

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL/BIOPROSPECÇÃO

Lucivania de Oliveira Barbosa

**CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E MECANISMOS PROTETORES
DE *Cedrela fissilis* Vell. EM FUNÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E
SOMBREAMENTOS**

DOURADOS-MS

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA GERAL/BIOPROSPECÇÃO

Lucivania de Oliveira Barbosa

**CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E MECANISMOS PROTETORES
DE *Cedrela fissilis* Vell. EM FUNÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E
SOMBREAMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Geral/Bioprospecção, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dr^a. Silvana de Paula Quintão Scalon

DOURADOS-MS

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B238c Barbosa, Lucivania De Oliveira
CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E MECANISMOS
PROTETORES DE *Cedrela fissilis* Vell. EM FUNÇÃO DAS
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E SOMBREAMENTOS / Lucivania De
Oliveira Barbosa -- Dourados: UFGD, 2018.

83f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon

Dissertação (Mestrado em Biologia Geral/Bioprospecção) - Faculdade de
Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Cedro. 2. Alagamento. 3. Luminosidade. 4. Morfoanatomia. 5.
Metabolismo fotossintético. I. 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.

"CRESCIMENTO INICIAL, TROCAS GASOSAS E MECANISMOS PROTETORES DE
Cedrela fissilis Vell. EM FUNÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E
SOMBREAMENTO".

POR

LUCIVANIA DE OLIVEIRA BARBOSA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
DOURADOS (UFGD), COMO PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM BIOLOGIA GERAL - ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO: "BIOPROSPECÇÃO".



PROF.^a DR.^a SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON
ORIENTADORA – UFGD



PROF.^a DR.^a DAIANÉ MUGNOL DRESCH
MEMBRO TITULAR – UFGD



PROF.^a DR.^a DANIELI PIERETTI NUNES
MEMBRO TITULAR – ANHANGUERA/DOURADOS

Aprovada em 22 de fevereiro de 2018.

Agradecimentos

Sob todas as coisas, agradeço a **Deus** pelo dom da vida, por todas as oportunidades que Ele tem me apresentado durante minha caminhada, e por todas as outras que não de vir. Agradeço a minha mãezinha do céu **Nossa Senhora Aparecida** por sempre me carregar de baixo do seu manto sagrado, me fortalecendo na fé todos os dias, me dando discernimento para vencer todas as barreiras que o inimigo tem imposto.

Agradeço a todos os meus familiares que acreditaram no meu sonho de ser mestre e que de alguma forma contribuíram para que isso se concretizasse. Em especial quero citar com muito carinho meus tios **Maria José** e **Venusto** que nunca mediram esforços para me acolherem todas as vezes em que precisei; A minha avó **Maria Salete** e minha mãe **Silvana Oliveira** que sempre sonharam junto comigo e acima de tudo, torcem sempre pela minha vitória; A matriarca da família, minha bisavó **Lidia Simiano** pelas orações diárias que sem sombra de dúvida me fortaleceram e me fortalecem cada vez mais; Ao meu “namorado” **Claudemar da Silva**, por estar sempre ao meu lado me dando força, incentivo, apoio, muitas vezes acreditando nos meus sonhos mais do que eu, me motivando a buscar sempre mais!

Quero expressar meu sentimento de gratidão a todos os meus amigos que me acompanharam nessa trajetória, em especial ao **Mário Junglos, Fernanda Junglos, Julielen Zanetti, Gláucia Moraes, Eliana Ferreira** pela força e incentivo antes e durante o mestrado.

Meu agradecimento a minha diretora **Rosecléia Escarmanhani** e as minhas companheiras de trabalho pela paciência, compreensão e incentivo em todas as vezes que precisei me ausentar para cumprir meu compromisso com a pós-graduação.

Agradeço imensamente a minha orientadora **Silvana Scalon** pela oportunidade, pelo grande conhecimento transmitido, pela paciência, compreensão e incentivo; a **Daiane Mugnol** por não medir esforços para ajudar a compreender os resultados da pesquisa, pelas aulas de estatísticas e por todas as contribuições que tem feito para a minha dissertação; aos colegas de laboratório **Vanessa de Mauro, Sara Bastos e Lucas Coutinho** pela paciência, disponibilidade, parceria e ensinamentos sobre os aparelhos e as análises.

Minha gratidão a técnica de laboratório de morfoanatomia animal **Taiany** pela disponibilidade, atenção e paciência durante as análises anatômicas; A professora **Mara Mussury** pelo ensinamento sobre a anatomia.

Agradeço a importante contribuição dos participantes da banca do ciclo de avaliação, qualificação e defesa final da dissertação.

Agradeço a **UFGD** por oferecer o programa de pós-graduação em Biologia Geral/Bioprospecção acreditando assim que a formação de cidadãos é o melhor meio de mudar o mundo!

“Desistir... eu já pensei seriamente nisso,
mas nunca me levei realmente a sério; é
que tem mais chão nos meus olhos do
que o cansaço nas minhas pernas, mais esperança
nos meus passos, do que tristeza nos meus ombros, mais
estrada no meu coração do que medo na minha cabeça.”

Cora Coralina

RESUMO

Durante seu ciclo de vida, as plantas nem sempre encontram condições ambientais favoráveis para o seu metabolismo e crescimento. A disponibilidade de água no solo e o sombreamento são fatores abióticos que podem tornar-se estressantes à planta não adaptada ou tolerante, podendo limitar seu crescimento e o desenvolvimento exigindo que o vegetal adote ajustes anatômicos, morfológicos e fisiológicos para garantir sua sobrevivência. Objetivou-se com este trabalho avaliar os parâmetros de crescimento inicial, metabolismo fotossintético, enzimas antioxidantes e a morfoanatomia das mudas de *Cedrela fissilis* Vell. submetidas a diferentes disponibilidades hídricas e níveis de sombreamentos. As mudas foram cultivadas sob alagamento durante 0, 10, 20, 30 e 40 dias e sob condições ambientais naturais recebendo apenas água da chuva (controle). Ambas as condições de disponibilidade hídrica foram conduzidas a pleno sol (0% de nível de sombreamento) e sob telado de 30% e 70% de sombreamento. A simulação do alagamento foi realizada com a água a 5 cm acima da superfície do substrato em piscinas de lona. Foram avaliados trocas gasosas, eficiência quântica do fotossistema II, atividade de enzimas antioxidantes, crescimento inicial e anatomia foliar. Houve redução nas taxas de fotossíntese, transpiratórias e de condutância estomática no decorrer dos 40 dias de avaliação. A eficiência instantânea do uso da água (*EUA*), eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*) e a eficiência de carboxilação da Rubisco (*A/Ci*) foram maiores no nível de 70% de sombra. As plantas cultivadas a pleno sol apresentaram menor eficiência quântica potencial do fotossistema II (*Fv/Fm*) e a concentração interna de CO₂ (*Ci*). As maiores atividades da catalase (*CAT*), superóxido dismutase (*SOD*) e peroxidase (*POX*) foram observadas aos 40 dias para todas as condições de cultivo, sendo superior nas plantas alagadas. Houve aumento da altura (*Alt*), diâmetro do caule, comprimento de raiz (*CR*), área foliar (*AF*), massa seca da parte aérea (*MSPA*) e de raiz (*MSR*), Índice da Qualidade de Dickson (*IQD*) e densidade estomática (*DE*) no decorrer dos 40 dias de avaliação, sendo os maiores valores nas mudas controle em relação as alagadas. A abertura estomática (*AE*) reduziu em todos os tratamentos, sendo menor nas plantas alagadas independente do nível de sombreamento. O índice estomático (*IE*) reduziu no pleno sol e o parênquima paliçádico (*PP*), cutícula adaxial (*Cad*) e a cutícula abaxial (*Cab*) decresceram com o aumento da intensidade de sombreamento. A epiderme abaxial (*Eab*) foi mais espessa aos 40 dias no nível de sombreamento de 70%, a epiderme adaxial (*Ead*) neste mesmo período foi maior na condição de pleno sol e o parênquima lacunoso (*PL*) aos 40 dias foi maior na intensidade de 30% de sombra. Assim, as mudas de *C. fissilis* são sensíveis ao

alagamento do solo por até 40 dias principalmente se o alagamento for associado a maior disponibilidade luminosa. As mudas apresentam maior eficiência de trocas gasosas e atividade antioxidante quando o alagamento é associado ao sombreamento de 70%, onde apresentaram maior crescimento e respostas que induziram as modificações anatômicas. As mudas controle obtiveram melhores resultados de crescimento inicial e qualidade das mudas. Plantas jovens de *C. fissilis* apresentaram alta sensibilidade ao alagamento e a altos níveis de luminosidade, sendo os sintomas agravados quando os fatores são associados.

