da folha (QIAO et al., 2024; FAROOQ et al., 2024).

O déficit hídrico leva a planta a um desequilíbrio no complexo de captação de luz que causa acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) nas plantas. As ERO são bem conhecidas por sua função contrastante como um sinal adaptativo visando uma resposta ao estresse e, ao mesmo tempo, eventualmente levando à morte celular quando sua produção não está sob controle homeostático (PUCCIARIELO E PERATA, 2021).

Outro fator abiótico que deve ser considerado no que diz respeito a produção de mudas é a disponibilidade luminosa. A luz é a fonte de energia para que as plantas realizem diversas atividades vitais (WU et al., 2022), e desempenha um papel crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que está envolvida na morfogênese, metabolismo energético, rendimento e melhoria da qualidade. A faixa de comprimento de onda do espectro de radiação solar utilizada pelas plantas para realizar a fotossíntese vai aproximadamente de 400 a 700 nanômetros (nm), essa faixa é conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

No ecossistema terrestre, ambientes com espectros variados podem modificar a quantidade e a qualidade da luz, contribuindo para a diversidade e abundância da vegetação (BACELAR et al., 2024). A heterogeneidade na disponibilidade de luz em uma floresta está associada a adaptações morfológicas e fisiológicas e, portanto, determina diretamente a composição de espécies em nível de comunidade (TRIPATHI et al., 2020). A compreensão das respostas das espécies à aclimação e ao crescimento em ambientes com pouca ou muita luz, ajudará na avaliação das respostas dos ecossistemas às alterações climáticas globais.

A deficiência de luz causada pela sombra restringe a capacidade das plantas de captar a luz solar e, por sua vez, reduz a capacidade fotossintética. Quando ocorre estresse por sombra normalmente verifica-se baixa capacidade e eficiência fotossintética e ocorrência de diminuição na eficiência quântica e no centro de reação do fotossistema II (PSII), no transporte de elétrons e nas atividades ATPase e Rubisco, etc. Por outro lado, e excesso de luminosidade também pode vir a prejudicar o desenvolvimento de plantas, causando fotodanos e fotoinibição (ROEBER et al., 2020).

A intensidade da luz que excede a demanda energética da fotossíntese causa danos ao aparato fotossintético, especialmente ao fotossistema II (PSII) e, portanto, causa fotoinibição. Assim, as plantas precisam lidar com o excesso de luz absorvido pelos pigmentos fotossintéticos que geram ERO e resultam em estresse oxidativo levando desequilíbrios no metabolismo e a perda de ganho de carbono nas plantas (KAPOOR et al., 2020).

Nesse sentido, é importante verificar dentre as espécies quais possuem tolerância, e por quais períodos suportam variações hídricas e luminosas sem que isso comprometa seu crescimento e desenvolvimento.

1.4. Percepção e modo de ação das plantas em condições de estresse

Estresse abiótico corresponde a qualquer fator ambiental que pode limitar o crescimento e a produtividade das plantas. Estresses abióticos são percebidos pelas plantas por meio de mecanismos que funcionam como "sensores". Esses sensores conseguem detectar mudanças no ambiente, como frio, calor, falta de água, excesso de sal, pouca ou muita luz, entre outros. A partir dessas condições, as plantas transformam essas informações do ambiente em sinais internos, que ajudam a ativar respostas biológicas para tentar se adaptar (IMRAN et al., 2021).

A complexidade da resposta da planta pode ser influenciada pela duração e intensidade do estresse, pelo genótipo da planta, pela combinação de diferentes estresses, pelo tipo de tecido e célula expostos e pelo estágio de desenvolvimento em que as plantas

percebem o estresse. É, portanto, importante compreender mais sobre como as plantas percebem as condições de estresse, respondem e se adaptam tanto em ambientes naturais como antropogênicos.

Para otimizar o crescimento e a produtividade sob condições ambientais em mudança, que são intensificadas como resultado das alterações climáticas, as plantas desenvolveram mecanismos sofisticados e eficientes para perceber, evitar, escapar e até mesmo alcançar tolerância a condições ambientais limitantes (SATO et al., 2024). Esses mecanismos integram leituras epigenéticas, genéticas, bioquímicas e fisiológicas, que podem ser divididas em 5 etapas: i. Fase de detecção; ii. Fase de resposta; iii. Fase de restituição; iv. Fase adaptativa e v. Fase regenerativa (WAADT et al., 2022). Caso a gravidade do estresse supere os mecanismos de proteção desencadeados na fase adaptativa, as células vegetais sofrem morte celular programada e a senescência induzida pelo estresse é iniciada.

A versatilidade da resposta das plantas a diferentes condições desfavoráveis está relacionada a uma rede complexa que compreende diferentes níveis, como defesas celulares, fisiológicas e morfológicas. Como organismos sésseis, a tolerância e a sobrevivência das plantas ao estresse são alcançadas por sua capacidade de sofrer respostas flexíveis e compatíveis às variações ambientais (MELO et al., 2022).

A produção de EROs, incluindo ânion superóxido, H_2O_2 , radical hidroxila e oxigênio singlete, fosforilação de proteínas, sinalização do ácido abscísico (ABA), e acúmulo de prolina são algumas das características importantes e sinalizadoras que estão relacionadas intimamente com as respostas das plantas a vários estresses abióticos (ZHANG et al., 2023).

Diante de um cenário de intensas mudanças climáticas, torna-se indispensável para a preservação da biodiversidade compreender as respostas metabólicas e do sistema antioxidante de determinadas espécies quando submetidas a diferentes condições de cultivo e a possíveis estresses combinados. Isso permite avaliar até que ponto elas conseguem sobreviver e retomar suas atividades metabólicas e de crescimento. Além disso, verificar quais estratégias irão utilizar para sobrepujar condições adversas e limitantes.

2. HIPÓTESE

Hipotetiza-se que o cultivo inicial das mudas de *Cedrella fissilis* Vell. sob pleno sol não é favorável ao seu crescimento e que o sombreamento mitiga os efeitos do estresse hídrico. Além disso acredita-se que a exposição a pleno sol combinada a baixa disponibilidade hídrica atua sinergicamente acentuando o estresse ambiental sobre a fotossíntese e qualidade das mudas. Entretanto, considera-se que *C. fissilis* é resiliente as diferentes condições de cultivo e possui estratégias para sobreviver em condições ambientais adversas e períodos de exposição.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar os impactos do tempo de exposição à diferentes disponibilidades hídricas e luminosas e a interação desses fatores na atividade fotoquímica e no crescimento inicial de *Cedrela fissilis* Vell. Verificar se o sombreamento pode mitigar os efeitos do estresse hídrico no cultivo de *C. fissilis* facilitando a ação de mecanismos de proteção e mantendo a qualidade das mudas.

3.2. Objetivos específicos

Avaliar se o déficit hídrico é estressante para as mudas de *C. fissilis* independente do tempo de exposição.

Avaliar se o excesso de sombra atrapalha no desenvolvimento de *C. fissilis*.

Avaliar se *C. fissilis* apresenta resiliência e plasticidade para se adaptar em diferentes condições luminosas e hídricas.

Avaliar se o excesso e/ou déficit de água no solo associado à exposição ao pleno sol pode atuar sinergicamente, acentuando os efeitos estressantes prejudicando o metabolismo fotossintético e a qualidade das mudas de *C. fissilis*.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACELAR, E.; PINTO, T.; ANJOS, R.; MORAIS, M.C.; OLIVEIRA, I.; VILELA, A.; COSME, F. Impacts of climate change and mitigation strategies for some abiotic and biotic constraints influencing fruit growth and quality. **Plants**, v. 13, 1942, 2024.

CHAUDHRY, S.; SIDHU, G.P. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. **Plant Cell Reports**, v. 41, p. 1-31, 2022.

COVRE, W.P.; PEREIRA, W.V.S.; GONÇALVES, D.A.M.; TEIXEIRA, O.M.M.; AMARANTE, C.B.; FERNANDES, A.R. Phytoremediation potential of *Khaya ivorensis* and *Cedrela fissilis* in copper contaminated soil. **Journal of Environmental Management**, v. 268, 110733, 2020.

CUSATIS, A.C.; MARTINEZ, D.T.; SILVA, L.D.; HIGA, A.R. Survival and growth of *Cedrela fissilis* (Vell.) in mixed species forest plantations. **Scientia Forestalis**, v. 46, p. 357-366, 2018.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; ZAHRA, N.; HAFEEZ, M.B.; KADAMBOT, H.; SIDDIQUE, M. Recent advances in plant drought tolerance. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 3337-3369, 2024.

FERREIRA, I.N.M.; FERREIRA, G.F.; MIRANDA, S.C.; RESENDE, R.T.; VENTUROLI, F. Floristic and structural aspects of Brazilian Savanna phytophysionomies in the northern Goiás state, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, e6257, 2021.

FONTANA, C.; LÓPEZ, L.; SANTOS, G.M.; VILLALBA, R.; HORNINK, B.; ASSIS-PEREIRA, G.; ROIG, F.A.; TOMAZELLO-FILHO, M. A new chronology of *Cedrela fissilis* (Meliaceae) for Southern Brazil: Combining classical dendrochronology and radiocarbon dating. **Dendrochronologia**, v. 85, 126214, 2024.

GALVIZ, Y.; SOUSA, G.M.; LÜTTGE, U. The biological concept of stress revisited: relations of stress and memory of plants as a matter of space–time. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 34, p. 239-264, 2022.

GROSSE-HEILMANN, M.; CRISTIANO, E.; DEIDDA, R.; VIOLA, F. Durum wheat productivity today and tomorrow: A review of influencing factors and climate change effects. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 17, 100170, 2024.

IMRAN, Q.M.; FALAK, N.; HUSSAIN, A.; MUN, B.; YUN, B. Abiotic stress in plants; stress perception to molecular response and role of biotechnological tools in stress resistance. **Agronomy**, v. 11, 1579, 2021.

KAPOOR, D.; BHARDWAJ, S.; LANDI, M.; SHARMA, A.; RAMAKRISHNAN, M.; SHARMA, A. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, v. 10, 5692, 2020.

MARERI, L.; PARROTTA, L.; CAI, G. Environmental Stress and Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, 5416, 2022.

MELO, B.P.; CARPINETTI, P.A.; FRAGA, O.T.; RODRIGUES-SILVA, P.L.; FIORESI, V.S.; CAMARGOS, L.F.; FERREIRA, M.F.S. Abiotic stresses in plants and their markers: a practice view of plant stress responses and programmed cell death mechanisms. **Plants**, v. 11, 1100, 2022.

OLIVEIRA, T.R.; ARAGÃO, V.P.M.; MOHARANA, K.C.; FEDOSEJEVS, E.; AMARAL, F.P.; SOUSA, K.R.; THELEN, J.J.; VENÂNCIO, T.M.; SILVEIRA, V.; SANTA-CATARINA, C. Light spectra affect the in vitro shoot development of *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) by changing the protein profile and polyamine contents. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Proteins and Proteomics**, v. 1868, 140529, 2020.

OLIVEIRA, T.R.; BALFAGÓN, D.; SOUSA, K.R.; ARAGÃO, V.P.M.; OLIVEIRA, L.F.; FLOH, E.I.S.; SILVEIRA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A.; SANTA-CATARINA, C. Long-term subculture affects rooting competence via changes in the hormones and protein profiles in *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) shoots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 148, p. 137-153, 2022.

PUCCIARIELLO, C.; PERATA, P. The oxidative paradox in low oxygen stress in plants. **Antioxidants**, v. 10, 332, 2021.

QIAO, M.; HONG, C.; JIAO, Y.; HOU, S.; GAO, H. Impacts of drought on photosynthesis in major food crops and the related mechanisms of plant responses to drought. **Plants**, v.13, 1808, 2024.

ROCHA, E.L.R.; SOUZA, F.L.B. de; VERA CRUZ, M.S.F.; COUTINHO, P.W.R.; MALAVASI, M.M.; MALAVASI, U.C. Morphophysiological changes in seedlings of two wood species after application of salicylic acid. **Revista Ceres**, v. 69, p. 158-166, 2022.

RODRIGUEZ, D.R.O.; SÁNCHEZ-SALGUEIRO, R.; HEVIA, A.; GRANATO-SOUZA, D.; ASSIS-PEREIRA, G.; ROIG, F.A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Long- and short-term impacts of climate and dry-season on wood traits of *Cedrela fissilis* Vell. in southern Brazilian Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 333, 109392, 2023.

ROEBER, V.M.; BAJAJ, I.; ROHDE, M.; SCHMÜLLING, T.; CORTLEVEN, A. Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, p. 645-664, 2020.

SALA, H.R.; SUKERT, D.S.; VIEIRA, W.L.V.; MORO, A.L.; BRAGA-REIS, I.; BERTOLI, S.C. Different cadmium levels alter growth and antioxidant defense response in *Cedrela fissilis* and *Colubrina glandulosa*. **Flora**, v. 276-277, 151765, 2021.

SANTOS JUNIOR, C.F.; RECH, T.D.; NAVROSKI, M.C.; BOFF, P.; BOFF, M.I.C. Vegetative rescue of *Cedrela fissilis* Vell. by the rooting of cuttings from epicormic and canopy sprouts. **Ciência Rural**, v. 51, e20200775, 2021.

SATO, H.; MIZOI, J.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Complex plant responses to drought and heat stress under climate change. **The plant Journal**, v. 117, p. 1873-1892, 2024.

SILVA, B.V.; OLIVEIRA, T.R.; ARAGÃO, V.P.M.; CARVALHO, J.C.C.; FREITAS, M.S.M.; SILVEIRA, V.; RAMOS, A.C.; SANTA-CATARINA, C. Iron (II) sulfate and pH decrease seed germination and seedling growth and alter nutrient and polyamine contents in *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 46, p. 281-292, 2023.

SIQUEIRA, S.F.; HIGUCHI, P.; SILVA, A.C. Contemporary and future potential geographic distribution of *Cedrela fissilis* Vell. under climate change scenarios. **Revista Árvore**, v. 43, e430306, 2019.

STEPKA, T.F.; MATTOS, P.P.; FIGUEIREDO FILHO, A.; BRAZ, E.M.; MACHADO, S.A. Growth of *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* and *Ocotea porosa* in different locations within the Araucaria forest in the southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 486, 118941, 2021.

TRIPATHI, S.; BHADORIA, R.; SRIVASTAV, P.; DEVI, R.S.; CHATURVEDI, R.; RAGHUBANSHI, A.S. Effects of light availability on leaf attributes and seedling growth of four tree species in tropical dry forest. **Ecological Processes**, v. 9, 2020.

WAADT, R.; SELLER, C.A.; HSU, P.; TAKAHASHI, Y.; MUNEMASA, S.; SCHROEDER, J. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, p. 680-694, 2022.

WU, Y.; YANG, H.; YANG, H.; ZHANG, C.; LYU, L.; LI, W.; WU, W. A physiological and metabolomic analysis reveals the effect of shading intensity on blueberry fruit quality. **Food Chemistry: X**, v. 15, 100367, 2022.

ZANDALINAS, S.I.; BALFAGÓN, D.; GÓMEZ-CADENAS, A.; MITTLER, R. Plant responses to climate change: metabolic changes under combined abiotic stresses. **Journal of Experimental Botany**, v. 73, p. 3339-3354, 2022.

ZHANG, W.; WANG, L.; ZHANG, L.; KONG, X.; ZHANG, J.; WANG, X.; PEI, Y.; JIN, Z. H₂S-mediated balance regulation of stomatal and non-stomatal factors responding to drought stress in Chinese cabbage. **Horticulture Research**, v. 10, uhac284, 2023.

CAPÍTULO I - INTERAÇÃO ÁGUA-LUZ E SEU REFLEXO NA MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell.

Artigo publicado na revista *Plants*: Water-Light interaction and its effect on the morphophysiology of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings. *Plants*, v. 13, 2654, 2024.

RESUMO

As respostas das plantas às diferentes disponibilidades de luz e água são variáveis entre as espécies e suas respectivas plasticidades fenotípicas, e a combinação entre esses dois fatores abióticos pode aliviar ou intensificar os efeitos estressantes. Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos do tempo de exposição de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. a diferentes disponibilidades de água e luz considerando as variações naturais de radiação e a interação desses fatores. As mudas foram submetidas a combinações de três níveis de sombreamento – SH (0, 30 e 70%) e três regimes hídricos baseados na capacidade de retenção de água (CRA) no substrato, constituindo nove condições de cultivo: T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Mudas de *C. fissilis* são sensíveis ao déficit hídrico, aqui representado por 40% CRA, independentemente do tempo de exposição, e quando cultivadas a pleno sol mesmo havendo variações na radiação, os efeitos estressantes foram potencializados, atuando de forma sinérgica. A condição que proporcionou melhor desempenho de troca gasosa e maior acúmulo de massa seca total para mudas de *C. fissilis* foi 30% de sombreamento combinado com 100% CRA. Mudas de *C. fissilis* apresentam plasticidade fisiológica e resiliência para sobreviver sob diferentes condições de água e luz.

Palavras-chave: Cedro, Estresse abiótico, metabolismo fotossintético, plasticidade fenotípica.