Palavras-chave: Luminosidade, alagamento, metabolismo fotossintético, enzimas antioxidantes.

ABSTRACT

During your life cycle, the plants not always they find favorable environmental conditions for your metabolism and growth. Soil water availability and shading are abiotic factors that can become stressful to the unadapted or tolerant plant and may limit its growth and development by requiring the plant to adopt anatomical, morphological and physiological adjustments to ensure its survival. The objective of this work was to evaluate the parameters of initial growth, photosynthetic metabolism, antioxidant enzymes and morphoanatomy of *Cedrela fissilis* Vell. under different water availability and levels of shading. The seedlings were cultivated under flooding for 0, 10, 20, 30 and 40 days and under natural environmental conditions receiving only rainwater (control). Both conditions of water availability were conducted in full sun (0% shading level) and under cover of 30% and 70% shading. The flood simulation was performed with water 5 cm above the surface of the substrate in tarpaulin pools. Gas exchange, quantum efficiency of photosystem II, activity of antioxidant enzymes, initial growth and foliar anatomy were evaluated. There was a reduction in the rates of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance during the 40 days of evaluation. The instantaneous efficiency of water use (*EUA*), intrinsic water use efficiency (*EIUA*) and the carboxylation efficiency of Rubisco (*A/Ci*) were higher at the 70% shade level. Plants grown in full sunlight showed lower potential quantum efficiency of photosystem II (*Fv/Fm*) and internal CO₂ concentration (*Ci*). The highest activities of catalase (*CAT*), superoxide dismutase (*SOD*) and peroxidase (*POX*) were observed at 40 days for all cultivation conditions, being higher in flooded plants. There was an increase in height, stem diameter, root length (*CR*), leaf area (*AF*), shoot dry mass (*MSPA*) and root (*MSR*), Dickson Quality Index (*IQD*) and density stomatal (*DE*) during the 40 days of evaluation, being the highest values in the control seedlings in relation to the wetlands. The stomatal opening (*AE*) decreased in all treatments, being lower in floodplains regardless of the level of shading. The stomatal index (*IE*) decreased in the full sun and the palisadic parenchyma (*PP*), adaxial cuticle (*Cad*) and the abaxial cuticle (*Cab*) decreased with increasing shading intensity. The abaxial epidermis (*Eab*) was thicker at 40 days at the 70% shading level, the adaxial epidermis (*Ead*) in this same period was higher in the full sun condition and the lachrymal parenchyma (*PL*) at 40 days was higher in the intensity of 30% shade. Thus, *C. fissilis* seedlings are sensitive to soil flooding for up to 40 days, especially if flooding is associated with greater light availability. The seedlings present greater efficiency of gas exchange and antioxidant activity when flooding is associated with 70% shading, where they presented

higher growth and responses that induced anatomical changes. The control seedlings obtained better results of initial growth and seedling quality. Young plants of *C. fissilis* showed high sensitivity to flooding and high levels of luminosity, and the symptoms are aggravated when the factors are associated.

Keywords: Luminosity, flooding, photosynthetic metabolism, antioxidant enzymes.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REVISÃO DA LITERATURA	15
Alagamento.....	15
Déficit hídrico.....	17
Sombreamento.....	18
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.....	19
OBJETIVOS	20
Objetivo geral.....	20
Objetivos específicos.....	20
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO I: TROCAS GASOSAS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM MUDAS DE <i>Cedrela fissilis</i> Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO	27
Resumo.....	28
1. Introdução.....	29
2. Material e métodos.....	30
3. Resultado.....	34
4. Discussão.....	40
5. Conclusão	46
Referências.....	47
CAPÍTULO II: CRESCIMENTO INICIAL E MORFOANATOMIA EM MUDAS DE <i>Cedrela fissilis</i> Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DESOMBREAMENTO	53
Resumo.....	54
1. Introdução.....	55
2. Material e métodos.....	56
3. Resultado.....	59
4. Discussão.....	72
5. Conclusão.....	78
Referências.....	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

INTRODUÇÃO GERAL

As florestas nativas representadas por diferentes biomas são importantes ecossistemas que há séculos vem sendo explorados de forma devastadora por ações antrópicas. Esse processo de eliminação das florestas movidas pela busca incessante de lucro acarretou um conjunto de problemas ambientais, nesse panorama, as matas ciliares não escaparam da destruição, considerando que inicialmente muitas cidades foram formadas às margens dos rios (ZSCHORNACK; OLIVEIRA, 2017).

As formações vegetais as margens de qualquer curso de água, sejam rios, lagos, ou nascentes desde a borda da calha até o leito regular, são consideradas matas ciliares. Essa vegetação tem função protetora sobre os recursos bióticos e abióticos (SILVA et al., 2011). Diante da importância das matas ciliares, e tendo em vista as perturbações que essa formação vegetal tem sofrido, é necessário aumentar as chances de reconstruir gradualmente os seus ecossistemas degradados e os processos ecológicos. Para isso, o plantio de mudas é um dos métodos bastante eficiente, principalmente para áreas que não demonstram capacidade de auto-recuperação (SILVEIRA et al., 2015). Porém, pode se tornar um processo oneroso caso não seja feito com espécies adequadas ao ambiente, com isso, faz-se necessário o estudo das características adaptativas das espécies para oferecer subsídios para os projetos de recuperação dessas áreas (BRANCALION et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015) garantindo que o plantio das mudas tenha sucesso.

A vegetação característica do ecossistema de mata ciliar é influenciada diretamente pelos fatores ambientais como o nível de luminosidade e o estresse hídrico, estes que por sua vez, determinam o desenvolvimento inicial das mudas em campo (COSTA et al., 2006; LAWSON; BLATT, 2014).

O estresse hídrico por alagamento ou déficit hídrico limita o desenvolvimento inicial de mudas que não são adaptadas ou tolerantes a essas condições, gerando uma diversidade de respostas no aparato fotossintético, metabolismo enzimático, nas taxas de crescimento e morfoanatomia, fatores esses, que são influenciados pela intensidade de luz que estão expostos (GRISI et al., 2011; AROCA et al., 2012; CARON et al., 2014; SARAIVA et al., 2014).

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) é distribuída em todo o Brasil ocorrendo em diversos tipos florestais nas mais variadas condições ambientais, de floresta estacional semidecidual a floresta pluvial atlântica e vegetação de Cerrado, o que justifica estudos para o fornecimento de informações sobre a dinâmica do crescimento da espécie nos locais onde ocorre

(LORENZI, 2008; RAUBER, 2010; CNCFLORA, 2012). A espécie possui alta capacidade de adaptação fisiológica as variações de luminosidade, sendo considerada esciófita quando jovem e heliófita quando adulta (CARVALHO, 2003). Sua madeira está entre as mais importantes madeiras de interesse econômico do Brasil, por esse motivo, a exploração excessiva ao longo de toda a sua ocorrência levou a espécie a estar na Lista vermelha da International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2016), sendo classificada pelo Ministério do Meio Ambiente (2014) como vulnerável na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção.

Grande parte dos seus habitats foram completamente degradados, tendo sido convertidos em áreas urbanas, pastagens e plantações, levando muitas das suas subpopulações à extinção (CNCFLORA, 2012). Devido a esses fatores, *C. fissilis* tem sofrido um declínio populacional de pelo menos 30% ao longo das últimas três gerações, de acordo com pesquisas do CNCFLORA (2012).

Diante as considerações, avaliar a *C. fissilis* submetidas a diferentes níveis de sombreamento e tempos de alagamento e sob condição natura é imprescindível para analisar as respostas da espécie e verificar a viabilidade de utilização desta em áreas de recuperação vegetal sujeita a inundação, garantindo a propagação da espécie. Por isso objetivou-se neste trabalho comprar as trocas gasosas, atividade enzimática antioxidante, crescimento inicial e morfoanatomia foliar de *C. fissilis* em diferentes tempos de alagamento e sob condição ambiente em períodos de baixa precipitação ambos associados a diferentes níveis de luminosidade.

REVISÃO DA LITERATURA

Alagamento

A água desempenha papel fundamental na vida das plantas, pois é um dos principais recursos que ela utiliza para realizar suas reações bioquímicas e, conseqüentemente, para a atividade metabólica celular. Em tecidos de plantas em desenvolvimento, a água pode constituir até 95% da massa dos vegetais em crescimento (KERBAUY, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013), porém a disponibilidade hídrica pode tornar-se um fator limitante para a distribuição das plantas na superfície terrestre.

O alagamento do solo é um dos principais fatores abióticos que limitam o crescimento das plantas, uma vez que, dependendo da sua intensidade e duração, pode promover alterações no metabolismo celular e causar desvios nas condições ótimas de crescimento das plantas. Dessa forma, a sobrevivência das plantas depende, dentre outros fatores, da sua capacidade de crescimento e distribuição de metabólitos para os ramos e raízes (CASTRO et al., 2010), entretanto, a nutrição mineral, produção e alocação de reguladores de crescimento, fotossíntese, respiração e a alocação de carboidratos são fatores que estão diretamente relacionados ao crescimento vegetal, portanto, qualquer condição ambiental que, de alguma forma, se torne estressante para a planta e afete esses fatores, irá interferir no ganho líquido de matéria seca e, conseqüentemente, no crescimento em altura (SILVEIRA et al., 2015).

O crescimento de plantas sob condições de estresse por inundação é limitado, pois o alagamento modifica a atmosfera do solo, reduzindo a disponibilidade de oxigênio para as raízes e a difusão de gases entre o substrato e o ambiente, causando o acúmulo de dióxido de carbono, metano, etileno e gás sulfídrico (PIRES et al., 2002), gerando um ambiente hipóxico ou anóxico. Neste contexto, a combinação da intensidade do estresse e a tolerância da espécie bem como a sua idade podem gerar limitações no crescimento e desenvolvimento da planta (OLIVEIRA; GUALTIERI, 2016). No entanto, algumas espécies arbóreas como *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Guazuma ulmifolia* Lam., *Sebastiania membranifolia* Mull. Arg., têm mostrado que adaptações metabólicas, morfológicas e anatômicas são importantes para garantir a sobrevivência e possibilitar o seu estabelecimento em ambientes com baixa disponibilidade de O₂ (GRISI et al., 2011; SCALON et al., 2011; SILVEIRA et al., 2015).

O fechamento estomático contribui para a redução das trocas gasosas durante o período de hipóxia, gerando prejuízos nas taxas fotossintéticas e refletindo em declínio na transpiração e na condutância estomática (COPOLOVICI; NIINEMETS, 2010). Além do fechamento estomático, a redução da fotossíntese pode estar relacionada as limitações não estomáticas como a diminuição do teor e da atividade da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase e sua regeneração, inibição do transporte fotossintético de elétrons, fosforilação fotossintética e aumento de etileno e outros hormônios endógenos (COPOLOVICI; NIINEMETS, 2010; LIU et al., 2014).

As lenticelas e raízes adventícias são estruturas morfo-anatômicas desenvolvidas pelas plantas durante o alagamento como forma de manter o metabolismo vegetal sob hipoxia, permitindo a difusão de oxigênio pelos tecidos a partir da base do caule (KREUZWIESER; RENNENBERG, 2014). As lenticelas são importantes mecanismos de adaptação da planta, pois além de facilitarem as trocas gasosas com o meio aerado, contribuem para a eliminação dos metabólitos potencialmente tóxicos, como etanol, acetaldeído e o etileno que são produzidos na planta em decorrência da baixa disponibilidade de oxigênio (BAILEY-SERRES; VOESENECK, 2008; KREUZWIESER; RENNENBERG, 2014).

As raízes adventícias por apresentarem alta porosidade por causa dos aerênquimas, permitem a difusão de oxigênio pelos tecidos, produção de fitormônios, absorção de água e nutrientes além da liberação de compostos potencialmente tóxicos (SILVA et al., 2012). Essa estrutura garante que o ajustamento metabólico da planta durante o período de estresse ocorra, mesmo de forma lenta e contínua (KREUZWIESER; RENNENBERG, 2014), sendo um mecanismo adaptativo indicador de que a planta é tolerante ao alagamento, o que não garante tolerância plena ao estresse (LIAO; LIN, 2001) já que nenhuma planta é capaz de sobreviver sem oxigênio por longos períodos.

Variações morfoanatômicas das folhas de angiospermas são, em grande parte, relacionadas com o hábitat, sendo a variação na disponibilidade de água um fator importante que afeta sua forma e estrutura como a área foliar, tamanho e espessura total da lâmina foliar e a densidade estomática, parâmetros utilizados para avaliar o grau de adaptação da planta ao ambiente e prever seu nível de tolerância a ele (GRISI et al., 2011).

O etileno é o principal responsável pelo alongamento do caule em resposta à submersão (SILVEIRA et al., 2015), pois plantas condicionadas ao estresse por inundação tendem a aumentar o nível de etileno em seus tecidos mesmo em pequenas concentrações

pode ser fisiologicamente ativo (TAIZ; ZEIGER, 2013) e desencadear vários processos nas plantas inundadas.

Sob condição de estresse abiótico a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células é aumentada, sendo necessário a ativação do sistema antioxidante enzimático como forma de controle para que as células não sejam danificadas a níveis críticos a ponto de sofrerem morte celular (GILL; TUTEJA, 2010).

Déficit hídrico

A regeneração natural de um fragmento florestal é afetado pelas condições ambientais locais presentes durante o estabelecimento das mudas e pela capacidade adaptativa desta em resistir aos mais variados tipos de estresse, sendo a variação da disponibilidade de água local um fator limitante (SCALON et al., 2011).

A deficiência hídrica destaca-se como um dos principais recursos que afetam a produção vegetal, causando efeitos em diversos processos fisiológicos, sendo importante fator ambiental que compromete a fotossíntese, o crescimento e a produtividade das plantas (ANJUM et al., 2011). O estresse gera desvio das condições ótimas para a vida induzindo mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, a fim de garantir tolerância durante o período de seca, embora a adaptabilidade e grau de tolerância sejam estratégias intrínsecas de cada espécie vegetal (SCALON et al., 2011).

Em condições de redução do teor de água na planta, as taxas de assimilação de CO₂ são negativamente afetadas, principalmente, devido ao mecanismo de fechamento dos estômatos. Com o fechamento estomático, as plantas não só reduzem as perdas de água por transpiração, como também reduzem o suprimento de CO₂ para as folhas e por isso, a produção de biomassa das plantas torna-se comprometida (SILVA et al., 2013). Além disso, dependendo do tempo de estresse, pode ocorrer diminuição da área foliar, aumento do depósito de cera nas folhas, maior crescimento de raízes em profundidade e favorecer a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Plantas com maiores atividades de enzimas antioxidativas como a catalase, peroxidase e superóxido dismutase mostram-se mais tolerantes ao estresse, já que sob condições de déficit hídrico, a produção de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), radical hidroxila (OH⁻) e radical

superóxido (O_2^-) é aumentada podendo causar sérios danos aos lipídios, proteínas e ácido nucleicos (SILVA et al., 2012).

O déficit hídrico pode ser acentuado quando associado a outros fatores ambientais como altos níveis de luminosidade, temperatura do ar e baixa umidade relativa, acelerando o dessecamento dos tecidos foliares, deixando-os ainda mais suscetíveis aos danos fotoquímicos. Assim, quando a quantidade de água no solo é restrita, são produzidas folhas pequenas como forma de contribuir para redução do aquecimento dos tecidos foliares e a transpiração no período mais quente (SCALON et al., 2011).

Sombreamento

O desenvolvimento das plantas está diretamente ligado ao ambiente que habitam e a sua capacidade de se adequar a ele. Dentre os fatores abióticos que podem influenciar na morfologia e fisiologia das plantas, a luz desempenha um papel relevante na regulação fotossintética, contribuindo de forma efetiva para o seu crescimento e desenvolvimento, sendo que o grau de adaptação às condições ambientais é ditado por características genéticas em interação com o meio ambiente (DALMOLIN et al., 2015; SANTOS, 2016).

Desse modo, plantas com estratégias e potencial genético limitado são muito prejudicadas por alterações nos níveis de incidência luminosa (CARVALHO et al., 2012). Nesse contexto, a adaptação das plantas ao ambiente de luz depende do ajuste de seu aparelho fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja utilizada de maneira mais eficiente possível, para que as respostas dessa adaptação sejam refletidas no crescimento global da planta (SANTOS et al., 2006). Por isso são realizadas análises do crescimento de mudas com a finalidade de prever o grau de tolerância das diferentes espécies a diferentes sombreamentos (PIEREZAN et al., 2012).

Além da capacidade de aclimatização da espécie, deve ser levado em conta também a classificação sucessional da muda, pois cada tipo responde de forma variada aos diferentes níveis de sombreamento (COSTA; MARENCO, 2007).

O excesso de luz sobre o aparato fotossintético de mudas não adaptadas a tal ambiente provoca fotoinibição, causando a inativação parcial ou total do fotossistema em razão do aumento súbito na quantidade de luz que chega às folhas, refletindo diretamente na produtividade da planta (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Além disso, a alta incidência

luminosa sobre a folha aumenta a temperatura interna intensificando a taxa respiratória induzindo ao fechamento estomático e conseqüentemente a diminuição da fixação de carbono.