CHAPTER I: WATER-LIGHT INTERACTION AND ITS EFFECT ON THE MORPHOPHYSIOLOGY OF *Cedrela fissilis* Vell. SEEDLINGS

ABSTRACT

Plant responses to different light and water availability are variable among species and their respective phenotypic plasticity, and the combination between these two abiotic factors can alleviate or intensify stressful effects. This study aimed to evaluate the impacts of exposure time of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings to different water and light availability considering natural radiation variations and the interaction of these factors. Seedlings were submitted to combinations of three shading levels - SH (0, 30 and 70%) and three water regimes based on the water holding capacity (WHC) in the substrate, constituting nine cultivation conditions: T1 - 0% SH + 40% WHC; T2 - 0% SH + 70% WHC; T3 - 0% SH + 100% WHC; T4 - 30% SH + 40% WHC; T5 - 30% SH + 70% WHC; T6 - 30% SH + 100% WHC; T7 - 70% SH + 40% WHC; T8 - 70% SH + 70% WHC; T9 - 70% SH + 100% WHC. *C. fissilis* seedlings are sensitive to water deficit, here represented by 40% WHC, regardless of exposure time, and when cultivated in full sun even though there are variations in radiation, the stressful effects were enhanced, acting in a synergistic manner. The condition that provided better gas exchange performance and greater total dry mass accumulation for *C. fissilis* seedlings was 30% shading combined with 100% WHC. *C. fissilis* seedlings have physiological plasticity and resilience to survive under different water and light conditions.

Keywords: abiotic stress; cedar; phenotypic plasticity; photosynthetic metabolism.

1. INTRODUÇÃO

As plantas em seu desenvolvimento inicial, principalmente quando encontram-se na fase de mudas, são altamente sensíveis aos fatores abióticos do ambiente ao qual estão inseridas ou produzidas (WEI et al., 2023). Esses fatores são flutuantes devido as mudanças climáticas globais de modo acentuado nos últimos anos (SALMONA et al., 2023). Diminuição das precipitações, mudanças na luz incidente, aumento da evapotranspiração e aumento da temperatura do ar são alguns fatores que podem influenciar no crescimento, desenvolvimento e desempenho das espécies. É importante compreender as interações entre as mudanças ambientais e as espécies de plantas para implementar estratégias que impulsionem uma agenda futura do sistema agroflorestal, focada nas pessoas, nos negócios e na restauração florestal (LIMA et al., 2022; VOURLITIS et al., 2022).

O florestamento e o reflorestamento de áreas têm aumentado e conseqüentemente a produção de mudas também, e então as condições de cultivo devem ser conhecidas para obtenção de mudas com maior vigor. Para alcançar esse objetivo o conhecimento da exigência hídrica e luminosa de cada espécie e seu potencial de ajuste por plasticidade é primordial. Através de ajustes na bioquímica fotossintética, anatomia foliar e morfologia as plantas possuem capacidade de se aclimatar à diferentes disponibilidades de luz e de água as quais podem garantir sua sobrevivência e melhorar seu crescimento (PARADISO et al., 2022; CERQUEIRA et al., 2023).

A luz é um elemento essencial ao crescimento e desenvolvimento da planta, esse fator regula sua fisiologia ao longo de todo seu ciclo, entretanto, é necessário conhecer a classificação ecológica de cada espécie pois tanto a exposição deficitária quanto a demasiada de luminosidade pode acarretar em uma condição estressante de cultivo, especialmente na fase inicial. Assim como, a disponibilidade de água, especialmente o déficit hídrico, também

é um fator limitante para o estabelecimento e desenvolvimento de espécies florestais principalmente em sua fase inicial, as plantas respondem ao baixo teor de água no solo através de uma cadeia complexa de mecanismos que constituem as suas estratégias de adaptação (GRIEBELER et al., 2020).

Cada espécie responde particularmente quando submetida a diferentes disponibilidades de luz e de água e, dependendo da forma como a planta é exposta a estas disponibilidades, a combinação ou interação entre esses dois fatores pode aliviar efeitos estressantes (PARKASH et al., 2020; BOTTERO et al., 2021). Por exemplo, algumas toleram escassez de água sob elevada radiação solar, outras são mais adaptadas ao ambiente de sombra e seca, já outras não toleram luz solar plena nem escassez de água. Essas respostas são importantes, pois definem espécies que possuem características desejáveis para restauração florestal e classifica aquelas que precisam de sombreamento para se estabelecerem em áreas abertas e até mesmo, espécies que necessitam de sombreamento e irrigação regular se utilizada em reflorestamento. A utilidade de uma determinada espécie é determinada pela tolerância dos estágios iniciais do seu ciclo de vida a fatores estressores (CROCE et al., 2022).

Dentre as espécies nativas com potencial florestal para restauração, recomposição de áreas degradadas, e plantações de enriquecimento tem-se *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae), que apresenta preferência por solos argilosos e bem drenados (PEREIRA et al., 2018; PRADO et al., 2022). Essa espécie possui alto valor ecológico e econômico e vem se destacando no setor florestal nacional e internacional, além de ser indicada para uso paisagístico, arborização urbana, entre outros. Essas características de valor econômico fizeram com que houvesse uma exploração predatória de madeira que resultou na classificação da espécie atualmente como vulnerável de extinção (KRAINOVIC et al., 2023).

No entanto, há divergências quanto a classificação ecológica dessa espécie já que alguns autores a classificam como pioneira (SANTOS et al., 2023) já outros como secundária inicial (BARBOSA et al., 2021), nesse caso o excesso de sombra pode ser estressante para *C. fissilis*, sendo importante conhecer o mecanismo da mesma quando

submetida a diferentes níveis de luminosidade e qual dessas condições pode ser estressante ou pode vir a mitigar o déficit.

No presente estudo objetivamos conhecer os efeitos e impactos do tempo de exposição à diferentes disponibilidades hídricas, luminosas e a interação desses fatores nas trocas gasosas e no crescimento inicial de *Cedrela fissilis* Vell. Diante do exposto levantamos os seguintes questionamentos: (i) o déficit hídrico é estressante para as mudas de *C. fissilis*, independente do tempo de exposição? (ii) Por ser uma espécie pioneira a secundária inicial o excesso de sombra pode prejudicar o desenvolvimento das mudas de *C. fissilis*? (iii) O sombreamento acentua os efeitos do déficit hídrico sobre as respostas fotossintéticas e de crescimento de *C. fissilis*? (iv) Esta espécie apresenta resiliência e plasticidade para se adaptar em diferentes condições luminosas e hídricas?

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento e produção de mudas

O experimento foi conduzido na Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, implantado em diferentes condições luminosas da Faculdade das Ciências Agrárias (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), na cidade de Dourados – MS, Brasil.

As mudas de *C. fissilis* foram produzidas a partir de frutos maduros coletados em área remanescente de Cerrado (Autorização de Acesso e de Remessa de Amostra de Componente do Patrimônio Genético nº 010220/2015-1 – CNPq/CGEN/MMA), no estado de Mato Grosso do Sul. A coleta dos frutos e sementes foi realizada nos períodos de dispersão, e o beneficiamento feito de forma manual, de modo que as sementes foram extraídas e selecionadas.

A semeadura ocorreu no dia 02/08/2021 em tubetes com volume de 280 cm³ preenchidos com substrato constituído de Latossolo Vermelho Distroférico + substrato comercial (Bioplant[®]) (1:1, v/v). Os tubetes foram acondicionados em bancadas em ambiente de viveiro protegido com tela de nylon preta (Sombrite[®]) com 30% de sombreamento. A emergência total ocorreu 90 dias após a semeadura (DAS).

O transplântio para vasos foi realizado quando as mudas atingiram altura média de 8,0 cm. As mudas foram cultivadas em vasos plásticos de 8 kg preenchidos com substrato composto de Latossolo Vermelho Distroférico + areia grossa (3:1, v/v), com duas plantas cada.

Nível de sombreamento e regime hídricos

Após o transplante as mudas foram submetidas a aclimação durante 45 dias a cada nível de sombreamento – SH (0, 30 e 70%). Após esse período as mudas foram submetidas a três regimes hídricos baseados na capacidade de retenção de água (CRA) no substrato, constituindo nove condições de cultivo: T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH e 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA.

Nas diferentes condições luminosas, foi inserida uma estrutura com cobertura superior e lateral com plástico transparente para proteção de possíveis precipitações no experimento. Os níveis de sombreamento de 30 e 70% foram obtidos por meio do uso de telas de nylon preta (Sombrite[®]), no qual os valores de radiação fotossinteticamente ativa e temperatura foliar foram registrados no medidor portátil de fotossíntese LCIPro - SD ADC BioScientific Ltd. (IRGA) e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa e temperatura foliar em cada nível de sombreamento nas diferentes épocas de avaliação no cultivo das mudas de *Cedrela fissilis* Vell.

Período de avaliação	Nível de sombreamento	RFA	Temperatura foliar
Dias		($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	($^{\circ}\text{C}$)
15	0%	1159	38,0
	30%	810	33,0
	70%	347	32,0
30	0%	2038	33,0
	30%	1426	31,7
	70%	611	32,0
45	0%	1934	42,0
	30%	1353	36,8
	70%	580	36,1

	0%	1212	40,3
60	30%	848	38,2
	70%	363	31,5

A capacidade de retenção de água no substrato foi determinada segundo metodologia de Souza et al. (2000), no qual o CRA de 100% foi obtido por meio do conteúdo de água retida após o escoamento, e os demais calculados por meio de regra de três simples em função do peso. Os vasos foram pesados em balança de precisão (0,001 g) e a irrigação individualizada dos mesmos foi realizada diariamente, adicionando-se a quantidade de água suficiente para atingir o peso pré-estabelecido para cada condição de cultivo. O substrato de cada vaso foi coberto com plástico para evitar a evaporação de água do solo.



Figura 1. Manutenção da CRA, com auxílio de escamas em mudas de *Cedrella fissilis* Vell (A). Vasos com proteção plástica utilizados para reduzir a evapotranspiração da água do solo (B).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial sendo 9 condições de cultivo (combinação entre CRA e sombreamento) x 4 épocas, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída de um vaso com duas mudas cada.

Avaliações

As características de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila foram avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo, enquanto que as destrutivas de conteúdo relativo de água e crescimento foram avaliadas aos 15 e 60 dias.

A determinação das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e índice de clorofila foi realizada entre 8 e 11h da manhã, nas mesmas folhas completamente expandidas e previamente marcadas, de modo que todas as medições fossem sempre realizadas nessas mesmas plantas.

a) Trocas gasosas: a taxa fotossintética líquida - A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática - g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 - C_i ($\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ ar}^{-1}$) e taxa de transpiração - E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram quantificados com medidor portátil de fotossíntese LCIPro - SD ADC BioScientific Ltd. A partir desses dados foram calculadas as eficiências de carboxilação da Rubisco - A/C_i ($\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e do uso da água EUA - A/E ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$).

b) Fluorescência da clorofila *a*: a eficiência quântica potencial do FSII - F_v/F_m e rendimento quântico efetivo de conversão de energia fotoquímica no FSII - F_v/F_0 foi determinada utilizando fluorômetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). As folhas foram submetidas a um período de 30 minutos de adaptação ao escuro com o auxílio de cliques adaptadores, para que todos os centros de reação nessa região foliar alcançassem a condição de “aberto”, ou seja, oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons (BOLHAR-NORDENKAMPF et al., 1989).

c) Índice de clorofila - IC: obtido a partir de um medidor portátil de clorofila (modelo SPAD-502, Minolta Camera Co. Ltd.) e realizado nos limbos medianos das mesmas folhas das avaliações de trocas gasosas e fluorescência.

d) Conteúdo relativo de água das folhas - CRA: foi calculado utilizando a metodologia de Slavick (1979).

e) Crescimento: o comprimento da raiz (CR) foi medido com régua graduada e a área foliar - AF (cm^2) foi avaliada utilizando o *software* ImageJ. Os materiais foram acondicionados

em estufa com circulação forçada de ar à $60 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 72 h, e pesadas em balança de precisão decimal (0,0001 g).

f) Índice de plasticidade fenotípica (IPF): foi calculado o IPF para A , F_v/F_m , AF e MST dos dados obtidos aos 60 dias de cultivo de acordo com a metodologia proposta por Valladares et al. (2006). O IPF foi calculado considerando os maiores e menores valores dessas características, calculando entre o maior e menor valor entre os regimes hídricos para cada nível de sombreamento.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para as condições de cultivo. Os dados analisados aos 15 e 60 dias foram comparados pelo teste F ($p \leq 0,05$) e aos 15, 30, 45 e 60 dias pela análise de regressão ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2019). Os resultados de IPF foram apresentados de maneira descritiva, não aplicando análise estatística (SANTOS et al., 2023).

3. RESULTADOS

Aspectos visuais

As mudas de *C. fissilis* foram responsivas aos diferentes níveis de sombreamento e regimes hídricos. Aquelas cultivadas sob 30% e 70% de sombreamento com 40% da capacidade de retenção de água (CRA) apresentaram melhor aspecto visual em comparação às cultivadas a pleno sol (0% de sombreamento) sob o mesmo regime hídrico (Figura 2). Além disso, ressalta-se que conforme o aumento da disponibilidade hídrica sob 0 e 30% SH as mudas apresentaram maior altura e número de folhas, enquanto que as mudas sob 70% SH tiveram maior uniformidade independente do regime hídrico.

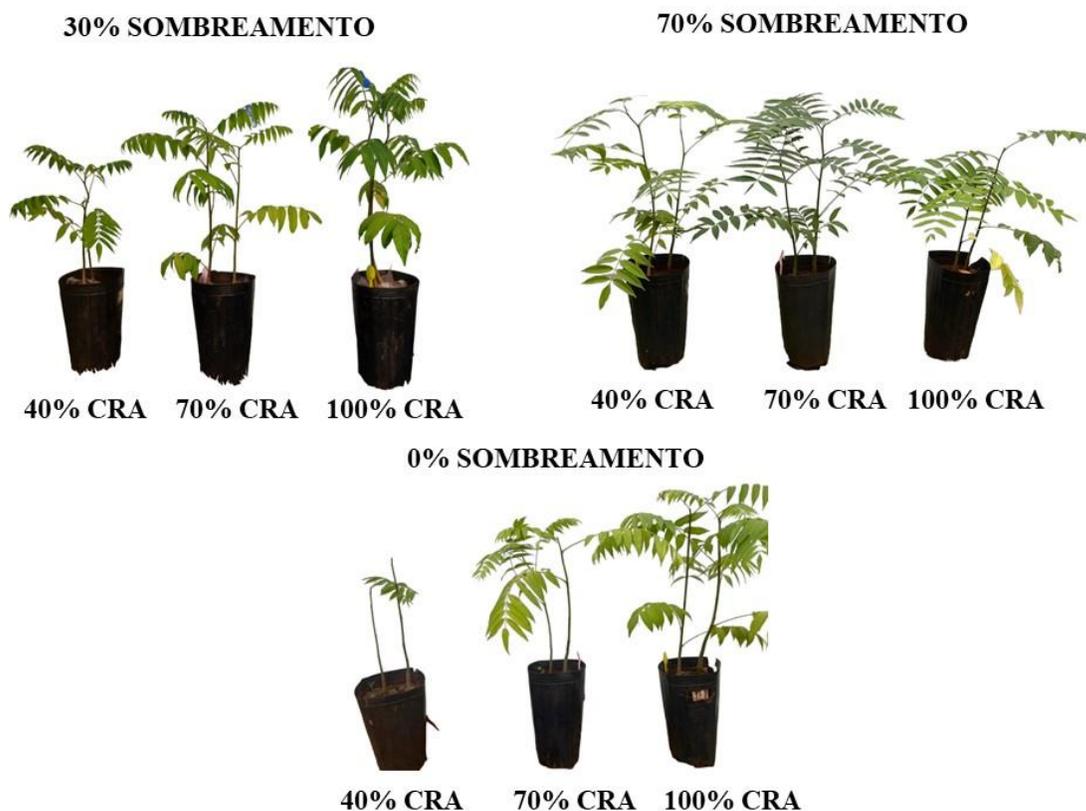


Figura 2. Aspecto visual de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. CRA: Conteúdo relativo de água.

Trocas gasosas e Índice de clorofila

Os maiores valores de A foram observados nas mudas de *C. fissilis* cultivadas sob 0% SH + 100% CRA e 30% SH + 100% CRA ($8,0$ e $8,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Por outro lado, os menores valores de A ($< 2,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ocorreram nas mudas com 40% de CRA, independentemente do nível de sombreamento. Entretanto, observamos que a partir dos 45 dias os valores de A sob 0% SH e 100% CRA aumentaram (Figura 3A).

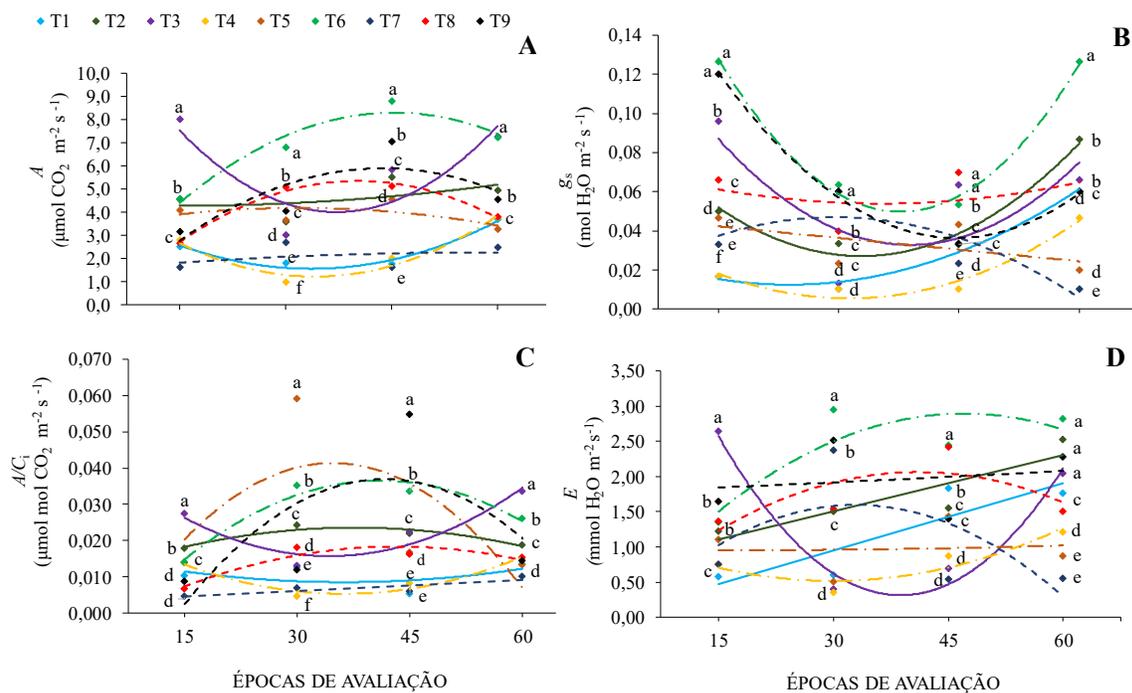


Figura 3. Taxa fotossintética - A (A), condutância estomática - g_s (B), Eficiência de carboxilação da Rubisco - A/C_i (C) e transpiração - E (D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas iguais entre os marcadores de diferentes cores em cada período de avaliação não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$) para condições de cultivo.