Por outro lado, baixos níveis de luminosidade não fornecem suprimento adequado de energia para as plantas não tolerantes, limitando o funcionamento do aparato fotossintético e conseqüentemente reduzindo as taxas de crescimento do vegetal (CARVALHO et al., 2012). Simulações dos níveis de luminosidade em florestas são importantes para fornecer informações acerca do comportamento fisiológico da espécie em cada ambiente de luz, para técnica de manejo, recuperação e restauração florestal (SANTOS, 2016).

***Cedrela fissilis* Vell.**

Cedrela fissilis Vell. da família Meliaceae, popularmente conhecida por cedro-rosa, cedro-da-várzea, cedrinho e acajatinga é distribuída em todo o Brasil ocorrendo em diversos tipos florestais nas mais variadas condições ambientais, de floresta estacional semidecidual a floresta pluvial atlântica e vegetação de Cerrado, o que justifica estudos para o fornecimento de informações sobre a dinâmica do crescimento da espécie nos locais onde ocorre (LORENZI, 2008; RAUBER, 2010; CNCFLORA, 2012).

A espécie comporta-se como secundária inicial, secundária tardia e clímax devido sua alta capacidade de adaptação fisiológica as variações de luminosidade, sendo considerada esciófita quando jovem e heliófita quando adulta, podendo atingir a altura de 35 m, com tronco de 60-90 cm de diâmetro, durante a fase de maturação dos frutos perde totalmente suas folhas, com período caducifolia variando em função das condições climáticas locais (CARVALHO, 2003; SANTOS et al., 2006; FREIBERGER et al., 2013).

A espécie tem boa tolerância a baixas temperaturas, suportando temperatura mínima absoluta de -11° C registrado na cidade de Xanxerê-SC e em média até 30 geadas anuais, já a temperatura média do mês mais quente para a espécie registrada foi de 27,7°C em Monte Alegre-PA (CARVALHO, 2003). Inoue (1978) constatou que o ótimo da fotossíntese das mudas deste gênero encontra-se a 25°C, e quando sob temperaturas amenas, o aproveitamento da fotossíntese se dá sob maiores níveis de sombreamento.

Sua madeira está entre as mais importantes madeiras de interesse econômico do Brasil, classificada como leve a moderadamente pesada, macia ao corte, com boa durabilidade sendo amplamente empregada na construção civil, naval, aeronáutica e marcenaria em geral, além da espécie ser empregada em projetos paisagísticos e arborização urbana, promissora para os reflorestamentos heterogêneos e sistemas agroflorestais (CARVALHO, 2003; LORENZI,

2008). O chá da casca da *C. fissilis* é utilizado na medicina popular como tônico para pessoas debilitadas, adstringente, no combate a febre e disenterias, artrite e úlceras (CARVALHO, 2003).

Populações densas de *C. fissilis* são inviáveis em razão de danos causados pela lagarta *Hypsipyla grandella* Zell. conhecida como broca-de-cedro capaz de eliminar as populações do gênero *Cedrela*, pois sua atividade afeta as gemas apicais das plantas, inclusive no estágio de muda, por fazerem escavação de galerias na medula para se alimentar, prejudicando o crescimento retilíneo do tronco e o crescimento em altura do cedro (LUNZ et al., 2010; CNCFLORA, 2012; PEREIRA et al., 2016). Em decorrência disso, *C. fissilis* ocorre em uma densidade variando de um a três indivíduos por hectare nas florestas do sul do Brasil, sendo esta baixa densidade uma estratégia natural encontrada pela espécie para evitar o ataque da broca-do-cedro.

A exploração madeireira ao longo de toda a sua ocorrência levou a espécie a estar na Lista vermelha da International Union for Conservation of Nature (IUCN) (2016), sendo classificada pelo Ministério do Meio Ambiente (2014) como vulnerável na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção. Além disso, grande parte dos seus habitats foram completamente degradados, tendo sido convertidos em áreas urbanas, pastagens e plantações, levando muitas das suas subpopulações à extinção. Devido a esses fatores, *C. fissilis* tem sofrido um declínio populacional de pelo menos 30% ao longo das últimas três gerações, de acordo com pesquisas do CNCFLORA (2012).

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento inicial e metabolismo das mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas e níveis de sombreamento.

Objetivo específico

Comparar as trocas gasosas e a atividade de enzimas antioxidantes das mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes tempos de alagamento em período de baixa precipitação, ambos associados a diferentes disponibilidades luminosas.

Avaliar o efeito das diferentes disponibilidades luminosas na mitigação do estresse hídrico.

Comparar o crescimento inicial e mecanismos adaptativos das mudas cultivadas sob diferentes disponibilidades hídricas e luminosas.

REFERÊNCIAS

ANJUM, S. A.; XIE, X. Y.; WANG, L. C.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENECK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p.313-339, 2008.

BARRETO, D. L. **Proposta de Recuperação da Mata Ciliar do Córrego Brejo Comprido Palmas-TO**. 2016. Disponível em: http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2009-2/4-periodo/Proposta_de_recuperacao_da_mata_ciliar_do_corrego_brejo_comprido_palmas-to.pdf> Acesso em: 11/11/2017.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: **Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas**, v. 5, 2002, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SOBRADE/UFLA, 2002. p. 123-145.

BRANCALION, P. H. S.; RIBEIRO RODRIGUES, R.; GANDOLFI, S.; YOSHIO KAGEYAMA, P.; NAVE, A. G.; BERTIN GANDARA, F.; BARBOSA, L. M.; TABARELLI, M. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 455-470, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 2003. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/temp/index_especies.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

CARVALHO, G.; SILVA, C. E. M.; JUSTINO, G. C.; NINA, J. Effect of light environment on growth of young plants of mahogany (*Swietenia macrophylla* King). **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 337-344, 2012.

CASTRO, P. H.; ALVES, J. D.; GOULART, P. D. F. P.; DEUNER, S.; SILVEIRA, N. M.; ZANANDREA, I.; CASTRO, E. M. Características fisiológicas e anatômicas de plantas de sibipiruna submetidas à hipoxia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 70-76, 2010.

CNCFLORA. *Cedrela fissilis* in **Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora**. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela fissilis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela%20fissilis)>. Acesso em: 26 abril 2017.

COPOLOVICI L.; NIINEMETS Ü. Flooding induced emissions of volatile signalling compounds in three tree species with differing waterlogging tolerance. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 9, p. 1582–1594, 2010.

COSTA, A. M.; GOBBI, E. L.; DEMUNER, V. G.; HEBLING S. A. O efeito da inundação do solo sobre o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* (Vell) S. F Blake, guapuruvu. **Naturezaonline**, v. 4, n. 1, p. 7-13, 2006.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229- 234, 2007.

DALMOLIN, A. C.; THOMAS, S. E. DE O.; ALMEIDA, B. C.; ORTIZ, C. E. R. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2015.

FREIBERGER, M. B.; GERRINI, I. A.; GALETTI, G.; FERNANDES, D. M.; CORRÊA, J. C. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385-392, 2013.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GRISI, F. A.; ANGELO, A. C.; BOEGER, M. R. T.; LEITÃO, C. A. E.; GALVÃO, S. F.; WENDLING, I. Morfoanatomia foliar em mudas de *Schinus terebinthifolius* sob diferentes níveis de saturação hídrica. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 881-894, 2011.

INOUE, M, T; **Fundamentos ecofisiológicos para a silvicultura de Cedrela spp.** 91 f. 1978. Tese (Concurso de Professor) – Titular de Silvicultura, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

IUCN – **The IUCN Red List of Threatened Species.** Versão 2016-3. Disponível em < www.iucnredlist.org >. Acesso em 26 de abril de 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2004. 452 p.

KREUZWIESER, J.; RENNENBERG, H. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 10, p. 2245-2259, 2014.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. Proceedings of the National Science Council, Republic of China. **Life Sciences**, v. 25, n. 3, p. 148-157, 2001.

LIU, Z. B.; CHENG, R. M.; XIAO, W. F.; GUO, Q. S.; WANG, N. Effect of off-Season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. **Plos One**. v. 9, n. 9, p. 1-9, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum,. 2008. 368p.

LUNZ, A. M.; THOMAZINI, M. J. T.; MORAES, M. C. B.; NEVES, E. J. M.; BATISTA, T. F. C.; DEGENHARDT, J.; OHASHI, O. S. *Hypsipyla grandella* em mogno (*Swietenia macrophylla*): situação atual e perspectivas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 2, n. 59, p. 45-55, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. **Lista Nacional das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/especies-ameacadas-de-extincao/atualizacao-das-listas-de-especies-ameacadas>>. Acesso em: 26 abril 2017.

Nogueira, A. M. **Mata ciliar na proteção de fluxo de nutrientes em corpos hídricos lacustres.** 2016. 87f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas 2016.

OLIVEIRA, M. C.; PASSOS, F. B.; RIBEIRO, J. F.; AQUINO, F. G.; OLIVEIRA, F. F.; SOUSA, S. R. Crescimento de espécies nativas em um plantio de recuperação de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2015.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Gas exchange in young plants of *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae Juss.) subjected to flooding stress. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 39-49, 2016.

PEREIRA, L. D.; FLEIG, F. D.; MEYER, E. A.; LANZARIN, K.; WOLF, K. Suscetibilidade do cedro ao ataque de pragas em Floresta Estacional Decidual. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 607-614, 2016.

PIEREZAN, L.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Emergência de plântulas e crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 127-133, 2012.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

RAUBER, R. C. **Dendroecologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil.** 2010. 78f. Dissertação. (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SANTOS, D. L. D.; RAKOCEVIC, M.; TAKAKI, M.; RIBASKI, J. Morphological and physiological responses of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae) seedlings to light. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 171-182, 2006.

SANTOS, A. S. **Crescimento e fisiologia de mudas de *Myrocarpus frondosus* Allem. (Fabaceae) e *Luehea divaricata* Mart. & Zucc. (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento.** 2016. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SILVA, B. C.; CAVALCANTE, N. L. G.; ARAÚJO, L. C. **Recuperação da área de preservação permanente do campus da ciência agrárias e ambientais–Facto.** Palmas. 2011.

SILVA, M, F. P.; MEIRA-HADDAD, L. S. A.; BAZZOLLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

SILVA, A. R. A. D.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA FILHO, C. F. D.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. D. Gas exchange in sunflower plants subjected to water deficit at different stages of growth. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVEIRA, N. M.; DONIZETI ALVES, J.; DEUNER, S.; DOUSSEAU, S.; CASTRO HENRIQUE, P. Crescimento e partição de carboidratos em plantas de *Sebastiania membranifolia* submetidas ao alagamento. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 67-74, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

ZSCHORNACK, T.; OLIVEIRA, T. M. N. Monitoramento e análise da qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira no município de Joinville/SC (período 2011-2015). **Acta Biológica Catarinense**, v. 4, n. 3, p. 29-40, 2017.

CAPÍTULO I

TROCAS GASOSAS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

TROCAS GASOSAS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM MUDAS DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

RESUMO

A disponibilidade de água no solo e o sombreamento são fatores abióticos que podem tornar-se estressantes à planta não adaptada ou tolerante, quando submetida a condições desfavoráveis, podendo limitar seu metabolismo e desencadear mecanismos de proteção. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o metabolismo fotossintético e antioxidante das mudas de *Cedrela fissilis* Vell. submetidas a diferentes disponibilidades hídricas e sombreamentos. As mudas foram cultivadas sob alagamento durante 0, 10, 20, 30 e 40 dias e sob condições ambientais naturais recebendo apenas água da chuva (controle). Ambas as condições de disponibilidades hídricas foram conduzidas sob telado de 30% e 70% de sombreamento e a pleno sol (0% de nível de sombreamento). A simulação do alagamento foi realizada com a água a 5 cm acima da superfície do substrato em piscinas de lona. Foram avaliados trocas gasosas, eficiência quântica do fotossistema II e atividade de enzimas antioxidantes. Houve redução nas taxas de fotossíntese, transpiração e de condutância estomática no decorrer dos 40 dias de avaliação. A eficiência instantânea (*EUA*) e intrínseca no uso da água (*EIUA*) e a eficiência de carboxilação da Rubisco (*A/Ci*) foram maiores no nível de sombreamento de 70%. As plantas cultivadas a pleno sol apresentaram os menores resultados para a eficiência quântica potencial do fotossistema II (*F_v/F_m*) e concentração interna de CO₂ (*C_i*). As maiores atividade enzimática da catalase (*CAT*), superóxido dismutase (*SOD*) e peroxidase (*POX*) foram observadas aos 40 dias para todas as condições de cultivo, sendo superior nas plantas alagadas. Plantas jovens de *C. fissilis* apresentaram alta sensibilidade ao alagamento e a níveis altos de luminosidade, sendo os sintomas agravados quando os fatores são associados.

Palavras-chave: Cedro, alagamento, luminosidade, atividade enzimática, fotossíntese.

1. Introdução

As mudanças climáticas têm se acentuado cada vez mais nas últimas décadas em decorrência do aquecimento global, gerando uma complexa relação entre clima e solo, refletindo na diversidade de espécies vegetais que compõe os mais variados ecossistemas, expondo as plantas a constantes períodos de estresse (MARTINAZZO et al., 2013; PINTÓ-MARIJUAN; MUNNÉ-BOSCH, 2014).

A variação da disponibilidade hídrica do solo pode causar diversas respostas em espécies arbóreas, pela limitação gerada no crescimento e produtividade do vegetal (MARTINAZZO et al., 2013), podendo a planta responder de forma positiva ou entrar em colapso por estresse. O estresse hídrico gera uma diversidade de respostas no aparato fotossintético e nas relações hídricas das espécies adaptadas ou não a tal ambiente (AROCA et al., 2012).

Aspectos como condutância estomática, transpiração, taxa de fotossíntese, fluorescência e a atividade enzimática são as principais características que demonstram os efeitos deletérios que o estresse exerce sobre a planta e determinam a capacidade que esta tem de suportar e superar a condição estressante (AROCA et al., 2012; MARTINAZZO et al., 2013; CARON et al., 2014), que pode ser agravada ou não dependendo do tempo e da intensidade.

O nível de luminosidade a que a planta está submetida fornece dados importantes acerca do seu comportamento fisiológico (SARAIVA et al., 2014). As espécies tendem a adaptar-se as variações de intensidade de luz no ambiente, de tal modo que o seu aparelho fotossintético seja ajustado para utilizar eficientemente a radiação disponível, porém essa plasticidade varia de acordo com a espécie, pois está relacionada dentre outros, a fatores genéticos (SCHOCK et al., 2014; SILVA et al., 2015), além das condições abióticas a qual está exposta. A aclimatização ao ambiente de sombreamento é um elemento essencial para o estabelecimento e sucesso de espécies arbóreas (SANTOS et al., 2012).

Cedrela fissilis Vell., (Meliaceae), popularmente conhecida por cedro-rosa, quando adulta é uma planta heliófita de grande porte, distribuída frequentemente do Rio Grande do Sul até Minas Gerais, podendo ser encontrada em menor intensidade em todo o Brasil nas Florestas Semidecídua, Pluvial Atlântica e Cerrado (LORENZI, 2008; CNCFLORA, 2012). Sua madeira está entre as de maior interesse econômico no Brasil, sendo classificada como leve a moderadamente pesada, macia ao corte, com boa durabilidade sendo amplamente empregada na construção civil, naval, aeronáutica e marcenaria em geral, além de ser

promissora para os reflorestamentos heterogêneos. A espécie comporta-se como secundária inicial ou secundária tardia (CARVALHO, 2003; FREIBERGER et al., 2013).

Diante do exposto e com base na literatura consultada, tornam-se necessários estudos sobre a viabilidade da utilização dessa espécie em programas de recomposição vegetal de áreas sujeitas a oscilação na disponibilidade hídrica do solo, como as matas ciliares, garantindo a preservação e propagação dessa espécie. Esses estudos devem fornecer informações de caráter adaptativo, morfológico, anatômico e fisiológico de *C. fissilis* em resposta as diversas condições ambientais.

Assim, objetivou-se nesse trabalho comparar as trocas gasosas e a atividade de enzimas antioxidantes em mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes tempos de alagamento e sob condição ambiente em período de baixa precipitação ambos associados a diferentes disponibilidades luminosas.

2. Material e Métodos

Os frutos maduros de *C. fissilis* foram coletados em julho 2016 de três matrizes adultas com auxílio de um podão, no sítio Nossa senhora Aparecida na Vila Cristina no município de Ivinhema-MS, localizado a 22°21'03.1"S; 53°53'26.4"W. Em seguida foram submetidos à secagem natural em bandejas de polietileno sob sombreamento em local ventilado e revolvidos diariamente a fim de proporcionar secagem uniforme do lote, até a abertura espontânea dos frutos.

As sementes foram beneficiadas com a remoção das alas, e posteriormente semeadas em tubetes de polipropileno 50 x 190 mm contendo substrato Latossolo Vermelho distroférico e areia na proporção de 1:1 (v/v) em uma profundidade de aproximadamente dois centímetros, com o hilo voltado para baixo (SALAMONI et al., 2012).