Tabela 1. Equações de regressão do efeito do tempo de avaliação na taxa fotossintética – A , condutância estomática - g_s , eficiência de carboxilação da Rubisco - A/C_i , transpiração – E e índice de clorofila - SPAD. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA;

T8 – 70% SH +70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. \hat{Y} = Valor calculado da resposta variável; R^2 = Coeficiente de determinação.

CARACTERÍSTICAS AVALIADAS		
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	A/C_i ($\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
T1 $\hat{y} = 4.8925 - 0.1979*x + 0.0029*x^2$; $R^2 = 0.96$	$\hat{y} = 0.0333 - 0.0017*x + 0.000037*x^2$; $R^2 = 0.97$	Sem ajuste
T2 Sem ajuste	$\hat{y} = 0.1108 - 0.0051*x + 0.000078*x^2$ $R^2 = 0.96$	$\hat{y} = 0.0091 + 0.00076*x - 0.000010*x^2$; $R^2 = 0.88$
T3 $\hat{y} = 13.8925 - 0.5310*x + 0.0071*x^2$; $R^2 = 0.70$	Sem ajuste	$\hat{y} = 0.0492 - 0.00195*x + 0.000028*x^2$; $R^2 = 0.89$
T4 $\hat{y} = 5.825 - 0.2688*x + 0.0039*x^2$; $R^2 = 0.94$	$\hat{y} = 0.0525 - 0.0030*x + 0.000048*x^2$; $R^2 = 0.95$	$\hat{y} = 0.0289 - 0.0013*x + 0.000018*x^2$; $R^2 = 0.93$
T5 Sem ajuste	Sem ajuste	Sem ajuste
T6 $\hat{y} = -0.3825 + 0.3827*x - 0.0042*x^2$; $R^2 = 0.93$	$\hat{y} = 0.2658 - 0.0114*x + 0.000152*x^2$; $R^2 = 0.99$	$\hat{y} = -0.0152 + 0.0024*x - 0.000029*x^2$; $R^2 = 0.98$
T7 Sem ajuste	$\hat{y} = 0.0083 + 0.0026*x - 0.000044*x^2$; $R^2 = 0.72$	$\hat{y} = 0.0032 + 0.000099*x$; $R^2 = 0.73$
T8 $\hat{y} = -1.3425 + 0.3626*x - 0.0041*x^2$; $R^2 = 0.98$	Sem ajuste	$\hat{y} = -0.0072 + 0.0011*x - 0.000014*x^2$; $R^2 = 0.86$
T9 $\hat{y} = -1.3275 + 0.3303*x - 0.0037*x^2$; $R^2 = 0.65$	$\hat{y} = 0.2283 - 0.0086*x + 0.000096*x^2$; $R^2 = 0.99$	Sem ajuste
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Índice de clorofila (SPAD)	
T1 $\hat{y} = -0.0033 + 0.0318*x$; $R^2 = 0.78$	Sem ajuste	
T2 $\hat{y} = 0.7100 + 0.0264*x$; $R^2 = 0.80$	$\hat{y} = 29.8666 - 0.5777*x + 0.0093*x^2$; $R^2 = 0.88$	
T3 $\hat{y} = 6.330 - 0.3102*x + 0.0040*x^2$; $R^2 = 0.96$	Sem ajuste	
T4 $\hat{y} = 1.2658 - 0.0499*x + 0.00083*x^2$; $R^2 = 0.83$	Sem ajuste	
T5 Sem ajuste	Sem ajuste	
T6 $\hat{y} = -0.1050 + 0.1275*x - 0.00135*x^2$; $R^2 = 0.71$	$\hat{y} = 38.6916 - 0.5836*x + 0.0063*x^2$; $R^2 = 0.76$	
T7 Sem ajuste	$\hat{y} = 16.8666 + 0.9144*x - 0.0122*x^2$; $R^2 = 0.87$	
T8 Sem ajuste	$\hat{y} = 43.0416 - 0.4765*x + 0.0061*x^2$; $R^2 = 0.79$	
T9 Sem ajuste	$\hat{y} = 29.200 + 0.0824*x$; $R^2 = 0.69$	

Com relação a g_s aos 15 dias os maiores valores ocorreram nas mudas das condições 30% e 70% de SH + 100% CRA (0,13 e 0,12 mol H₂O m⁻² s⁻¹), e os menores foram referentes as mudas 0% e 30% SH + 40% CRA (0,02 e 0,03 mol H₂O m⁻² s⁻¹). Observamos redução de g_s em todas as condições de cultivo aos 30 e 45 dias, com retomada a partir dos 45 dias. Aos 60 dias de avaliação o maior valor ocorreu nas mudas 30% SH + 100% de CRA, já os menores foram nas mudas cultivadas em 70% SH + 40% de CRA em 30% SH + 70% CRA (Figura 3B).

Aos 15 e 60 dias os maiores valores de A/C_i foram observados nas mudas sob 0% SH + 100% CRA em pleno sol. Os menores valores ocorreram nas mudas com 70% SH + 40% CRA. Aos 30 e 45 dias os maiores valores foram nas mudas com 30% SH + 70% CRA e 70% SH + 100% CRA. Por outro lado, nessas mesmas épocas as mudas cultivadas em 0% SH + 40% CRA, 70% + 40% CRA e 30% SH + 40% CRA apresentaram menores valores (Figura 3C).

O maior valor de E ocorreu aos 15 dias nas mudas em 0% SH + 100% CRA, aos 30 e 45 dias essas mesmas mudas foram as que apresentaram menores valores. O menor valor observado aos 15 dias ocorreu nas mudas 0% SH + 40%, enquanto que aos 30, 45 e 60 verificou-se aumento de E . No geral, as mudas correspondentes as condições de cultivo 30% SH + 40% de CRA apresentaram menores valores em todas as épocas de avaliações (Figura 3D).

Para EUA os fatores em estudo foram significativos de maneira isolada. Dentre as condições de cultivo a maior EUA foi observada nas mudas com 0% SH + 100% CRA (Figura 4A). Com relação as épocas de avaliação os valores de A/E foram menores aos 15 e 60 dias e maiores aos 30 e 45 dias (Figura 4B).

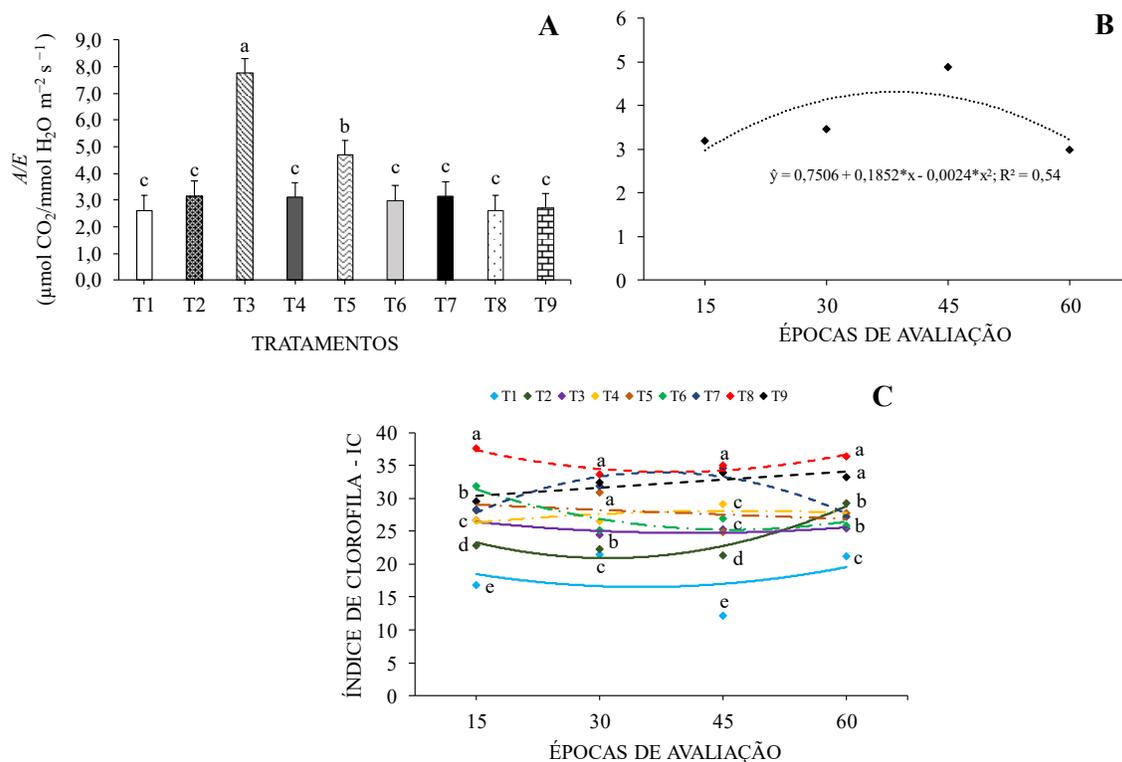


Figura 4. Eficiência do uso da água - A/E (A, B) e índice de clorofila – IC (C) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. SH – Sombreamento e CRA - Capacidade de retenção de água.

O índice de clorofila (IC) foi influenciado pela interação entre os fatores em estudo, no qual os maiores valores foram observados nas mudas em 70% SH + 70% CRA em todas as épocas de avaliação. Aos 30 e 45 dias as mudas cultivadas em 70% SH foram as que tiveram maiores valores de IC, e os menores foram observados nas mudas em 0% SH independentemente da CRA, nessa mesma época. As mudas em 0% SH + 40% CRA foram as que tiveram menores IC ao longo das épocas avaliadas (Figura 4C).

Fluorescência da clorofila *a*

O rendimento quântico efetivo de conversão de energia fotoquímica no FSII (F_v/F_0) foi maior nas mudas cultivadas sob 70% SH + 100% CRA, seguido das mudas oriundas do ambiente 70% SH + 40% CRA e 70% SH + 70% CRA. Os menores valores observados foram das mudas sob 0% SH + 40% CRA e 0% SH + 70% CRA (Figura 5A).

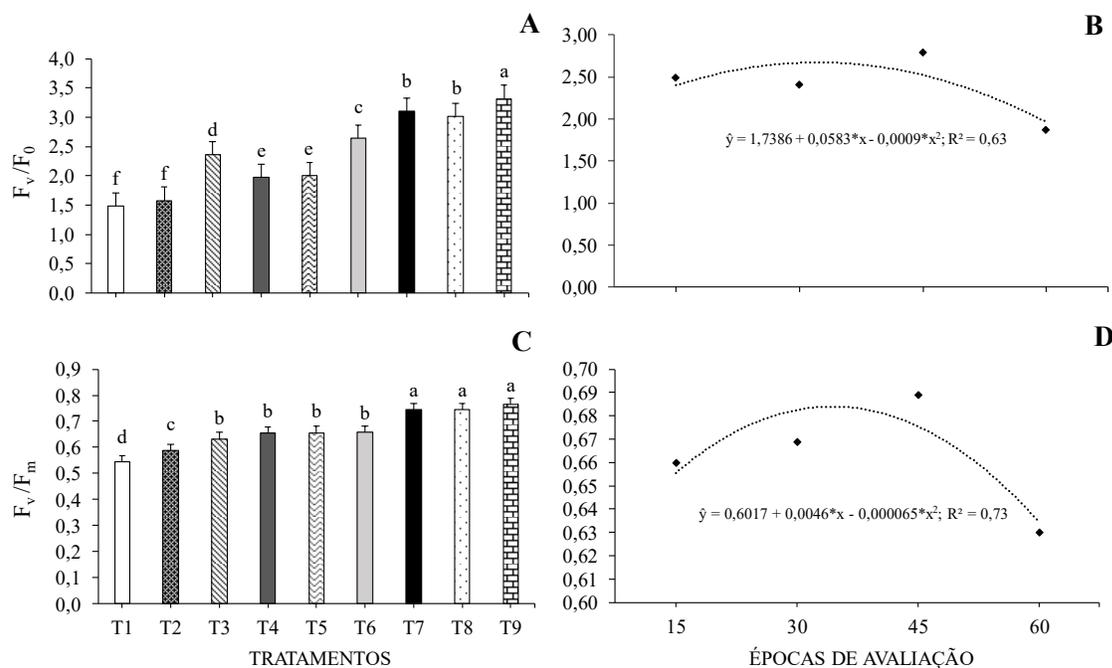


Figura 5. Rendimento quântico efetivo de conversão de energia fotoquímica no FSII - F_v/F_0 (A, B) e eficiência quântica potencial do FSII - F_v/F_m (C, D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15, 30, 45 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. SH – Sombreamento e CRA - Capacidade de retenção de água.

Quanto a eficiência quântica potencial do FSII F_v/F_m as mudas sob 70% SH foram as que apresentaram maiores valores independente da CRA, e os menores foram nas mudas sob 0% SH + 40% CRA (Figura 4C). No que se refere as épocas de avaliação, os

maiores valores de F_v/F_0 e F_v/F_m foram de 2,67 e 0,683 aos 32 e 37 dias, respectivamente (Figura 5B e 5D).

Conteúdo relativo de água foliar e crescimento

Os valores de CRA, AF, CR e MST foram influenciadas pela interação entre as condições de cultivo e épocas de avaliação. Com relação ao conteúdo relativo de água (CRA) os maiores valores observados aos 15 dias ocorreram nas mudas em 0% SH + 100% CRA e os menores naquelas cultivadas em 0% SH + 40% CRA. Aos 60 dias, os maiores valores foram nas mudas sob 0% SH + 70% CRA, 30% SH + 70% CRA, 70% SH + 40% CRA e 70% SH + 100% CRA, enquanto que o menor valor foi observado nas mudas de cedro em 0% SH + 40% de CRA (Figura 6A).

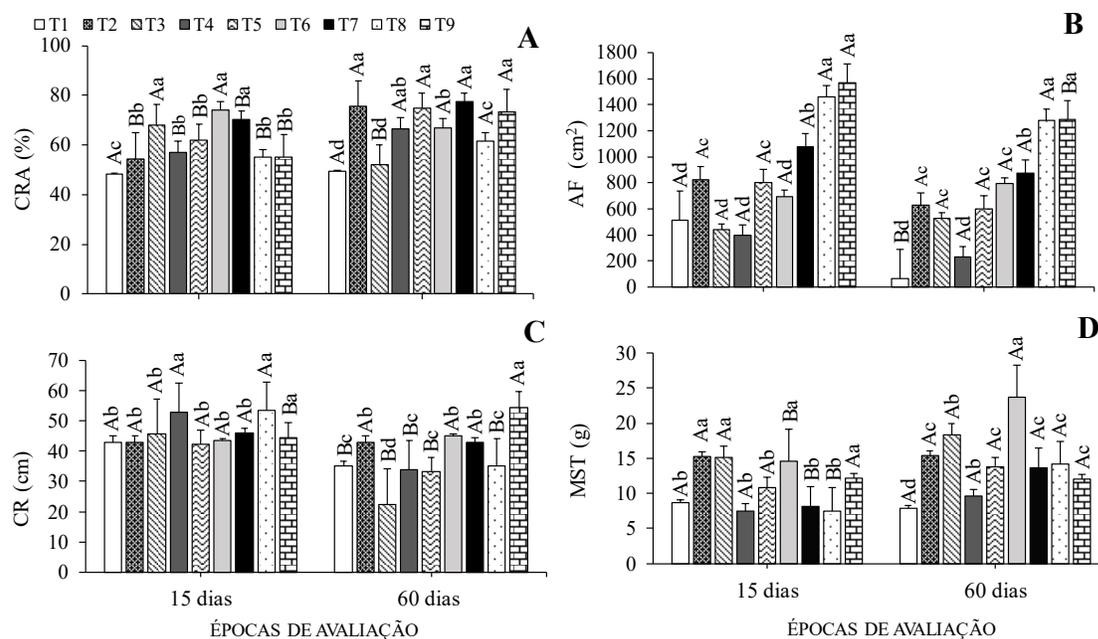


Figura 6. Conteúdo relativo de água – CRA (A), área foliar - AF (B), comprimento de raiz – CR (C) e massa seca total -MST (D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. SH – Sombreamento e CRA - Capacidade de

retenção de água. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0.05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0.05$).

Aos 15 e 60 dias as mudas de *C. fissilis* submetidas as condições de cultivo 70% SH + 70% CRA e 70% SH + 100% CRA foram as que apresentaram maiores valores de área foliar. Aos 15 dias os menores valores foram observados nas mudas sob 0% SH + 40% CRA e 0% SH + 100% de CRA e em 30% SH + 40% de CRA. Os menores valores foram observados aos 60 dias na condição de cultivo 0% SH + 40% CRA (Figura 6B).

Os maiores valores de comprimento de raiz (CR) aos 15 dias foram nas mudas submetidas a 30 e 70% SH ambos com 70% de CRA, as demais condições de cultivo nessa mesma época não diferiram entre si, correspondendo aos menores valores. Aos 60 dias, as mudas sob 70% SH + 100% CRA foram as que tiveram maiores valores, enquanto que as mudas sob 0% SH + 100% CRA apresentaram os menores CR (Figura 6C).