Aos 60 dias após a emergência, 300 mudas com 130 dias e aproximadamente 10 cm de altura foram transplantadas para vasos com capacidade para 8 L contendo o mesmo tipo de substrato. Para aclimatização, as plantas ficaram durante 70 dias sob telado de 30% e 70% de sombreamento, localizados na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

De acordo com Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Equatorial do Cerrado com inverno seco do tipo (AW), com temperaturas e precipitações médias anuais variando de 22°C e 1500 mm, respectivamente (KOTTEK; GRIESER, 2006; PINTO et al., 2016).

O experimento foi conduzido em níveis de sombreamento de pleno sol (0%), 30% e 70% com 100 mudas cada, sendo 50 alagadas e 50 em condições ambientais hidratadas apenas pela precipitação, sendo caracterizadas como controle. A simulação do alagamento foi realizada com a água a 5 cm acima da superfície do substrato, durante o período de experimento. Os vasos alagados foram mantidos em piscinas de lona durante 40 dias e a troca da água foi realizada semanalmente por mecanismo de drenagem por meio de uma mangueira e assim evitar a propagação de algas, mudanças no pH e a proliferação de larvas de insetos. Um furo na lateral de cada piscina foi realizado a fim de manter um padrão do nível da água.

As avaliações das características não destrutivas como trocas gasosas e eficiência quântica do fotossistema II ocorreram a cada 10 dias, sendo realizadas aos 0, 10, 20, 30 e 40 dias. A quantificação das enzimas antioxidantes foi realizada a cada 20 dias, sendo aos 0, 20 e 40 dias.

As avaliações realizadas foram:

- **Trocas gasosas: taxa fotossintética** ($A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), **transpiração foliar** ($E \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), **condutância estomática** ($g_s \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e **concentração interna de CO_2** ($C_i \mu\text{mol mol}^{-1}$), realizadas utilizando-se analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCI PRO (Analytical Development Co. Ltda, Hoddesdon, UK). As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11h, em uma folha completamente expandida, sendo considerados apenas os dados medidos sob fluxo fotossintético de fótons (FFF) maior que $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir dos dados de trocas gasosas foram calculadas as seguintes relações: **eficiência instantânea do uso da água** ($EUA = A/E \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$), **eficiência intrínseca do uso de água** ($EIUA = A/g_s \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e **eficiência instantânea de carboxilação** ($A/C_i \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$) (ZHANG et al., 2001).

- **Eficiência quântica do fotossistema II:** Obtida por meio de fluorômetro portátil modelo OS-30p (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA), sendo anotadas as medidas de **eficiência quântica potencial do fotossistema II** (F_v/F_m). A determinação da fluorescência foi realizada entre 8 e 11h da manhã, nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações das trocas gasosas, estas 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 adquirissem a condição de “aberto”, ou seja, oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

- **Atividade das enzimas antioxidantes.** A análise enzimática foi realizada conforme a metodologia descrita por Broetto (2014).

Preparo do extrato: Após colhidas as folhas e raízes de *C. fissilis* dos tratamentos, o material foi congelado em nitrogênio líquido. De cada amostra foi pesado um grama para ser macerado em uma solução contendo 0,3 g de polivinilpirrolidona (PVP) diluído em 100 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M) da qual foi adicionada apenas 6 mL. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 4000 rpm por 20 minutos a 4 °C e o sobrenadante utilizado como extrato enzimático.

Atividade da superóxido dismutase (SOD): Para realizar o ensaio da enzima superóxido dismutase, foi preparada uma solução contendo 2,0 mL de L-metionina (13 mM); 2,0 mL de azul de nitrotetrazólio (NBT) (0,44 mM); 2,0 mL de ácido etilenediaminotetracético (EDTA) (100 nM); 3,2 mL tampão fosfato de potássio (0,1 M) e 0,8 mL de riboflavina (1 mM). Em um tubo de ensaio, adicionou-se 3 mL dessa solução para cada repetição e em seguida, 100 µL de extrato enzimático. Os tubos foram levados para BOD (Biochemical Oxygen Demand) contendo lâmpadas fluorescentes de 15W, a 25°C e permaneceram por 15 minutos. Em seguida, os tubos foram retirados da fonte luminosa e a leitura da atividade da SOD foi realizada em espectrofotômetro Bioespectro a 560 nm com três repetições por tratamento. A atividade da SOD foi expressa em unidades de atividade x^{-1} de matéria seca.

Atividade da catalase (CAT): Para realizar o ensaio da enzima catalase, adicionou-se 25 µL de extrato enzimático a 3 mL de peróxido de hidrogênio (12,5 mM) em tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 7,0) a 30 °C. Em seguida, as leituras foram realizadas no espectrofotômetro Bioespectro com absorvância a 240 nm, com três repetições por tratamento. A atividade da catalase foi expressa em unidades $\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$.

Atividade da peroxidase (POX): A atividade da enzima peroxidase determinada através da adição de 2 mL de tampão fosfato de potássio (0,2 M, pH 7,0) e 10 µL de extrato em tubo de ensaio. Os tubos foram levados para banho-maria até a estabilização da temperatura a 25°C. Em seguida, adicionou-se 200 µL de guaicol (0,5%) e 200 µL de peróxido de hidrogênio (0,08%) e imediatamente, realizou-se a leitura na absorvância a 470 nm no espectrofotômetro Bioespectro, com três repetições por tratamento. O resultado foi expresso em $\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo as parcelas as duas disponibilidade hídricas (alagado e controle), as subparcelas os 3 níveis de sombreamento (0%, 30% e 70%), e as subdivididas os 5 períodos de avaliação (0, 10, 20, 30, 40 dias) para as características não destrutivas e os 3 períodos (0, 20 e 40 dias) para as características destrutivas, com 5 repetições de 5 mudas cada.

Os dados não destrutivos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, havendo efeito significativo as médias referentes as disponibilidades hídricas foram submetidas ao teste t de Bonferroni, os níveis de sombreamento submetidos ao teste de Tukey e os tempos de avaliação ajustados por equações de regressão. Os dados destrutivos foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade e, havendo efeito significativo as médias referentes as disponibilidades hídricas foram submetidas ao teste t de Bonferroni e os níveis de sombreamento e períodos de avaliação ao teste de tukey, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

Os dados de temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR%), precipitação (mm) durante o período de experimento encontram-se na Figura 1. Os dados foram obtidos a partir do banco de dados do Guia Clima da Embrapa Agropecuária Oeste (EMBRAPA, 2017).

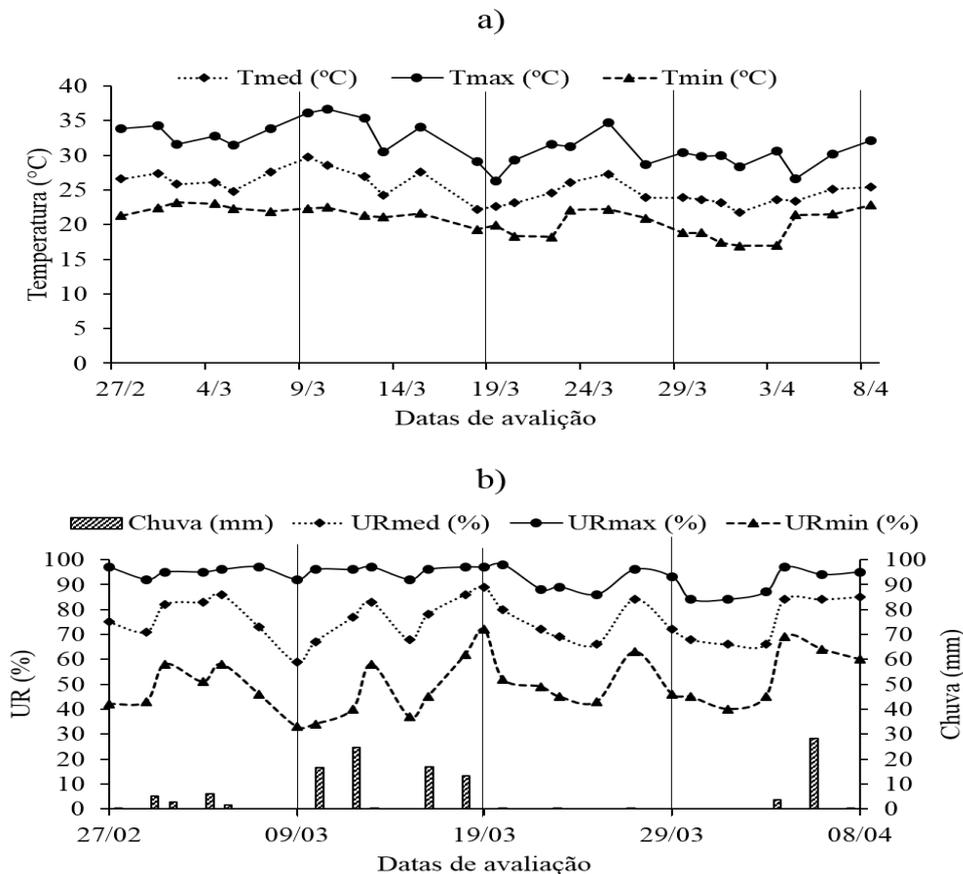


Figura 1. Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin), chuva (mm), umidade média (URmed), mínima (URmin) e máxima (URmax) observados durante o período de condução do experimento (27/02 a 08/04).

3. Resultados

Os resultados de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) das mudas de *C. fissilis* decresceram em todas as condições de cultivo, com tendência de recuperação a partir dos 30 dias, entretanto, essas características se mantiveram mais elevadas nas plantas controle (Figura 2 a, b e c).

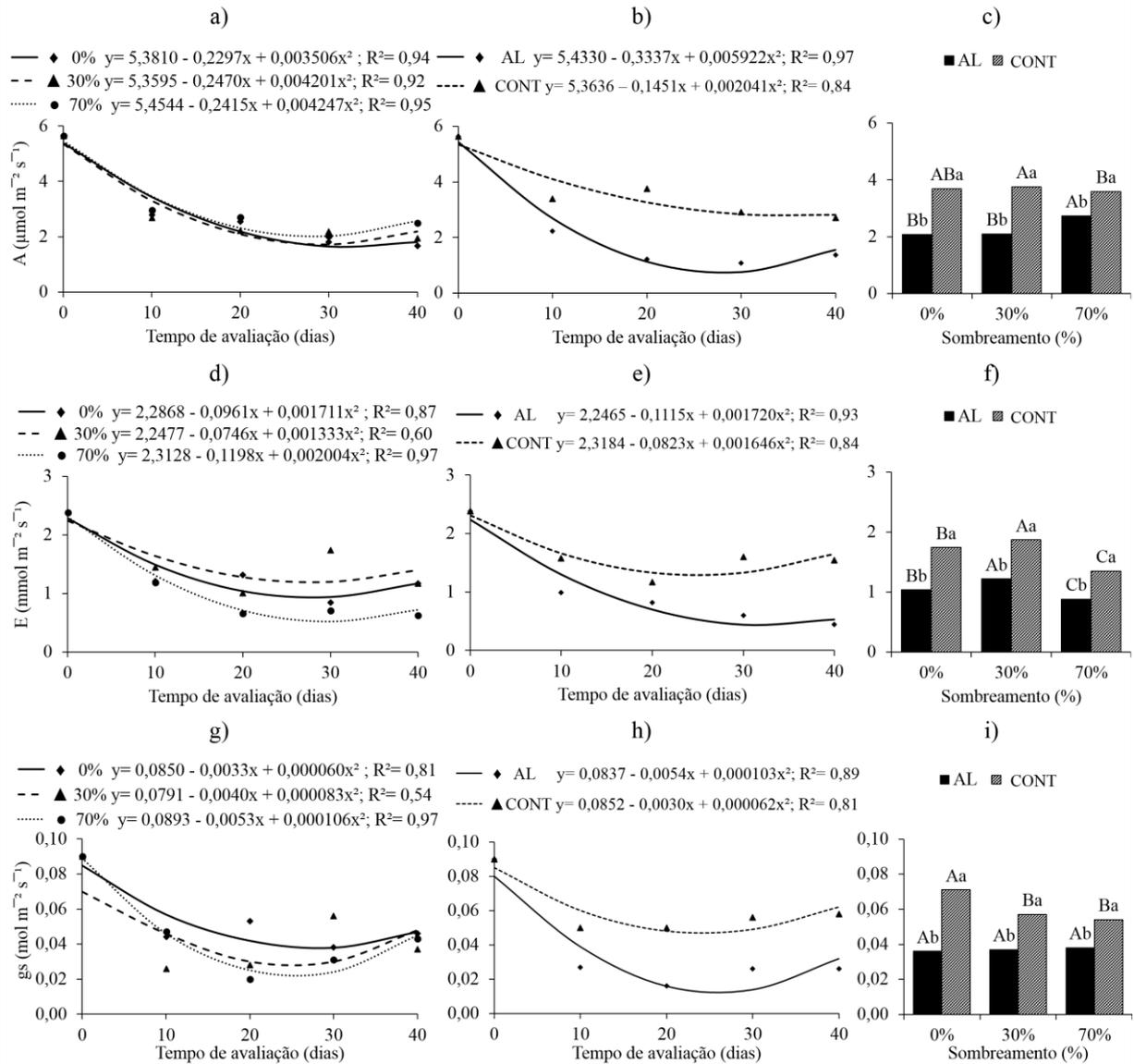


Figura 2. A – fotossíntese (a, b, c), E – taxa de transpiração (d, e, f) e g_s – condutância estomática (g, h, i) de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 10, 20, 30 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (c, f, i) e as letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (c, f, i).

A redução da A ocorreu até os 27 dias para as mudas controle e aos 28 nas alagadas (1,28 e 0,73 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente). As plantas alagadas e com maior nível de sombreamento (70%), apresentaram taxas fotossintéticas elevadas. Na interação dos níveis de sombreamento com as disponibilidades hídricas as maiores taxa fotossintética foram observadas nas mudas controle (Figura 2b, c).

A taxa de E das mudas manteve-se menor sob nível de 70% de sombreamento atingindo ponto mínimo de 0,52 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ aos 29 dias (Figura 2d). As mudas sob alagamento apresentaram valores mínimos de E aos 32 dias (0,43 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e do controle aos 35 dias (1,28 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2e).

As plantas sob o nível de 0 e 30% de sombreamento mantiveram os maiores valores de g_s entretanto, ao final dos 40 dias se igualaram aos demais níveis de sombra (Figura 2 g). As mudas controle apresentaram maior g_s que as sob alagamento, apresentando valores mínimos de 0,048 e 0,012 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (24 e 26 dias, respectivamente) (Figura 2h). A interação entre os níveis de sombreamento com os regimes hídricos não alterou significativamente a g_s das plantas sob alagamento, entretanto, as mudas controle e a nível de pleno sol apresentaram maiores valores (Figura 2i).

A eficiência instantânea no uso da água (EUA) nas mudas de *C. fissilis* aumentou com a redução da E ao longo das avaliações nas condições extremas de disponibilidade de luz (níveis de sombreamento de 70% e 0%) (Figura 3a). Interagindo os níveis de sombreamento com as disponibilidades hídricas, observa-se maior EUA em plantas sob nível de 70% de sombra, tanto no controle quanto no alagado (Figura 3c).

Assim como na EUA , a eficiência intrínseca no uso da água ($EIUA$) das mudas cultivadas ao nível de 70% de sombreamento foi maior durante os 40 dias, atingindo seu ponto máximo (101,47 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) aos 19 dias, seguida pela condição de 30% (82,91 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) aos 10 dias, posteriormente declinando até o final das avaliações, o qual atinge o menor valor quando não sombreado (0%) 32,78 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (Figura 3d).

As mudas do tratamento controle apresentaram maior $EIUA$ que as alagadas após 10 dias de avaliação, mesmo com o declínio dos valores para ambas as disponibilidades hídricas, se equiparando ao final dos 40 dias (Figura 3e).

Analisando a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), nota-se que em todos os níveis de sombreamentos as mudas apresentaram declínio para esta característica no decorrer das avaliações, sendo que foi mais intenso nas condições expostas a maiores níveis de luminosidade (0% de sombreamento) (Figura 3f). De maneira contrária, o cultivo sob nível de 30% de sombreamento proporcionou aumento do F_v/F_m a partir dos 25 dias. As mudas

controle apresentaram maior Fv/Fm que as alagadas no decorrer do experimento (Figura 3g), inclusive quando houve interação entre os níveis de sombreamentos com as disponibilidades hídricas, com exceção do cultivo a nível de 70%, onde as plantas alagadas apresentaram alta relação Fv/Fm (Figura 3h).