No que se refere a massa seca total (MST) os maiores valores foram observados nas mudas em 0% SH + 70 e 100% CRA e naquelas em 30% SH + 100% CRA aos 15 dias. Entretanto, nesse mesmo período as mudas sob 40% CRA tiveram menores valores, independentemente do nível de sombreamento. Aos 60 dias, os maiores e menores valores de MST ocorreram nas mudas cultivadas em 30% SH + 100% CRA e 0% SH + 40% CRA, respectivamente (Figura 6D).

Plasticidade fenotípica

Aos 60 dias as mudas cultivadas em 30% SH corresponderam aos maiores valores de índice de plasticidade fenotípica para *A* e *MST*. Os maiores valores de IPF para F_v/F_m e *AF* foram observados nas mudas cultivadas em pleno sol. As mudas cultivadas no ambiente 70% SH apresentaram menores valores de IPF para *A*, F_v/F_m , *AF* e *MST* (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de plasticidade fenotípica (IPF) para taxa fotossintética (A), eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m), área foliar (AF) e massa seca total (MST) em plantas cultivadas em diferentes níveis de sombreamento e disponibilidades hídricas.

Nível de sombreamento	IPF (0,00 a 1,00)			
	A	F_v/F_m	AF	MST
0%	0,49	0,16	0,88	0,42
30%	0,54	0,04	0,70	0,48
70%	0,45	0,02	0,30	0,38

4. DISCUSSÃO

As mudas de *C. fissilis* são sensíveis ao déficit hídrico, aqui representado por 40% CRA, independente do tempo de exposição, pois apresentaram redução do metabolismo fotossintético e crescimento, e quando realizado o cultivo a pleno sol, esses efeitos estressantes foram potencializados atuando de maneira sinérgica. No entanto, observamos que o sombreamento, especialmente de 70% mitiga o efeito estressante do déficit hídrico.

Alterações no regime hídrico do solo podem influenciar nas respostas morfológicas e fisiológicas das espécies florestais (RODRIGUEZ et al., 2023; LEONEL et al., 2022). Observamos nas mudas cultivadas em 40% de CRA, independentemente dos níveis de sombreamento, reduções nos valores de A , maior limitação da condutância estomática (g_s) e baixos valores de E , entretanto o ambiente pleno sol acentuou ainda mais o estresse por déficit hídrico. Isso, porque nessa condição de cultivo, além de o status hídrico no solo ser mais baixo, há maior evaporação de água do substrato e exposição a maior temperatura, fato contrário ao ambiente sombreado, que ameniza a intensidade da taxa de evapotranspiração, contribuindo na manutenção do CRA nas células e sua turgescência. De maneira semelhante, Bartieres et al. (2023), observaram que 30% e 70% de sombreamento no cultivo de *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg minimizaram os efeitos negativos do déficit hídrico sobre as trocas gasosas, e associam essa resposta ao fato de que o sombreamento permitiu menor perda de água do substrato, o que favoreceu a abertura estomática por mais tempo e acarretou em maior assimilação de CO_2 .

Uma das primeiras respostas ao estresse por escassez hídrica é o fechamento estomático, mediado por uma complexa rede de sinalização envolvendo ácido abscísico (MUKHERJEE et al., 2023), como mecanismo de evitar a perda excessiva de água por transpiração foliar e manutenção do potencial hídrico (GRIEBELER et al., 2020; SELEIMAN et al., 2021; PUÉRTOLAS et al., 2022), fato observado nas mudas aos 30 dias

sob 0% SH + 40% CRA que reduziram a g_s . Assim como, Griebeler et al. (2020) verificaram que *C. fissilis* apresentou maior controle da taxa de transpiração como mecanismo para reduzir perda de água.

Ao mesmo tempo que o fechamento estomático atua na regulação hídrica, esse mecanismo limita a eficiência da etapa bioquímica da fotossíntese nas mudas de *C. fissilis*. De acordo com Zhu et al. (2021) essa redução se dá pelo fato de ocorrer diminuição da condutância do mesófilo e da fixação de CO_2 no cloroplasto em função da menor eficiência de carboxilação. Por outro lado, embora ocorra redução da g_s após 30 dias de exposição ao estresse há um aumento nos valores da condutância nas mudas sob 30% SH + 40% CRA e 0% SH + 40% CRA, indicando que como mecanismo de sobrevivência a planta faz regulação das aberturas estomáticas ao longo do tempo para que haja uma melhor redução da perda de água e ao mesmo tempo não prejudique a entrada de CO_2 . A partir dos 45 dias aumentaram os valores de g_s e A , sugerindo que a espécie está se ajustando a essa condição de cultivo. Assim, ressaltamos que a espécie apresenta estratégias de ajustes o que assegura sua plasticidade fenotípica e potencial de resiliência ecológica, especialmente a partir dos 45 dias.

Outro fator que pode ter contribuído para que o ambiente 0% SH acentuasse a redução do metabolismo fotossintético principalmente nas mudas sob 40% CRA, foi o aumento da temperatura foliar que ocorreu nesse ambiente. Estudos relatam que altas temperaturas impactam diretamente nas enzimas fotossintéticas envolvidas na assimilação de carbono, sendo prejudiciais para o bom funcionamento dos processos fotossintéticos (MOORE et al., 2021). A medida em que aumenta o sombreamento observa-se uma redução na temperatura foliar, demonstrando que o sombreamento mitigou os efeitos negativos acarretados por esse aumento de temperatura.

A menor disponibilidade hídrica, aqui representada por 40% CRA, combinada a maior intensidade luminosa (0% SH) reduziu o índice de clorofila e atividades fotoquímicas no fotossistema II das mudas de *C. fissilis*, em todos os períodos de avaliação. A energia luminosa excessiva induz a fotoinibição do fotossistema II (PSII) e causa fotodanos ao aparelho fotossintético (ZHANG et al., 2021), associado ainda a redução de ATP em função

da menor produção de H^+ devido ao déficit hídrico (RAZI et al., 2021), reduzindo o ganho de carbono fotossintético. A condição de pleno sol associada a menores disponibilidades hídricas ocasionou uma diminuição nesses fatores apontando que houve declínio na função do PSII e indicando que as unidades fotossintéticas e os processos de transferência de elétrons ligados à membrana foram afetados sob esse estresse (LI et al., 2023).

Nas mesmas condições de cultivo citadas anteriormente, as mudas apresentaram menores valores de área foliar, que embora seja considerada uma estratégia encontrada pela planta para minimizar a perda de água através da evapotranspiração reduz a área fotossinteticamente ativa. Além disso associa-se essa resposta a redução da turgescência, uma vez que nessa mesma condição de cultivo também se observou menor CRA.

Por outro lado, o ambiente pleno sol (0% SH) combinado com alta disponibilidade hídrica (100% CRA) proporcionou para as mudas de *C. fissilis* em pouco tempo de exposição ao estresse maiores valores de A , A/C_i , E e CRA, reforçando que se a espécie for cultivada nesse nível de sombreamento, é necessário aumentar o regime hídrico para atender os gastos energéticos e aliviar o efeito negativo do estresse luminoso.

O fato da condição 0% SH + 100% CRA ter proporcionado maiores valores de A/C_i , pode ser justificado por estudos que relatam que plantas cultivadas sob alta irradiância apresentam aumento no conteúdo e na atividade de Rubisco para utilizar de forma ideal mais energia luminosa absorvida (ECKERT et al., 2020; CUMMINS et al., 2021; YE et al., 2023).

No entanto, à medida que foi aumentando o tempo de exposição a 0% SH + 100% CRA verificou-se uma diminuição nos valores de A , g_s , A/C_i e E até 45 dias de cultivo nessas condições. Entre 45 e 60 dias os valores dessas variáveis aumentaram, sugerindo que o ambiente 0% SH associado a maior disponibilidade hídrica inicialmente foi benéfico para as mudas, mas o excesso de luminosidade ocasionou estresse, porém as mudas ao passar dos dias se adaptaram a tal condição retomando seus valores de trocas gasosas.

O que pode ter auxiliado nessa resposta foi que nessa condição de cultivo (0% SH + 100% CRA) as mudas apresentaram maiores valores de EUA . Em geral, a EUA foi maior aos 38 dias, coincidindo com o mesmo período o qual as trocas gasosas diminuíram para as mudas de *C. fissilis* cultivadas em pleno sol com alta disponibilidade hídrica. EUA é

um importante mecanismo de adaptação fisiológica (ZHAO et al., 2020), onde o aumento desse fator propiciou uma melhor utilização dos recursos disponíveis. A *EUA* reflete a proporção entre a água utilizada no metabolismo das plantas e a água perdida pela transpiração (FONSECA et al., 2023). A menor sensibilidade da espécie a exposição ao pleno sol na primeira avaliação pode ser atribuída ao pequeno tempo de exposição (15 dias) que pode ter sido insuficiente para ocasionar respostas de estresse, mas com o passar dos dias o metabolismo fotossintético reduziu, especialmente quando sob 40% CRA. No entanto, pode ser atribuído também às propriedades fisiológicas e morfológicas de suas folhas bem adaptadas a maior irradiância. Espécies pioneiras ou secundárias iniciais tendem a ter maior capacidade de aumentar a eficiência do uso da água (*A/E*) sob luminosidade mais energética (ANGADI et al., 2022).

O aumento do índice de clorofila nas mudas sombreadas, especialmente sob 70% SH, independente do regime hídrico, pode ser considerado mecanismo compensatório. Isso porque, o aumento do conteúdo de clorofila por unidade de área aumenta a absorção de radiação fotossinteticamente ativa para aumentar a eficiência da assimilação de CO₂ (ANGADI et al., 2022; GENÉSIO et al., 2020; SLATTERY et al., 2021; LIU et al., 2023).

A maioria das plantas sob sombra investem mais na síntese e manutenção de estruturas que captam luz do que aquelas em condições de pleno sol (VETOSHKINA et al., 2023). As plantas que apresentam maior tolerância a luz reduzida são plásticas, pois podem controlar variáveis de captação de luz, como tamanho das folhas e conteúdo de clorofila. E nesse sentido verificamos também maiores valores de área foliar para *C. fissilis* em 70% de sombreamento. O aumento de área foliar é uma estratégia da espécie para otimizar a utilização de luz, aumentando a superfície para captura de fótons para manutenção dos processos fotossintéticos (XU et al., 2022; LUO et al., 2023).

O aumento do nível de sombreamento resultou em maiores valores de F_v/F_0 e F_v/F_m nas mudas de *C. fissilis*, independente dos regimes hídricos, podendo estar relacionado a um maior potencial de utilização e otimização de energia luminosa disponível (YU et al., 2022). Além disso, na condição 0% SH verificou-se uma maior temperatura foliar, esse aumento da temperatura pode ocasionar distúrbios fisiológicos nas plantas, por exemplo, o

fotossistema I e o fotossistema II são afetados negativamente em altas temperaturas, diminuindo os valores de F_v/F_0 e F_v/F_m (YAN et al., 2021) Entretanto, o sombreamento pode melhorar a taxa de utilização da energia luminosa (ROEBER et al., 2020) e nesse caso pode mitigar os danos ocasionados no aparato fotossintético propiciando condições que reduziram a temperatura foliar das mudas. A plasticidade da planta ajuda a melhorar a utilização da energia fotossintética sob luz intensa. As mudas de *C. fissilis* cultivadas em 0% SH apresentaram um maior IPF para F_v/F_m , como mecanismo de ajuste do aparato fotossintético em resposta a condição desfavorável.

As mudas de *C. fissilis* que apresentaram maiores valores de massa seca total foram aquelas cultivadas em sombreamento moderado (30% de sombreamento) combinada com 100% CRA. Essa condição proporcionou para as mudas ajustes nas trocas gasosas ao longo das épocas de avaliação para realização do processo fotossintético como a regulação da abertura estomática ideal propiciando entrada de CO_2 , assim como maiores valores de transpiração e atividade de carboxilação da Rubisco.

C. fissilis é considerada uma espécie que possui alta demanda luminosa para crescimento (SANCHES et al., 2016). No presente estudo verificou-se que o melhor desempenho das mudas ocorreu sob sombreamento moderado combinado com a maior disponibilidade hídrica. Por mais que essa espécie seja classificada como pioneira ou secundária inicial, o excesso de luminosidade na condição pleno sol, a partir de 15 dias de exposição ocasionou redução no metabolismo fotossintético das mudas o que refletiu em menor investimento no crescimento das mudas, resposta acentuada sob 40% CRA. Embora as plantas aumentem os valores de A ao longo das épocas, as reduções que ocorreram anteriormente as mudas se adaptarem a condição fez com que a planta investisse sua energia em sobrevivência em detrimento ao seu crescimento.

O sombreamento moderado associado a maior disponibilidade hídrica refletiu em maior produção de fotoassimilados para investimento em maior aporte de massa seca em *C. fissilis*. Griebeler et al. (2020) verificaram em seus resultados que a sobrevivência e o crescimento de *C. fissilis* estiveram associados à disponibilidade hídrica adequada (70% CRA e 100% CRA). Isso porque baixas disponibilidades hídricas afetam diretamente a

fotossíntese e conseqüentemente o acúmulo de matéria orgânica (XINGYANG et al., 2020), tal como observado em nosso estudo com *C. fissilis*.

As mudas de *C. fissilis* apresentaram maiores índices de plasticidade fenotípica para *A*, demonstrando que em diferentes condições de luz essa espécie se ajusta a fim de manter sua atividade fotossintética e sobrevivência. Alguns estudos relatam que as características foliares são altamente plásticas, embora as medidas de plasticidade fenotípica estejam fortemente correlacionadas com o contexto, não sendo comparáveis entre diferentes estudos, gradientes e espécies (GRANATA et al., 2019; OLGUIN et al., 2020). No ambiente pleno sol *C. fissilis* apresentou maiores ajustes morfológicos em área foliar e fisiológicos em F_v/F_m , reforçando que essa condição de cultivo foi estressante, especialmente quando associado a 40% da CRA, resultado confirmado pelos maiores valores de IPF.

As mudas apresentaram poucos ajustes na condição 70% de sombreamento, o que nos leva a entender que para os fatores avaliados nessa condição ambiental as plantas não precisaram de muitos ajustes para garantir sua sobrevivência. Entretanto, 70% de sombreamento não correspondeu a condição na qual as mudas expressaram melhor seu potencial.

A partir dos nossos resultados é possível verificar que a espécie apresenta plasticidade aos ambientes contrastantes de luz, mas que na fase de mudas seu melhor desempenho morfofisiológico é sob sombreamento moderado, reforçando sua classificação como secundária inicial. Por outro lado, se o cultivo for a pleno sol, a exemplo de áreas abertas o ideal seria utilizar um regime com maior disponibilidade hídrica, para suprir seu metabolismo fotossintético, enquanto que se implantada em áreas com baixo status hídricos ou sujeitas a estiagem temporária, o cultivo sombreado é uma estratégia de mitigar os efeitos estressantes.

5. CONCLUSÃO

A disponibilidade de 40% da capacidade de retenção de água foi prejudicial para as trocas gasosas, independente do tempo de exposição e consequentemente afetou o crescimento de *C. fissilis*, principalmente quando combinada ao ambiente pleno sol.

As mudas cultivadas em 70% de sombreamento apresentaram estratégias como mecanismos de adaptação para sobreviverem, demonstrando que essa espécie possui plasticidade fisiológica. E essa condição auxiliou na mitigação do déficit hídrico em *C. fissilis*.

A condição que proporcionou um melhor desempenho de trocas gasosas e maior acúmulo de massa seca total para mudas de *C. fissilis* foi 30% de sombreamento combinado com 100% de CRA. Mudas de *C. fissilis* apresentam plasticidade fisiológica e resiliência para sobreviver em meio as diferentes condições hídricas e luminosas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGADI, S.V.; UMESH, M.R.; BEGNA, S.; GOWDA, P. Light interception, agronomic performance, and nutritive quality of annual forage legumes as affected by shade. **Field Crops Research**, v. 275, 108358, 2022.
- BARBOSA, L.O.; DRESCH, D.M.; SCALON, L.; SCALON, S.P.Q. Ecophysiological strategies of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings under conditions of flooding and light availability. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 41, p. 783-798, 2021.
- BARTIERES, E.M.M.; DRESCH, D.M.; REIS, L.C.; PEREIRA, Z.V.; MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e244718, 2023.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P.; BAKER, N.R. Fluorescência da clorofila como sonda da competência fotossintética de folhas no campo: uma revisão do instrumento atual. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.
- BOTTERO, A.; FORRESTER, D.I.; CAILLERET, M.; KOHNLE, U.; GESSLER, A.; MICHEL, D.; BOSE, A.K.; BAUHUS, J.; BUGMANN, H.; CUNTZ, M; et al. Growth resistance and resilience of mixed silver fir and Norway spruce forests in central Europe: Contrasting responses to mild and severe droughts. **Global Change Biology**, v. 27, p. 4403-4419, 2021.
- CERQUEIRA, W.M.; SCALON, S.P.Q.; SANTOS, C.C.; SANTIAGO, E.F.; ALMEIDA, J.L.C.S.; FIGUEIREDO, V.M.A.; LINNÉ, J.A.; SILVERIO, J.M. Ecophysiological mechanisms and growth of *Inga vera* Willd. under different water and light availability. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e275378, 2023.
- CROCE, J.; BADANO, E.I.; TRIGO, C.B.; MARTINEZ-GALVEZ, F.; TÁLAMO, A. Experimental approaches to select tree species for forest restoration: effects of light, water availability and interspecific competition in degraded areas. **Journal of Forestry Research**, v. 33, p. 1197-1207, 2022.
- CUMMINS, P. L. The coevolution of rubisco, photorespiration, and carbon concentrating mechanisms in higher plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 662425, 2021.
- ECKERT, D.; JENSEN A.M.; GU, L. The maximum carboxylation rate of Rubisco affects CO₂ refixation in temperate broadleaved forest trees. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 155, p. 330-337, 2020.

FONSECA, C.L.S.; SILVA, D. M.; GASPARINI, T.A.S.; CUZZUOL, G.R.F. Photosynthesis of plants of shade-tolerant ecotype of *Paubrasilia echinata* are more tolerance to drought than the sun-tolerant ecotype. **Plant Stress**, v. 8, 100157, 2023.

GENESIO, L.; BASSI, R.; MIGLIETTA, F. Plants with less chlorophyll: A global change perspective. **Global Change Biology**, v. 27, p. 959-967, 2020.

GRANATA, M.U.; BRACCO, F.; CATONI, R. C. Phenotypic plasticity of two invasive alien plant species inside a deciduous forest in a strict nature reserve in Italy. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 39, p. 346-364, 2019.

GRIEBELER, A.M.; ARAUJO, M.M.; BARBOSA, F.M.; KETTENHUBER, P.L.; NHANTUMBO, L.S.; BERGHETTI, A.L.P.; DENARDI, L. Morphophysiological responses of forest seedling species subjected to different water regimes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 2099-2110, 2021.

KRAINOVIC, P.M.; RESENDE, A.F.; AMAZONAS, N.T.; ALMEIDA, C.T.; ALMEIDA, D.R.A.; SILVA, C.C.; ANDRADE, H.S.F.; RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S. Potential native timber production in tropical forest restoration plantations. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, p. 294-301, 2023.

LEONEL, L.V.; REIS, F.O.; FIGUEIREDO, F.A.M.M.A.; FERRAZ, T.M.; MAIA JÚNIOR, S.O.; SILVA, P.C.; ANDRADE, J.R. Light intensity and hydrogel soil amendment differentially affect growth and photosynthesis of successional tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 34, p. 257-268, 2023.

LI, Y.; MA, J.; WANG, Y.; XU, S.; JIANG, L.; ZHANG, L.; HOU, W. Effects of exogenous NO on the growth and photosynthetic fluorescence characteristics of ryegrass seedlings under B[a]P stress. **Acta Botanica Croatica**, v. 82, p. 71-79, 2023.

LIMA, V.P.; LIMA, R.A.F. DE; JONER F.; SIDDIQUE, I.; RAES, N.; STEEGE, H.T. Climate change threatens native potential agroforestry plant species in Brazil. **Scientific Reports**, v. 12, 2267, 2022.

LIU, B.; ZHANG, J.; ZHANG, Z.; SUI, Y.; ZHU, H.; SHI, Y.; SUI, X.; LI, Y.; JIANG, X. Insights into the changes in leaf functional traits of *Aralia elata* grown under different shading treatments. **Plant Growth Regulation**, v. 101, p. 679-691, 2023.

LUO, D.; HUANG, G.; ZHANG, Q.; ZHOU, G.; PENG, S.; LI, Y. Plasticity of mesophyll cell density and cell wall thickness and composition play a pivotal role in regulating plant growth and photosynthesis under shading in rapeseed. **Annals of Botany**, v. 132, p. 963-978, 2023.

MOORE, C.E.; MEACHAM-HENSOLD, K.; LEMONNIER, P.; STATTERY, R.A.; BENJAMIN, C.; BERNACCHI, C.J.; LAWSON, T.; CAVANAGH, A. P. The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: from enzymes to ecosystems. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, p. 2822-2844, 2021.

MUKHERJEE, A.; DWIVEDI, S.; BHAGAVATUBA, L.; DATTA, S. Integration of light and ABA signaling pathways to combat drought stress in plants. **Plant Cell Reports**, v. 42, p. 829-841, 2023.

OLGUIN, F.Y.; MORETTI, A.P.; PINAZO, M.; GORTARI, F.; BAHIMA, J.V.; GRACIANO, C. Morphological and physiological plasticity in seedlings of *Araucaria angustifolia* and *Cabralea canjerana* is related to plant establishment performance in the rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 460, 117867, 2020.

PARADISO, R.; PROIETTI, S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, p. 742-780, 2022.

PARKASH V.; SINGH, S. A Review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. **Sustainability**, v. 12, 3945, 2020.

PEREIRA, G.A.; BARBOSA, A.C.M.C.; TORBENSON, M.C.A.; STAHLER, D.W.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R. M.; BARBOSA, J.P.D. The Climate Response of *Cedrela fissilis* Annual Ring Width in the Rio São Francisco Basin, Brazil. **Tree-Ring Research**, v. 74, p. 162-171, 2018.

PRADO, M.C.N.; GIULIANI, G.K.F.; GHIOTTO, T.C.; CARMO, J.B.; GUEREIRO, J.C.; PRADO, E. P.; POGETTO, M.H.F.A.S.; MASSON, M.V.; TAVARES, W.S.; WILCKEN, C.F. Detection and estimation of *Mastigimas anjosi* (Hemiptera: Calophyidae) populations on *Cedrela fissilis* trees. **Royal Society Open Science**, v. 9, 211340, 2022.

PUÉRTOLAS, J.; DODD, I.C. Evaluating soil evaporation and transpiration responses to alternate partial rootzone drying to minimise water losses. **Plant Soil**, v. 480, p. 473-489, 2022.

RAZI, K.; MUNEER, S. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 41, p. 669-691, 2021.

RODRIGUEZ, D.R.O.; SÁNCHEZ-SALGUERO, R.; HEVIA, A.; BOVI, R.C.; FERREIRA, M. J.; SPEER, J.H.; TOMAZELLO-FILHO, M. Does climate change alter the nutrient trends of *Cedrela fissilis* Vell. trees in the southern Brazilian Amazon? **Ecological Processes**, v. 12, 58, 2023.

ROEBER, V.M.; BAJAJ, I.; ROHDE, M.; SCHMULLING, T.; CORTLEVEN, A. Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, p. 645-664, 2020.

SALMONA, Y.B.; MATRICARDI, E.A.T.; SKOLE, D.L.; SILVA, J.F.A.; COELHO FILHO, O.A.; PEDLOWSKI, M.A.; SAMPAIO, J.M.; CASTRILLÓN, L.C.R.; BRANDÃO, R.A.; SILVA A.L. A worrying future for river flows in the Brazilian Cerrado provoked by land use and climate changes. **Sustainability**, v. 15, 4251, 2023.

SANCHES, M.C.; MARZINEK, J.; BRAGIOLA, N.G.; NASCIMENTO, A.R.T. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation. **Trees**, v. 31, p. 215-227, 2017.

SANTOS, T.R.S.; SANTOS, J.A.S.; PEREIRA, E.G.; GARCIA, Q.S. Revegetation of an area impacted by iron ore tailings: evaluating fertilization alternatives in native pioneer and secondary trees. **Environmental Science Pollution Research**, v. 30, p. 3760-3773, 2023.

SELEIMAN, M.F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; DINDAROGLU, T.; ABDUL-WAJID, H.H.; BATTAGLIA, M.L. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. **Plants**, v. 10, 259, 2021.

SLATTERY, R.A.; ORT, D.R. Perspectives on improving light distribution and light use efficiency in crop canopies. **Plant Physiology**, v. 185, p. 34-48, 2021.

SLAVICK, B. **Methods of Studying Plant Water Relations**. Springer- Verlag, New York, 1979. ISBN 978-3-642-65834-1

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM 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**, v. 4, p. 338-342, 2000.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M.A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: Bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1103–1116, 2006.

VETOSHKINA, D.; BALASHOV, N.; IVANOV, B.; ASHIKHMIN, A.; BORISOVA-MUBARAKSHINA, M. Light harvesting regulation: A versatile network of key components operating under various stress conditions in higher plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 576-588, 2023.

VOURLITIS, G.L.; PINTO JR., O.B.; DALMAGRO, H.J.; ARRUDA, P.E.Z.; LOBO, F.A.; NOGUEIRA J.S. Tree growth responses to climate variation in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 505, 119917, 2022.

WEI, C.; WANG, Q.; HAN, H.; GAN, X. Low soil moisture improved shading tolerance by regulating leaf functional traits in *Tetracentron sinense* Oliv. seedlings. **Global Ecology and Conservation**, v. 48, e02757, 2023.

XINGYANG, S.; GUANGSHENG, Z.; QIJING, H.; HUAILIN, Z. Stomatal limitations to photosynthesis and their critical Water conditions in different growth stages of maize under water stress. **Agricultural Water Management**, v. 241, 106330, 2020.

XU, R.; WANG, L.; ZHANG, J.; ZHOU, J.; CHENG, S.; TIGABU, M.; MA, X.; WU, P.; LI, M. Growth Rate and Leaf Functional Traits of Four Broad-Leaved Species Underplanted in Chinese Fir Plantations with Different Tree Density Levels. **Forests**, v. 13, 308, 2022.

YAN, Z.; MA, T.; GUO, S.; LIU, R.; LI, M. Leaf anatomy, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lettuce as influenced by arbuscular mycorrhizal fungi under high temperature stress. **Scientia Horticulturae**, v. 280, 109933, 2021.

YE, X.; GAO, Z.; XU, K.; LI, B.; REN, T.; LI, X.; CONG, R.; LU, Z.; CAKMAK, I.; LU, J. Photosynthetic plasticity aggravates the susceptibility of magnesium-deficient leaf to high light in rapeseed plants: the importance of Rubisco and mesophyll conductance. **The Plant Journal**, v. 117, p. 483-497, 2023.

YU, X.F.; MING, X.Y.; XIONG, M.; ZHANG, C.; YUE, L.J.; YANG, L.; FAN, C.Y. Partial shade improved the photosynthetic capacity and polysaccharide accumulation of the medicinal plant *Bletilla ochracea* Schltr. **Photosynthetica**, v. 60, p. 168-178, 2022.

ZHANG, J.; XIE, S.; YAN, S.; XU, W.; CHEN, J. Light energy partitioning and photoprotection from excess light energy in shade-tolerant plant *Amorphophallus xiei* under steady-state and fluctuating high light. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, 125, 2021.

ZHAO, W.; LIU, L.; SHEN, Q.; YANG, J.; HAN, X.; TIAN, F.; WU, J. Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. **Water**, v. 12, 2127, 2020.

ZHU, L.; LI, H.; THORPE, M.R.; HOCART, C.H.; SONG, X. Stomatal and mesophyll conductance are dominant limitations to photosynthesis in response to heat stress during severe drought in a temperate and a tropical tree species. **Trees**, v. 35, p. 1613-1626, 2021.

CAPÍTULO II: TROCAS GASOSAS E METABOLISMO ANTIOXIDANTE DE MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell. EM DIFERENTES DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E LUMINOSAS

RESUMO

Conhecer os efeitos interativos entre diferentes disponibilidades de luz e de água nas respostas ecofisiológicas de mudas de espécies arbóreas nativas é essencial e pode assegurar o maior sucesso no manejo e produção de mudas de qualidade. Diante do contexto, objetivamos avaliar as respostas fotoquímicas e de proteção e a qualidade das mudas de *Cedrela fissilis* cultivadas sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. As mudas foram submetidas a três níveis de sombreamento – SH (0, 30 e 70%) e três regimes hídricos baseados na capacidade de retenção de água (CRA) no substrato, constituindo nove condições de cultivo: T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. As avaliações ocorreram aos 15 e 60 dias. As seguintes características foram avaliadas: trocas gasosas, teor de água, fluorescência da clorofila *a* e atividade antioxidante. As mudas de *C. fissilis* respondem aos extremos de disponibilidade hídrica e luminosa combinados e dentre as condições de cultivo estudadas, a combinação de sombreamento moderado (30% SH) com maior disponibilidade hídrica (100% CRA) reduziu os danos no aparato fotossintético e proporcionou melhor qualidade das mudas com o aumento do tempo de exposição. O excesso de luminosidade, ocasionou danos às trocas gasosas e ao fotossistema II e redução na qualidade das mudas na condição 0% SH. As mudas sob pleno sol e baixa disponibilidade hídrica (0% SH + 40% CRA) não apresentaram boa qualidade. Conclui-se que as mudas de *C. fissilis* se ajustam as diferentes condições de cultivo a partir de adaptações fisiológicas e ativação do metabolismo enzimático.

Palavras-chave: Cedro; metabolismo enzimático; produção de mudas; respostas ecofisiológicas.

**CHAPTER II: GAS EXCHANGE AND ANTIOXIDANT METABOLISM OF
SEEDLINGS OF *Cedrella fissilis* Vell. UNDER VARYING WATER AND LIGHT
AVAILABILITY**

ABSTRACT

Determining the interactive effects between different light and water availability on the ecophysiological responses of seedlings of native tree species is essential to ensure greater success in the management and production of quality seedlings. In this context, we aim to evaluate the photosynthetic and protective metabolism and the quality of seedlings of *Cedrella fissilis* Vell. grown under different water and light availability. Seedlings were subjected to three shading levels (SH; 0, 30, and 70%) and three water regimes based on the water retention capacity (WRC) in the substrate, constituting nine cultivation conditions: T1 – 0% SH 40% WRC; T2 – 0% SH 70% WRC; T3 – 0% SH 100% WRC; T4 – 30% SH 40% WRC; T5 – 30% SH 70% WRC; T6 – 30% SH 100% WRC; T7 – 70% SH 40% WRC; T8 – 70% SH 70% WRC; and T9 – 70% SH 100% WRC. Assessments took place at 15 and 60 days. The following characteristics were evaluated: gas exchange, water content, chlorophyll *a* fluorescence and antioxidant activity. Seedlings of *C. fissilis* are responsive to extremes of combined water and light availability. Among the cultivation conditions studied, 30% SH 100% WRC mitigated damage to the photosynthetic apparatus and provided better seedling quality with increased exposure times. Excess light (0% SH) caused damage to gas exchange and the photosystem II, affecting seedling quality. Overall, seedlings of *C. fissilis* in response to different conditions showed variations in superoxide dismutase and peroxidase activities and protein and proline contents. Seedlings under full sun and low water availability (0% SH 40% WRC) did not have a good quality. Thus, seedlings of *C. fissilis* adapt to different cultivation conditions through adjustments in physiology, metabolism, and activation of the antioxidant enzyme system.

Keywords: Cedar, enzymatic metabolism, seedling production, ecophysiological responses.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição ambiental das espécies, a sobrevivência, crescimento e desenvolvimento das mudas são dependentes de fatores abióticos como disponibilidade hídrica e luminosa, os quais podem tornar-se estressantes caso a disponibilidade não seja adequada às suas necessidades (LIN et al., 2019; SHIADE et al., 2022; JUENGER et al., 2023). Essas condições refletem de maneira direta sobre a eficiência do aparato fotossintético, produção de espécies reativas ao oxigênio (ERO) e atividade antioxidante das mudas, levando a desequilíbrios metabólicos e estruturais, além de prejudicar sua qualidade e desenvolvimento em projetos de recomposição de áreas degradadas e em sistemas agroflorestais (BARTIERES et al., 2023).

Diante das mudanças climáticas e estações do ano cada dia menos definidas (BIGOLIN e TALAMINI, 2024), conhecer os efeitos interativos entre esses fatores nas respostas ecofisiológicas de mudas de espécies arbóreas nativas é essencial e pode assegurar o maior sucesso no manejo e produção de mudas de qualidade. Entretanto, algumas plantas se ajustam de modo a assegurar sua sobrevivência por meio de diversos mecanismos (PRAVEEN et al., 2023).

Tanto o déficit quanto o excesso de água prejudicam o crescimento e estabelecimento das mudas (SELEIMAN et al., 2021). O estresse hídrico ocasiona redução da taxa de assimilação de CO₂ decorrente de limitações estomáticas e não estomáticas, conseqüentemente isso faz com que ocorra diminuição no acúmulo de matéria orgânica na planta, e em alguns casos pode levar a abscisão foliar nas mudas (NADAL-SALA et al., 2021; BOGATI et al., 2022). Sob tais condições o fechamento estomático bloqueia a entrada de CO₂ e o O₂ se torna o receptor para a transferência de elétrons, ocasionando aumento na geração EROs nas células (XINGYANG et al., 2020).

Entretanto, o metabolismo não enzimático ou enzimático de defesa antioxidante como a prolina, superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT),

desempenha suas funções na detecção e eliminação/desintoxicação do excesso de ERO nas células, reduzindo o acúmulo desses radicais livres nos cloroplastos exercendo um papel fundamental na mitigação dos danos causados por fatores ambientais estressantes (HASANUZZAMAN et al., 2020; SUTULIENE et al., 2022; BARTIERES et al., 2023; WU et al., 2024).

Uma das estratégias para aumentar a tolerância das mudas a condições abióticas desfavoráveis é a implementação de técnicas que melhorem as vias antioxidantes das plantas (TIEPO et al., 2020), levando em consideração que a eficiência da defesa varia entre espécies e genótipos, assim como entre diferentes condições de estresse e sua frequência (FUJITA et al., 2022).

Outro mecanismo comum de proteção das plantas em condições adversas é o acúmulo de osmoprotetores como o aminoácido prolina, assim como a alteração quantitativa e qualitativa do teor de proteína (CORREIA et al., 2023). A prolina desempenha muitas funções na planta, estabilizando proteínas, membranas e outras estruturas subcelulares, eliminando radicais livres ou equilibrando o estado redox celular sob condições de estresse e seu conteúdo aumenta significativamente sob condições de estresse hídrico (TOSCANO et al., 2023).

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) é uma espécie arbórea nativa do bioma mata Atlântica brasileira e com ampla distribuição nas florestas brasileiras, comumente encontrada em regiões com solos profundos, úmidos e bem drenados (SANTOS et al., 2020; PRADO et al., 2022) e segundo artigos de Balestrin et al. (2019) e Lima et al. (2021), é característica de sucessão ecológica secundária a clímax, desenvolvendo-se no interior de floresta primária. Por ser uma madeira nobre, essa espécie é explorada de maneira intensa (DIAZ-SOTO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2022; ARAGÃO et al., 2023) fazendo com que a mesma atualmente esteja na lista de espécies ameaçadas e está classificada na categoria vulnerável (BARSTOW 2018). Considerando o alto valor da sua madeira, muitos projetos de reflorestamento fazem uso dessa espécie (ROCHA et al., 2018). Entretanto pouco se conhece sobre sua ecofisiologia.

Diante do contexto e da importância ecológica e econômica de *C. fissilis*, fez-se as seguintes perguntas nesse estudo: Se o sombreamento pode mitigar os efeitos do cultivo sob estresse hídrico facilitando mecanismos de proteção e mantendo a qualidade das mudas de *C. fissilis*; Sendo *C. fissilis* uma espécie de maior ocorrência em solo bem drenado, o excesso de água no solo associado à exposição ao pleno sol pode atuar sinergicamente, acentuando os efeitos estressantes e prejudicando o metabolismo fotossintético e a qualidade das mudas.

Assim, objetivou-se avaliar as respostas fotoquímicas e de proteção e a qualidade das mudas de *C. fissilis* cultivadas sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento e produção de mudas

O experimento foi conduzido na Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, implantado em viveiros da Faculdade das Ciências Agrárias (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), na cidade de Dourados – MS, Brasil.

As mudas de *Cedrela fissilis* Vell. foram produzidas em viveiro a partir de frutos maduros coletados em área remanescente de Cerrado (Autorização de Acesso e de Remessa de Amostra de Componente do Patrimônio Genético nº 010220/2015-1 – CNPq/CGEN/MMA), no Estado de Mato Grosso do Sul. A coleta dos frutos foi realizada nos períodos de dispersão com beneficiamento manual, e as sementes foram extraídas do fruto e selecionadas quanto a sua integridade física.

A semeadura ocorreu no dia 02/08/2021 em tubetes com volume de 280 cm³ preenchidos com substrato constituído de Latossolo Vermelho Distroférico + substrato comercial (Bioplant[®]) (1:1, v/v). Os tubetes foram acondicionados em bancadas em ambiente de viveiro protegido com tela de nylon preta (Sombrite[®]) com 30% de sombreamento, no qual a emergência total das plântulas ocorreu 90 dias após a semeadura (DAS).

Quando as mudas atingiram altura média de 8,0 cm, elas foram transplantadas para vasos plásticos de 8 kg preenchidos com substrato composto de Latossolo Vermelho Distroférico + areia grossa (3:1, v/v), com duas plantas cada.

Sombreamentos e capacidades de retenção de água (CRA)

Após o transplante as mudas foram submetidas a aclimação durante 45 dias, quando estavam com aproximadamente 15 cm, sob cada nível de sombreamento – SH (0, 30 e 70%). Após esse período as mudas foram submetidas a três regimes hídricos baseados na capacidade de retenção de água (CRA) no substrato, constituindo nove condições de cultivo: T1 – 0% SH + 40% CRA; T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Após o período de aclimação as mudas foram avaliadas aos 15 e 60 dias.

Nas diferentes condições luminosas, foi inserida uma estrutura revestida na parte superior e lateral com plástico transparente para proteção de possíveis precipitações durante o experimento. Os níveis de sombreamento de 30 e 70% foram obtidos com o uso de telas de nylon preta (Sombrite®), e os valores de radiação fotossinteticamente ativa e temperatura foliar foram registrados no medidor portátil de fotossíntese LCIPro - SD ADC BioScientific Ltd. (IRGA) e encontram-se na figura 1.

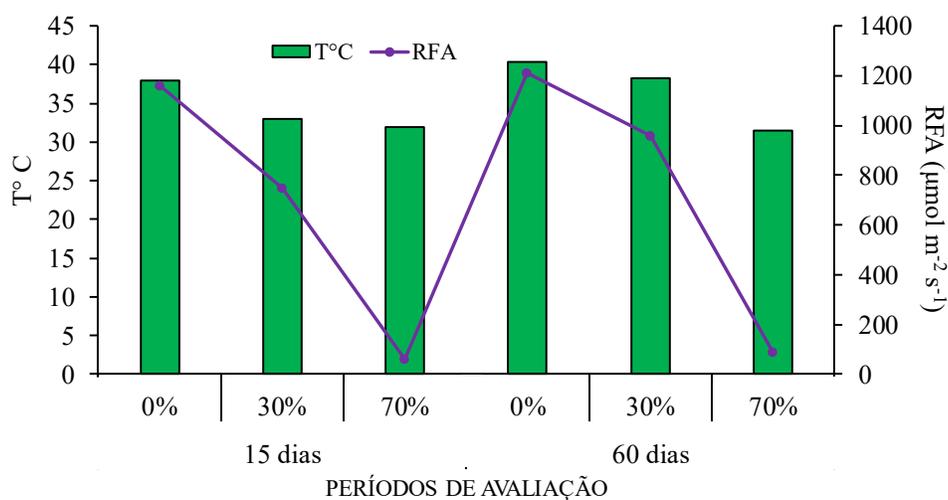


Figura 1. Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e temperatura foliar (T °C) em cada nível de sombreamento nas diferentes épocas de avaliação no cultivo das mudas de *Cedrela fissilis* Vell.

A capacidade de retenção de água foi determinada segundo Souza et al. (2000), em que a CRA de 100% foi obtida por meio do conteúdo de água retida após o escoamento, e os demais calculados por meio de regra de três simples em função do peso do vaso. Os vasos foram pesados em balança digital e a irrigação individualizada dos mesmos foi realizada diariamente, adicionando-se a quantidade de água suficiente para atingir o peso pré-estabelecido para cada tratamento. O substrato de cada vaso foi coberto com plástico para evitar a evaporação de água do solo.

Delineamento experimental

Os tratamentos foram arranjados no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 9×2 , sendo 9 condições de cultivo (combinação entre CRA e sombreamento) \times 2 épocas de avaliação a exposição a combinação das condições ambientais (15 e 60 dias após o transplante e aclimatação), com quatro repetições, e cada unidade experimental foi constituída de um vaso com duas mudas cada.

Avaliações

Aos 15 e 60 dias foram avaliadas as seguintes características:

- a) Trocas gasosas:** taxa fotossintética líquida - A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática - g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 - C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A partir desses dados foi calculada eficiência de carboxilação da Rubisco - A/C_i ($\mu\text{mol } \mu\text{mol mol}^{-1}$). Esses parâmetros foram quantificados com um medidor portátil de fotossíntese LCIPro - SD ADC BioScientific Ltd. As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11h, selecionando folhas do terço média das plantas, completamente expandidas e previamente marcadas, de modo que todas as medições fossem sempre realizadas nessas mesmas plantas.
- b) Teor de água - TA:** determinado nas folhas, segundo a expressão matemática de acordo com a metodologia de Turner (1981). As folhas foram coletadas às 7:00 h da manhã,

e no laboratório, cortadas com cilindros de área conhecida. Após pesagem da massa fresca, os discos foram submetidos à estufa de circulação forçada de ar à 60°C por 72 horas, e posteriormente pesados em balança de precisão determinando assim a massa seca. Os valores foram expressos em porcentagem.

c) Fluorescência da clorofila *a*: Eficiência quântica potencial do FSII - F_v/F_m e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no FSII - F_0/F_m . Esses parâmetros foram obtidos com um fluorômetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). A determinação da fluorescência foi realizada entre 8 e 11h da manhã, nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações das trocas gasosas, as quais foram submetidas a um período de 30 minutos de adaptação ao escuro com o auxílio de cliques adaptadores, para que todos os centros de reação nessa região foliar alcançassem a condição de “aberto”, ou seja, oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

d) Atividade enzimática antioxidante: Após a colheita das folhas e raízes frescas das mudas sob diferentes tratamentos, os materiais foram congelados em nitrogênio líquido até o momento das análises. Foi pesado 0,3 g de cada amostra para ser macerada em 6 mL de solução, contendo 0,3 g polivinilpirrolidona (PVP) diluída em 100 mL de solução tampão de fosfato de potássio (0, 2 M). Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10000 rpm por 20 minutos e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático. Assim, foram analisadas as atividades das enzimas superóxido dismutase - SOD ($\mu\text{g MF}^{-1}$) e peroxidase – POX ($\mu\text{mol mg}^{-1}$ proteína min^{-1}) em tecidos foliares e radiculares, seguindo as metodologias desenvolvidas por Gianngiopolitis e Reis (1977) e Broetto (2014), respectivamente.

e) Prolina e proteínas totais: a determinação de prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$) e proteínas totais (mg g^{-1} MF⁻¹) foi realizada em folhas e raízes. Para prolina, utilizou-se a metodologia modificada de Bates et al. (1973), em que os materiais foram secos em estufa à 60°C por 72 horas (Colton-Gagnon et al., 2014) e usando tolueno como referência, as leituras de absorção foram realizadas em triplicatas no comprimento de onda de 520 nm com espectrofotômetro (Metash Visible Spectrophotometer - model V5000). Para a quantificação de proteínas totais, adotou-se a metodologia de Bradford (1976), em que amostras frescas do material foram utilizadas na preparação do extrato. As leituras das absorbâncias foram realizadas em

triplicatas no comprimento de onda de 595 nm, utilizando espectrofotômetro (Metash Visible Spectrophotometer - model V5000).

f) Sobrevivência e Qualidade das mudas: A sobrevivência foi avaliada contando as mudas do início e final das avaliações e o resultado expresso em porcentagem. A qualidade foi obtida segundo metodologia proposta por Dickson et al. (1960) baseado no índice de qualidade de Dickson – IQD.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo (teste F, $p < 0,05$), as médias dos efeitos isolados de condições de cultivo e da interação épocas x condições de cultivo foram comparadas pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$) e t (Bonferroni) ($p < 0,05$) para épocas de avaliação utilizando o programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS

Trocas gasosas

Os maiores valores de fotossíntese (A) aos 15 dias ocorreram nas mudas cultivadas sob 0% SH + 100% CRA, enquanto que os menores foram sob 70% SH + 40% CRA. Aos 60 dias as mudas em 0% SH e 30% SH + 100% CRA apresentaram maiores valores, e os menores em 70% SH + 40% CRA (Figura 2A).

Com relação a condutância estomática (g_s) aos 15 dias os maiores valores foram observados nas mudas com 100% da CRA, independentemente do nível de sombreamento. Por outro lado, sob 0, 30% e 70% SH associadas a 40% CRA as mudas reduziram a g_s . Aos 60 dias as maiores g_s foram observadas nas mudas em 30% SH + 100% CRA. O menor valor de g_s observado nessa época foi das mudas na condição 30% SH + 70% CRA e 70% SH + 40% CRA (Figura 2B).

A eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i) das mudas de *C. fissilis* sob 0% SH + 100% CRA aos 15 dias foi maior e sob 70% SH independente da CRA apresentaram os menores valores, assim como aquelas sob 0% SH + 40% CRA. Aos 60 dias as mudas sob 0% SH + 100% CRA apresentaram os maiores valores de A/C_i , e as sob 0% SH + 40% CRA, 30% SH + 70% CRA e 70% SH + 40% CRA os menores (Figura 2C).

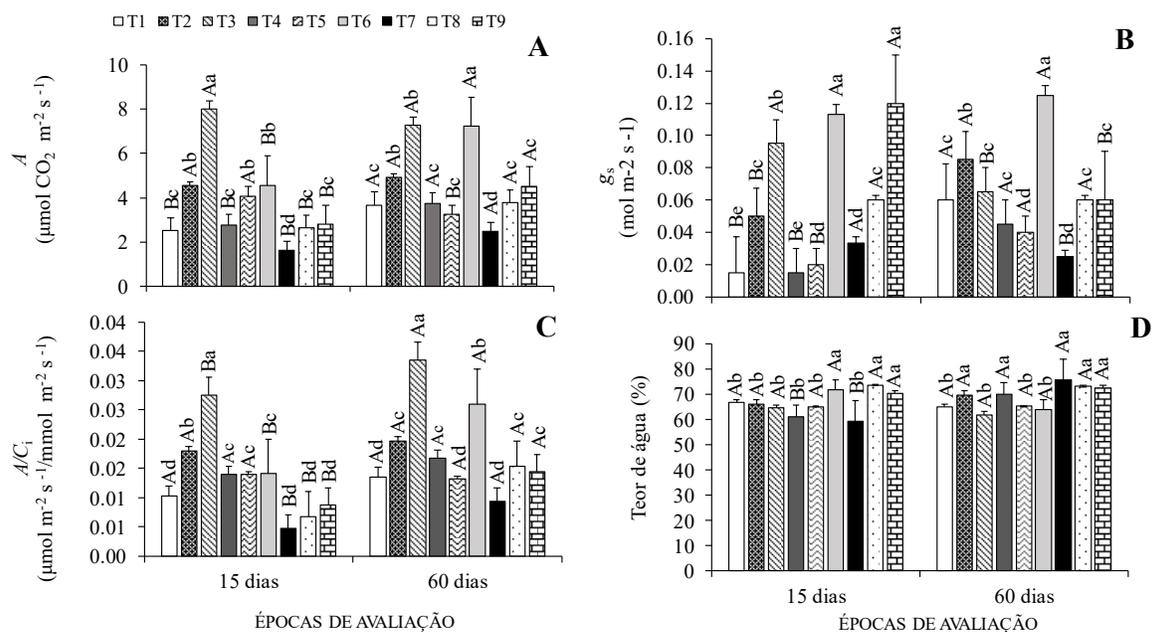


Figura 2. Taxa fotossintética – A (A), condutância estomática - g_s (B), eficiência de carboxilação da Rubisco - A/C_i e teor de água – TA (D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0,05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0,05$).

Os maiores teores de água (TA) aos 15 dias foram observados nas mudas sombreadas (30% SH) com 100% da CRA diferindo das demais condições de cultivo. Aos 60 dias as mudas nas condições 0% SH + 70% CRA, 30% SH + 40% CRA e naquelas sob 70% SH independente da CRA foram as que apresentaram maiores valores de TA (Figura 2D).

Fluorescência da clorofila *a*

Aos 15 e 60 dias as mudas cultivadas no ambiente 70% SH independente da CRA apresentaram maiores valores de F_v/F_m . Os menores valores aos 15 dias foram nas mudas sob 0% SH + 40 e 70% CRA, e aos 60 dias sob 0% SH + 40, 70 e 100% CRA (Figura 3A).

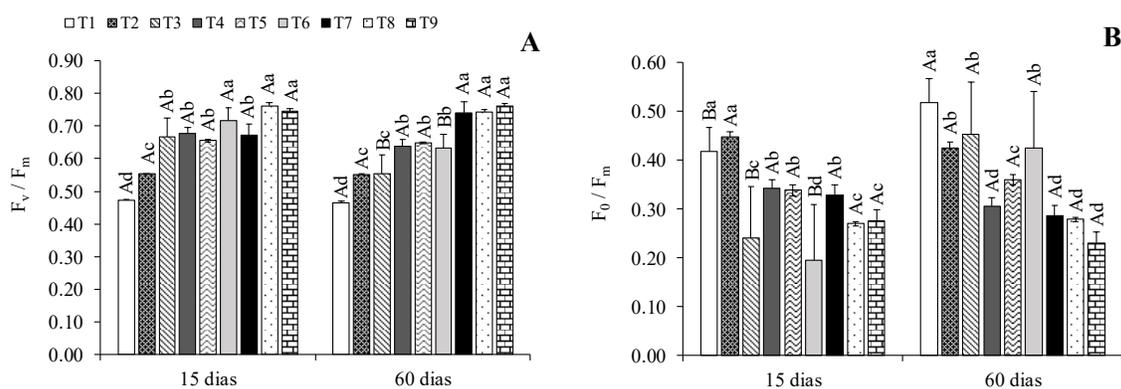


Figura 3. Eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no fotossistema II (F_0/F_m) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0,05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0,05$).

Os maiores valores de F_0/F_m foram observados nas mudas cultivadas sob 0% SH + 40 e 70% CRA aos 15 dias, e menores sob 30% SH + 100% CRA. Aos 60 dias os maiores valores de F_0/F_m foram das mudas sob 0% SH + 40% CRA, seguidas de 0% SH + 100% CRA e 30% SH + 100% CRA, e os menores sob 70% SH independente da CRA e 30% SH + 40% CRA (Figura 3B).

Atividades enzimáticas e prolina

Aos 15 dias a maior atividade de POX nas folhas foi observada nas mudas cultivadas em 0% SH + 40% CRA, 30% SH + 100% CRA e 70% SH + 100% CRA. Aos 60 dias as mudas sob 70% SH+ 40% CRA, seguidas de 0% SH + 100% CRA apresentaram maior atividade de POX e a menor sob 0% SH + 70% CRA e 30% SH + 100% CRA (Figura 4A).

Na raiz aos 15 dias os maiores valores de POX ocorreram nas mudas cultivadas sob 30% SH + 40% CRA e os menores sob 0% SH + 70% CRA, 30% SH + 70 e 100% CRA e 70% SH + 70 e 100% CRA. Aos 60 dias os maiores valores foram observados nas mudas sob 30% SH + 100% CRA (Figura 4C).

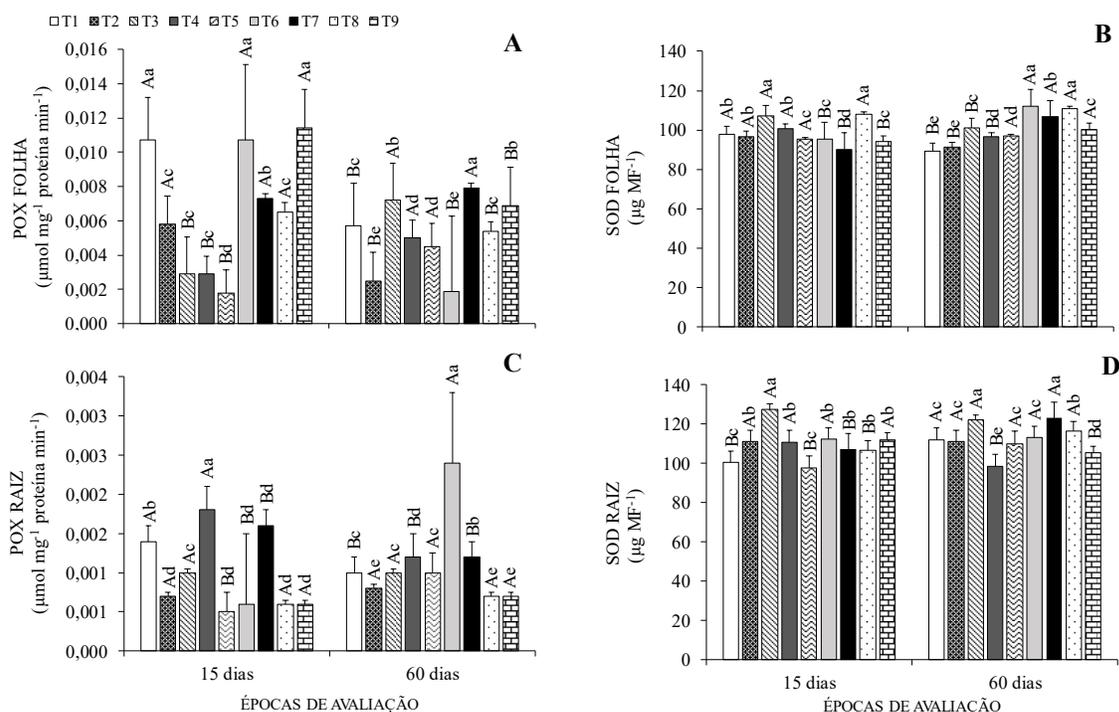


Figura 4. Atividade da peroxidase (POX) nas folhas (A) e nas raízes (C), e da superóxido dismutase (SOD) nas folhas (B) e nas raízes (D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70%

CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0,05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

Nas folhas, as mudas apresentaram maiores atividades de SOD aos 15 dias quando cultivadas em 0% SH + 100% CRA e 70% SH + 70% CRA, e menores sob 70% SH + 40% CRA. Aos 60 dias, a maior atividade ocorreu sob 30% SH + 100% CRA, já os menores em 0% SH + 40 e 70% CRA (Figura 4B).

Na raiz, aos 15 dias as maiores atividades de SOD foram observadas nas mudas sob 0% SH + 100% CRA e os menores sob 0% SH + 40% CRA e 30% SH + 70% CRA. As mudas sob 0% SH + 100% CRA e 70% SH + 40% CRA foram as que apresentaram maiores valores de SOD aos 60 dias, os menores sob 30% SH + 40% CRA (Figura 4D).

A proteína nas folhas, aos 15 dias, foi maior nas mudas sob 30% SH + 40% CRA e foi menor em 0% SH + 100% CRA e 70% SH + 40% CRA. Aos 60 dias os maiores valores ocorreram naquelas cultivadas sob 0% SH + 40 e 70% CRA, os menores sob 30% SH + 100% CRA e 70% SH + 70% CRA (Figura 5A).

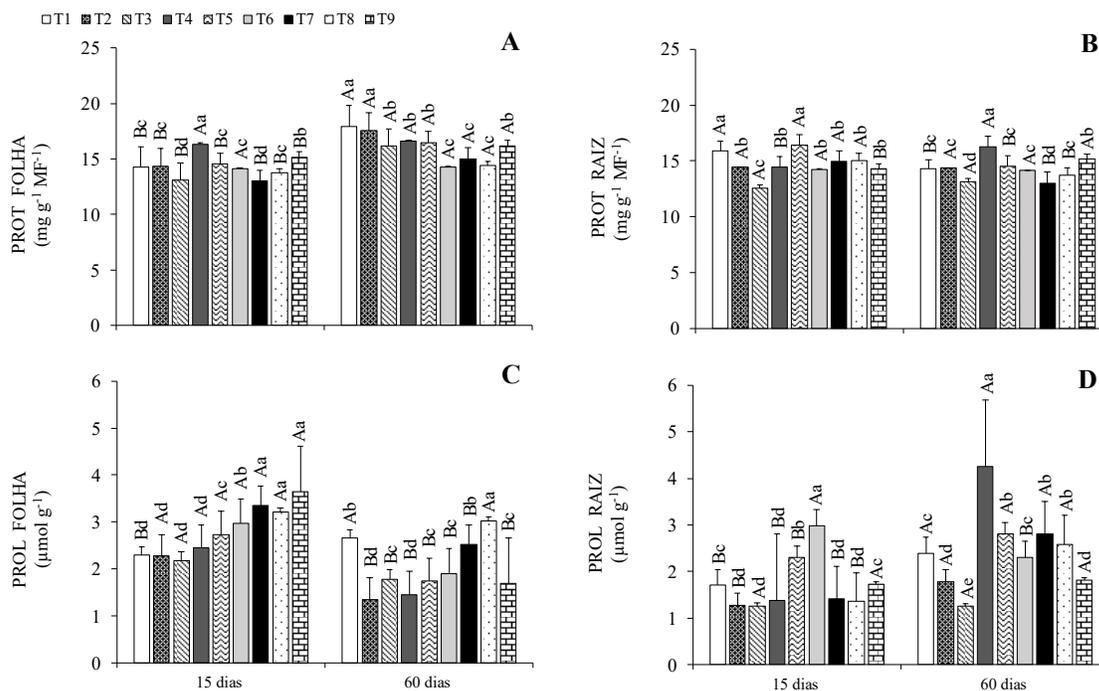


Figura 5. Conteúdo de proteína (PROT) nas folhas (A) e nas raízes (B) e conteúdo de prolina nas folhas (C) e nas raízes (D) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA; T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH + 70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0,05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

Nas raízes os maiores conteúdos de proteína foram nas mudas sob 0% SH + 40% CRA e 30% SH + 70% CRA aos 15 dias, e os menores sob 0% SH + 100% CRA. As mudas sob 30% SH + 40% CRA apresentaram maiores conteúdos de proteína aos 60 dias e os menores sob 0% SH + 100% CRA e 70% SH + 40% CRA (Figura 5B).

O conteúdo de prolina foliar foi maior nas mudas sob 70% SH independente da CRA e os menores sob 0% SH + 40 e 70% CRA e 30% SH + 40% CRA. Aos 60 dias as mudas em 70% SH + 70% CRA tiveram maior conteúdo de prolina e os menores em 0% SH + 70% CRA e 30% SH + 40% CRA (Figura 5C). Para prolina na raiz, as mudas cultivadas em 30% SH + 40% CRA foram as que apresentaram maior conteúdo aos 15 dias. Aos 60 dias a prolina foi maior sob 30% SH + 40% CRA e menor sob 0% SH + 100% CRA (Figura 5D).

Sobrevivência e Qualidade de mudas

Durante os 60 dias observamos 100% de sobrevivência das mudas em todas as condições de cultivo. As mudas de *C. fissilis* sob 0% SH + 70% CRA apresentam maior qualidade baseada nos valores de IQD aos 15 dias, e os menores sob 0% SH + 100% CRA e 30% SH + 40% CRA. Aos 60 dias o maior IQD foi observado em 30% SH + 100% CRA e nos demais níveis de luminosidade nas mudas sob 70% CRA (Figura 6).

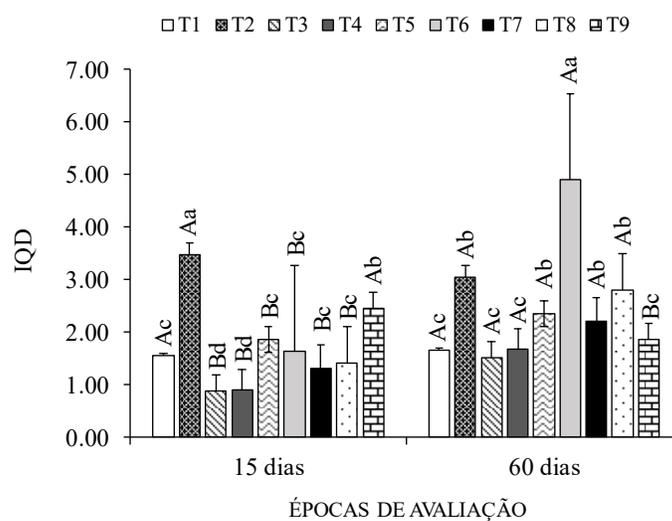


Figura 6. Índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. avaliadas aos 15 e 60 dias de cultivo sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas. T1 – 0% sombreamento (SH) + 40% capacidade de retenção de água (CRA); T2 – 0% SH + 70% CRA; T3 – 0% SH + 100% CRA; T4 – 30% SH + 40% CRA; T5 – 30% SH + 70% CRA;

T6 – 30% SH + 100% CRA; T7 – 70% SH + 40% CRA; T8 – 70% SH +70% CRA; T9 – 70% SH + 100% CRA. Letras minúsculas comparam o efeito das condições de cultivo em cada uma das épocas de avaliação usando o teste Scott-knott ($p \leq 0,05$) e letras maiúsculas comparam o efeito das épocas de avaliação dentro de cada condição de cultivo usando o teste F ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

4. DISCUSSÃO

C. fissilis responde aos extremos de disponibilidade hídrica e luminosa combinados. A combinação de sombreamento moderado (30%) com maior disponibilidade hídrica (100%) reduziu os danos no aparato fotossintético e proporcionou melhor qualidade das mudas com o aumento do tempo de exposição. O excesso de luminosidade, aqui representado pelo pleno sol (0%SH), ocasionou danos às trocas gasosas e ao fotossistema II e redução na qualidade das mudas. Entretanto, a condição de maior sombreamento (70%) aumentou a eficiência fotoquímica do fotossistema II, mas não refletiu em maior crescimento e qualidade das mudas, isso porque nesse ambiente as mudas tinham acesso a menor quantidade de radiações fotossinteticamente ativa do que nos demais.

Embora tenha havido respostas de redução do metabolismo fotossintético, qualidade das mudas e aumento de atividade antioxidante, ressaltamos que durante os 60 dias de exposição às diferentes condições de cultivo houve 100% de sobrevivência, mostrando grande potencial de tolerância das mudas de *C. fissilis*.

Respondendo ao questionamento que deu origem a essa pesquisa, os resultados que observamos mostram que o cultivo inicial das mudas dessa espécie sob pleno sol não é favorável ao seu crescimento e que o sombreamento mitiga os efeitos do estresse hídrico, tanto pelo déficit quanto pelo excesso de água. Além disso, corroboram também com a hipótese de que 0% SH + 40% CRA atuam sinergicamente acentuando o estresse ambiental sobre a fotossíntese e qualidade das mudas.

É interessante observar que as mudas de *C. fissilis* cultivadas sob 0% SH + 100% CRA apresentaram maior A , g_s e A/C_i porém menores valores IQD, mostrando que, embora a maior disponibilidade hídrica tenha mantido a eficiência do metabolismo fotossintético, isso não refletiu diretamente no acúmulo e distribuição de biomassa na planta. Para otimizar a utilização da energia luminosa e ao mesmo tempo evitar fotodanos as plantas ajustam sua

morfologia e fisiologia (ROEBER et al., 2020), e dentre as modificações, o aumento da eficiência da Rubisco (FIRMINO et al., 2021; ZANGH et al., 2022) que em nosso experimento, comprovamos pela maior A/C_i e maior teor de proteínas, o que sugere uma tentativa de uso mais eficiente da luminosidade disponível.

A redução do teor de água (TA) nas mudas sob 0% SH independente da CRA aos 15 dias pode ser devida à maior evapotranspiração causada pelo aumento da temperatura foliar em consequência da maior exposição aos raios luminosos, podendo levar a perda da turgescência do tecido das folhas, comprometendo as relações hídricas (GORI et al., 2023; TORRES-RUIZ et al., 2023).

Nesse sentido, quando não tem água suficiente para os processos fisiológicos da planta a fotólise da água é prejudicada o que, conseqüentemente, reduz a produção de ATP e NADPH₂ comprometendo toda a eficiência do fotossistema II (TERLETSKAYA et al., 2021; MOUSTAKAS et al., 2022), o que observamos com a redução da F_v/F_m nas mudas sob 0% SH associadas a 40 e 70% de CRA aos 15 e 60 dias, e aumento de F_0/F_m . Essa resposta pode ser considerada um indicativo de que boa parte da energia absorvida está sendo dissipada ao invés de ser utilizada no metabolismo foliar, sugerindo que tais condições ocasionaram limitações de aproveitamento luminoso para o aparato fotossintético de *C. fissilis*.

Quando a intensidade da luz recebida pela planta excede a capacidade de utilização da energia absorvida com transporte fotossintético de elétrons (TROJAK et al., 2021), pode resultar em fotoinibição (GARCÍA-CAPARRÓS et al., 2021) e gerar ERO comprometendo, dentre outros fatores, a transferência de elétrons no fotossistema II (LENNON et al., 2021; ASHROSTAGHI et al., 2022; SHOMALI et al., 2023). Além disso, devemos considerar também os efeitos negativos da alta temperatura na integridade do fotossistema II (RIVERO et al., 2021), o que refletiu em mudas com menor qualidade.

Neste contexto, aos 60 dias, as mudas que apresentaram os maiores valores de TA e F_v/F_m independente da CRA foram aquelas sob o maior sombreamento (70% SH), indicando que essa condição de cultivo preservou o aparato fotoquímico das mudas.

Resultados semelhantes foram observados em estudos anteriores para diferentes espécies. O sombreamento resultou em melhor desempenho nas relações fotoquímicas e bioquímicas da fotossíntese em mudas de *Inga vera* Willd. (CERQUEIRA et al. 2023), *Hymenaea courbaril* L. (REIS et al., 2023) e *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (BARTIERES et al., 2023) que, quando cultivadas sob 0% de sombreamento e restrição hídrica, apresentaram menores rendimentos fotoquímicos, sugerindo a ocorrência de fotoinibição. Os autores concluem que o sombreamento reduz danos ao aparato fotossintético nas mudas e minimiza os efeitos do déficit hídrico.

Neste contexto, as mudas submetidas a sombreamento moderado (30% SH), apresentaram melhor desempenho fisiológico aos 15 dias quando cultivadas sob maior disponibilidade hídrica, visto que a combinação 30% SH + 100% CRA fez com que elas tivessem maiores valores de g_s e TA, e menores valores de F_0/F_M . Como consequência, aos 60 dias essas mudas foram as que apresentaram os maiores valores de A , g_s e IQD.

Essa combinação de fatores ambientais fez com que as mudas de *C. fissilis* mantivessem a abertura estomática e especialmente o sombreamento moderado manteve a funcionalidade do fotossistema II e a produção de fotoassimilados, os quais puderam ser investidos em crescimento e mudas com maior qualidade. O IQD ao considerar o equilíbrio da distribuição da biomassa e a vitalidade das mudas é uma das avaliações que melhor se correlaciona com a sua sobrevivência no campo (VIEIRA et al., 2019; DIONISIO et al., 2020).

Vale ressaltar que as mudas de *C. fissilis* sob sombreamento moderado combinado com a menor disponibilidade hídrica (30% SH + 40% CRA) apresentaram menores valores de TA e de IQD e maiores atividades de POX e maior teor de prolina nas raízes e proteínas nas folhas, sugerindo que essa condição de cultivo também foi estressante.

Entretanto, trabalhos anteriores sugerem que *C. fissilis* prefere solos bem drenados (GRIEBELER et al., 2021; PRADO et al., 2022), o que corroboramos quando observamos as maiores atividades de POX e SOD nas raízes das mudas sob 30% SH + 100% CRA aos 60 dias, contudo, com o sistema antioxidante ativado, essa condição não prejudicou o desenvolvimento de *C. fissilis* uma vez que nessa mesma época os menores valores de

POX e PROT foram observados nas folhas das mudas dessa condição de cultivo, sugerindo que esses mecanismos de proteção antioxidante puderam manter o equilíbrio metabólico e a qualidade das mudas.

Essa maior atividade nas raízes pode ser o metabolismo antioxidante da planta atuando para manter o equilíbrio entre a produção e eliminação de ERO, sendo que essas enzimas também podem se acumular em plantas sob ambientes sombreados (YU et al., 2021). Além disso, a POX pode interagir com outras proteínas atuando como um transdutor de sinalização de estresse hídrico, estimulando o fechamento dos estômatos (BELA et al., 2022), como observado nas mudas de *C. fissilis* sob 0% e 30% SH + 40% CRA, que apresentaram os menores valores de g_s aos 15 dias.

O excesso de sombra associado a menor disponibilidade hídrica (70% SH + 40% CRA) também representou uma condição estressante e reduziu A , A/C_i e IQD aos 15 dias. Isso pode ser resultante das menores disponibilidades de luz e água no solo, as quais foram insuficientes para o desenvolvimento das mudas, ao reduzir a fotossíntese e o ganho de carbono (NASEER et al., 2023). Nessas condições as mudas apresentaram maiores valores de POX nas folhas e SOD nas raízes, além de baixos valores de IQD. Essas respostas são sugestivas de estresse oxidativo.

É interessante observar que, embora a SOD seja considerada a primeira linha de defesa contra ERO ao reduzir o superóxido, aliviando o potencial de formação de radicais hidroxila (HACHEMI et al., 2021), as mudas de *C. fissilis* apresentam elevada atividade dessa enzima tanto em folhas quanto em raízes, independente da condição de cultivo. Entretanto, a atividade da POX foi muito maior nas folhas do que nas raízes e em ambos os órgãos, essa atividade aumentou sob condições extremas de luz + restrição hídrica ou sombreamento com excesso de água logo nos primeiros 15 dias de exposição. Os resultados sugerem que as mudas parecem se ajustar a essas condições uma vez que a atividade dessa enzima reduz ao mesmo tempo que a atividade fotossintética começa a aumentar.

Reforçando a ideia de que 40% CRA tanto sob 0% quanto 70% SH são condições estressantes para *C. fissilis*, estudos anteriores ressaltam que o aumento de prolina e de proteínas são respostas comuns e que podem conferir tolerância das plantas a diferentes

estresses abióticos (FURLAN et al., 2020). Aumentos na tolerância à seca foram correlacionados com a capacidade de acumular compostos protetores (TOSCANO et al., 2023). Embora a prolina desempenhe papéis importantes sintetizando, estabilizando e protegendo a integridade de proteínas e enzimas e mantendo o turgor celular por osmorregulação (MERWAD et al., 2018; SILVA et al., 2018; FREIRE et al., 2022), a contribuição desse aminoácido nas mudas de *C. fissilis* durante o período avaliado não foi representativa, sugerindo que esse período de exposição a essas condições ambientais pode não ter sido suficiente para acentuar as respostas de estresse e desencadear o acúmulo de compostos protetores.

Por fim, observamos que para obtenção de mudas de *C. fissilis* de qualidade, essas mudas devem ser cultivadas em ambientes com sombreamento moderado associado a maior disponibilidade hídrica, uma vez que, de acordo com nossos resultados, essa condição (30% SH + 100% CRA) foi a mais favorável. Se o cultivo ocorrer sob níveis extremos de luminosidade (0% e 70% de sombreamento), as mudas precisam receber nível intermediário de disponibilidade hídrica, nesse trabalho representado por 70% de CRA, para se desenvolverem melhor.

5. CONCLUSÃO

O excesso de água no solo associado à maior disponibilidade luminosa (0% SH + 100% CRA) não acentuam o estresse nas mudas de *C. fissilis*, mas sob sombreamento moderado (30% SH +100% CRA) as mudas tiveram seu aparato fotossintético protegido e apresentaram melhor qualidade. A combinação de baixa disponibilidade hídrica (0% SH + 40% CRA) as mudas não apresentaram boa qualidade.

Mudas de *C. fissilis* se ajustam as diferentes condições de cultivo a partir de ajustes no metabolismo fotossintético e com ativação do sistema enzimático antioxidante.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, V.P.M.; SOUSA, K.R.; OLIVEIRA, T.R.; OLIVEIRA, L.F.; FLOH, E.L.S.; SILVEIRA, V.; SANTA-CATARINA, C. The inhibition of putrescine synthesis affects the in vitro shoot development of *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) by altering endogenous polyamine metabolism and the proteomic profile. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.152, p. 377-392, 2023.

ASHROSTAGHI, T.; ALINIAEIFARD, S.; SHOMALI, A.; AZIZINIA, S.; KOOHPALEKANI, J.A.; MOOSAVI-NEZHAD, M.; GRUDA, N.S. Light intensity: the role player in cucumber response to cold stress. **Agronomy**, v. 12, 201, 2022.

BALESTRIN, D.; MARTINS, S.V.; SCHOORL, J.M.; LOPES, A.T.; ANDRADE, C. F. Phytosociological study to define restoration measures in a mined area in Minas Gerais, Brazil. **Ecological Engineering**, v. 135, p. 8-16, 2019.

BARSTOW M (2018) *Cedrela fissilis*. In: Lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN.

BARTIERES, E.M.M.; DRESCH, D.M.; REIS, L.C.; PEREIRA, Z.V.; MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e244718, 2023.

BARTIERES, E.M.M.; DRESCH, D.M.; REIS, L.C.; PEREIRA, Z.V.; MUSSURY, R.M.; SCALON, S.P.Q. Shading minimizes the effects of water deficit in *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg seedlings. **Brazilian Journal of Biology** 83, e244718, 2023.

BELA, K; RIYAZUDDIN, R.; CSISZÁR, J. Plant glutathione peroxidases: non-heme peroxidases with large functional flexibility as a core component of ros-processing mechanisms and signalling. **Antioxidants**, v.11, 1624, 2022.

BIGOLIN, T.; TALAMINI, E. Impacts of climate change scenarios on the corn and soybean double-cropping system in brazil. **Climate**, v. 12, 42, 2024.

BOGATI, K.; WALCZAK, M. The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. **Agronomy**, v. 12, 189, 2022.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

CERQUEIRA, W.M.; SCALON, S.P.Q.; SANTOS, C.C.; SANTIAGO, E.F.; ALMEIDA, J.L.C.S.; FIGUEIREDO, V.M.A.; LINNÉ, J.A.; SILVERIO, J.M. Ecophysiological mechanisms and growth of *Inga vera* Willd. under different water and light availability. **Brazilian Journal of Biology**, 83, e275378, 2023.

COLTON-GAGNON, K.; ALI-BENALI, M.A.; MAYER, B.F.; DIONNE, R.; BERTRAND, A.; CARMO, S.; CHARRON, J.B. Análise comparativa da aclimação ao frio e capacidades de tolerância ao congelamento de sete acessos diplóides de *Brachypodium distachyon*. **Annals of Botany**, v. 113, p. 681–693, 2014.

CORREIA, S.; BRAGA, A.; MARTINS, J.; CORREIA, B.; PINTO, G.; CANHOTO, J. Effects of polyploidy on physiological performance of acclimatized *Solanum betaceum* Cav. plants under water deficit. **Forests**, v. 14, 208.

DIAZ-SOTO, J.M.; HUAMÁN-MERA, A.; OLIVEIRA, L.O. Population genetics of *Cedrela fissilis* (Meliaceae) from an ecotone in central Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v. 14, 73, 2018.

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

DIONISIO, L.F.S.; AUCA, E.C.; MILHOMEM, C.A.; SCHWARTZ, G.; AGURTO, J.J.M.; CORVERA-GOMRINGER, R. *Bertholletia excelsa*: growth and quality of seedlings produced under different environmental conditions. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 38589-38603, 2020.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, p. 529–535, 2019.

FIRMINO, T.P.; de SOUZA, L.A.; BARBEIRO, C.; MARCÍLIO, T.; ROMAGNOLO, M.B.; PASTORINI, L.H. Influence of the light on the morphophysiological responses of native trees species of the semideciduous seasonal forest. **Ecology & Biogeography**, v.44, p. 963-976, 2021.

FREIRE, F.C.J.; SILVA-PINHEIRO, J.; SANTOS, J.S.; SILVA, A.G.L.; CAMARGOS, L.S.; ENDRES, L.; JUSTINO, G.C. Proline and antioxidant enzymes protect *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) from transitory water deficiency. **Rodriguésia**, v. 73, e02062020, 2022.

FUJITA, M.; HASANUZZAMAN, M. Approaches to enhancing antioxidant defense in plants. **Antioxidants**, v. 11, 925, 2022.

FURLAN, A.L.; BIANUCCI, E.; GIORDANO, W.; CASTRO, S.; BECKER, D.F. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 566-578, 2020.

GARCÍA-CAPARRÓS, P.; FILIPPIS, L.; GUL, A.; HASANUZZAMAN, M.; OZTURK, M.; ALTAY, V.; LAO, M.T. Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. **The Botanical Review** 87, 421-466, 2020.

GORI, A.; MOURA, B.B.; SILLO, F.; ALDEROTTI, F.; PASQUINI, D.; BALESTRINI, R.; FERRINI, F.; CENTRITTO, M.; BRUNETTI, C. Unveiling resilience mechanisms of *Quercus ilex* seedlings to severe water stress: Changes in non-structural carbohydrates, xylem hydraulic functionality and wood anatomy. **Science of the Total Environment**, v. 878, 163124, 2023.

GRIEBELER, A.M.; ARAUJO, M.M.; BARBOSA, F.M.; KETTERNHUBER, P.L.; NHANTUMBO, L.S.; BERGHETTI, A.L.P.; DENARDI, L. Morphophysiological responses of forest seedling species subjected to different water regimes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 2099-2110, 2021.

HACHEMI, A.; ALI, O.S.; BELGHAZI, T.; LAHROUNI, A.; MERCHT, S.E.; HASSAN, C.E.; MESSOUSSI, S.E. Effect of hydric and light stress on biomass, nutrient uptake and enzymatic antioxidants of *Argania spinosa* seedlings. **Archives of Biological Sciences**, v. 73, p. 145-153, 2021.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M.H.M.B.; PARVIN, K.; BHUIYAN, T.F.; ANEE, T.I.; NAHAR, K.; HOSSEN, S.; ZULFIQAR, F.; ALAM, M.; FUJITA, M. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, 8695.

LENNON, A.M.; LEWIS, V.R.; FARRELL, A.D.; UMAHARAN, P. Photochemical responses to light in sun and shade leaves of *Theobroma cacao* L. (West African Amelonado). **Scientia Horticulturae**, v. 276, 109747, 2021.

LIMA, M.S.; ARAUJO, M.M.; AIMI, S.C.; OLIVEIRA, V.V.T.; BERGHETTI, A.L.P.; NASCIMENTO, N.F.; TAROUCO, C.P. Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 501, 119659.

LIN, J.; ZHANG, R.; HU, Y.; SONG, Y.; HANNINEN, H.; WU, J. Interactive effects of drought and shading on *Torreya grandis* seedlings: physiological and growth responses. **Trees**, v. 33, p. 951-961, 2019.

MERWAD, A.R.M.A.; DESOKY, E.S.M.; RADY, MM. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132-144, 2018.

MOUSTAKAS, M.; SPERDUOLI, I.; MOUSTAKA, J. Early drought stress warning in plants: color pictures of photosystem II photochemistry. **Climate**, v. 10, 179, 2022.

NADAL-SALA, D.; GROTE, R.; BIRAMI, B.; KNUVER, T.; REHSCHUH, R.; SCHWARZ, S.; RUEHR, N. K. leaf shedding and non-stomatal limitations of photosynthesis mitigate hydraulic conductance losses in scots pine saplings during severe drought stress. **Frontiers Plant Science**, v. 12, 715127, 2021.

NASEER, M.A.; NENGYAN, Z.; EJAZ, I.; HUSSAIN, S.; ASGHAR, M.A.; FAROOQ M.; RUI, Q.; ULLAH, A.; XIAOLI, C.; XIAOLONG, R. Physiological mechanisms of grain yield loss under combined drought and shading stress at the post-silking stage in maize. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 1125-1137, 2022.

OLIVEIRA, T.R.; BALFAGÓN, D.; SOUSA, K.R.; ARAGÃO, V.P.M.; OLIVEIRA, L.F.; FLOH, E.L.S.; SILVEIRA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A.; SANTA-CATARINA, C. Long-term subculture affects rooting competence via changes in the hormones and protein profiles in *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) shoots. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 148, p. 137-153, 2022.

PRADO, M.C.N.; GIULIANI, G.K.F.; GHIOTTO, T.C.; CARMO, J.B.; GUERREIRO, J.C.; PRADO, E. P.; POGETTO, M.H.F.A.D.; et al. Detection and estimation of *Mastigimas anjosi* (Hemiptera: Calophyidae) populations on *Cedrela fissilis* trees. **Royal Society Open Science**, v. 9, 211340, 2022.

PRAVEEN, A.; DUBEY, S.; SINGH, S.; SHARMA, V.K. Abiotic stress tolerance in plants: a fascinating action of defense mechanisms. **3 Biotech**, v. 13, 102, 2023.

REIS, L.C.; SCALON, S.P.Q.; FORESTI, A.C.; DRESCH, D.M.; SANTOS, C.C.; LIMA, V.T. How does shading mitigates the water deficit in young *Hymenaea courbaril* L. plants? **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1235234, 2023.

RIVERO, R.M.; MITTLER, R.; BLUMWALD, E.; ZANDALINAS, S.I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. **The Plant Journal**, v. 109, p. 373-389, 2021.

ROCHA, G.A.; ROMANATTI, P.V.; OLIVEIRA, F.M.; CUNHA NETO, A.R. Ecophysiology of the tree species *Cedrela fissilis* vell. (meliaceae) submitted to flooding. **Cerne**, v. 24, p. 323-333, 2018.

ROEBER, V.M.; BAJAJ, I.; ROHDE, M.; SCHMULLING, T.; CORTLEVEN, A. Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, p. 645-664, 2020.

SANTOS, V.A.H.F.; FERREIRA, M. J. Initial establishment of commercial tree species under enrichment planting in a Central Amazon secondary forest: Effects of silvicultural treatments. **Forests Ecology and Management**, v. 460, 117822.

SELEIMAN, M.F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; DINDAROGLU, T.; ABDUL-WAJID, H.H.; BATTAGLIA, M.L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, 259, 2021.

SHIADE, S. R. G.; FATHI, A.; GHASEMKHEILI, F. T.; AMIRI, E.; PESSARAKLI, M. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—a review. **Journal of Plant Nutrition**, v.46, p. 2198-2230, 2022.

SHOMALI, A.; LASTOCHKINA, O.V.; MOHAMMADIAN, M.; RASTOGI, A.; BOSACCHI, M.; LI, T.; ALINIAEIFARD, S. Photoinhibition in horticultural crops: an overview of the effect of light quality and signaling in the underlying photoprotection mechanisms. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 10, p. 39-50, 2023.

SILVA, F.L.B.; VIEIRA, L.G.E.; RIBAS, A.F.; MORO, A.L.; NERIS, D.M.; PACHECO, A.C. Proline accumulation induces the production of total phenolics in transgenic tobacco plants under water deficit without increasing the G6PDH activity. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 30, p. 251-260, 2018.

SOUZA, C.C.; OLIVEIRA F.A.; SILVA, I.F.; AMORIM 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**, v. 4, p. 338-342, 2000.

SUTULIENE, R.; LAUZIKE, K.; PUKAS, T.; SAMUOLIENE, G. Effect of light intensity on the growth and antioxidant activity of sweet basil and Lettuce. **Plants**, v. 11, 1709.

TERLETSKAYA, N.V.; KORBOZOVA, N.K.; KUDRINA, N.O.; KOBYLINA, T.N.; KURMANBAYEVA, M.S.; MEDUNSTSEVA, N.D.; TOLSTIKOVA, T.G. The influence of abiotic stress factors on the morphophysiological and phytochemical aspects of the acclimation of the plant *Rhodiola semenowii* Boriss. **Plants**, v. 10, 1196, 2021.

TIEPO, A.N.; CONSTANTINO, L.V.; MADEIRA, T. B.; GONÇALVES, L.S.A.; PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E.; OLIVEIRA, A.L.M.; STOLF-MOREIRA, R. Plant

growth-promoting bacteria improve leaf antioxidant metabolism of drought-stressed Neotropical trees. **Planta**, v. 251, 83, 2020.

TORRES-RUIZ, J.M.; COCHARD, H.; DELZON, S.; BOIVIN, T.; BURLETT, R.; CAILLERET, M.; CORSO, D.; DELMAS, C.E.L.; CACERES, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; FERNÁNDEZ-CONRADI, P. Plant hydraulics at the heart of plant, crops and ecosystem functions in the face of climate change. **New Phytologist Foundation**, v. 241, p. 984-999, 2023.

TOSCANO, S.; GÓMEZ-BELLOT, M.J.; ROMANO, D.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. Physiological and biochemical changes in response to *Moringa oleifera* biostimulant in petunia plants under water deficit. **Scientia Horticulturae**, v. 319, 112187.

TROJAK, M, SKOWRON, E, 2021. Light quality-dependent regulation of non-photochemical quenching in tomato plants. **Biology**, v. 10, 721, 2021.

VIEIRA, L.M.; GOMES, E.N.; BROWN, T.A.; CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F. Growth and quality of Brazilian pine tree seedlings as affected by container type and volume. **Ornamental Horticulture**, v. 25, p. 276-286, 2019.

WU, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; ZHOU, H.; MA, L. Roles of antioxidant enzymes, secondary metabolites, and lipids in light adaption of tea-oil plant (*Camellia oleifera* Abel). **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, p. 2209-2223, 2024.

XINGYANG, S.; GUANGSHENG, Z.; QIJING, H.; HUAILIN, Z. Stomatal limitations to photosynthesis and their critical water conditions in different growth stages of maize under water stress. **Agricultural Water Management**, v. 241, 106330, 2020.

YU, Z.C.; LIN, W.; ZHENG, X.T.; CAI, M.L.; ZHANG, T.J.; LUO, Y.N.; PENG, C.L. Interpretation of the difference in shade tolerance of two subtropical forest tree species of different successional stages at the transcriptome and physiological levels. **Tree Physiology**, v. 41, p. 1669-1684, 2021.

ZHANG, J.Y.; KUANG, S.B.; CUN, Z.; SHUANG, S.P.; MENG, Z.G.; LI, L.G.; CHEN, J.W. Transcriptome and physiology analysis reveal key players of the shade-tolerant species *Panax notoginseng* in photosynthetic performance under both high and low light regimes. **Journal of Plant Interactions**, v.17, p. 371-389, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. com maior vigor, recomenda-se o cultivo sob 30% de sombreamento combinada com 100% CRA, pois essa condição protege o aparato fotossintético e favorece o crescimento das mudas dessa espécie em sua fase inicial. O manejo da irrigação deve garantir uma adequada disponibilidade hídrica, evitando déficits que possam comprometer o desenvolvimento das mudas.

A produção de mudas a pleno sol e baixa disponibilidade hídrica deve ser evitada, pois essa combinação reduz a qualidade e o crescimento das mudas. Dessa forma, com sombreamento parcial e irrigação adequada otimiza a produção de mudas mais vigorosas.

Gostaria de ressaltar que seria interessante pesquisas futuras que explorem o comportamento desta espécie nestas condições por um período maior, incluindo avaliações após o transplante das mudas para o local definitivo onde a árvore se desenvolverá.