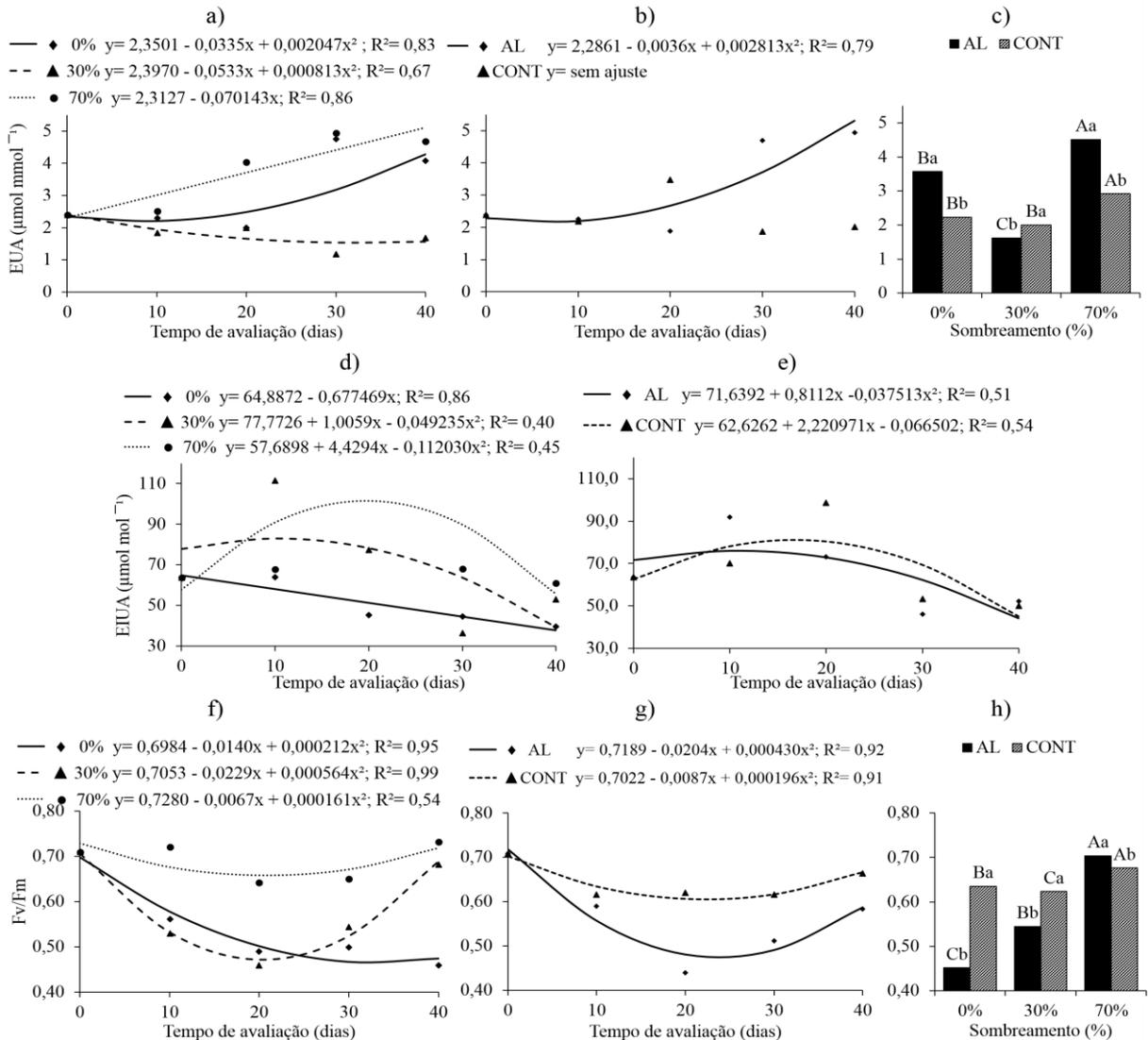


Figura 3. EUA– eficiência do uso da água (a, b, c), EIUA– eficiência intrínseca do uso da água (d, e) e Fv/Fm – eficiência quântica potencial do FSII (f, g, h) de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 10, 20, 30 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (c, h) e as letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (c, h).

A concentração interna de CO_2 (C_i) foi, maior nas mudas com menores níveis de sombreamento (0% e 30%) até os 32 dias, quando comparado ao tratamento 70% (Figura 4a). As plantas alagadas reduziram C_i ao longo do período experimental, atingindo o menor valor aos 40 dias (Figura 4b). Não houve diferença entre os níveis de sombreamento para as mudas controle que apresentaram as maiores C_i , entretanto, as mudas sob alagamento e 30% de sombreamento apresentaram maior C_i (Figura 4c).

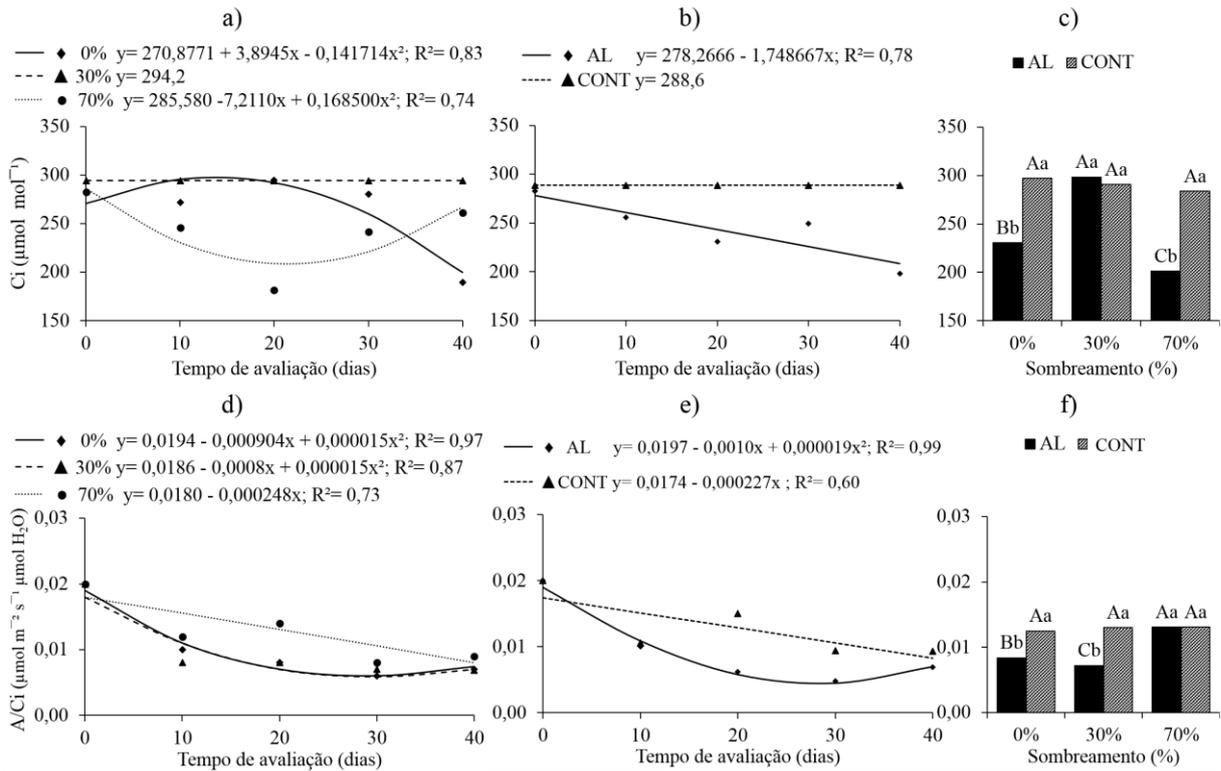


Figura 4. C_i – concentração interna de CO_2 (a, b, c) e A/C_i – eficiência carboxilação da rubisco (d, e, f) de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 10, 20, 30 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam a mesma disponibilidade hídricas nos diferentes níveis de sombreamento (c, f) e as letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (c, f).

A eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (A/C_i) apresentou comportamento inverso ao da C_i , em que os menores valores no decorrer dos 40 dias foram referentes a plantas sob níveis de 30% e 0% de sombreamento (Figura 4d). As plantas de *C. fissilis* do cultivo controle reduziram A/C_i com o passar dos dias, porém mantiveram seus níveis mais altos que plantas sob alagamento, e aos 26 dias apresentaram valores mínimos de $0,0065 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \mu\text{mol H}_2\text{O}$ mas com tendência a recuperação (Figura 4e). Não houve diferença

significativa entre os níveis de sombreamento para as plantas controle, apenas para as alagadas, onde a maior A/Ci foi sob nível de 70% de sombreamento (Figura 4f).

A atividade das enzimas antioxidantes na parte aérea e raiz mostraram interação entre a disponibilidade hídrica e o tempo de avaliação bem como para os níveis de sombreamento e o tempo de avaliação (Figura 5 e 6). Em ambas, a atividade aumentou com o tempo, sendo a maior atividade aos 40 dias (Figura 5b, d, f, 6b, d). Sob condição de alagamento a atividade enzimática foi maior que das mudas controle. Aos 40 dias, a *SOD* e *POX* apresentaram maior atividade nas raízes e na parte aérea das mudas.

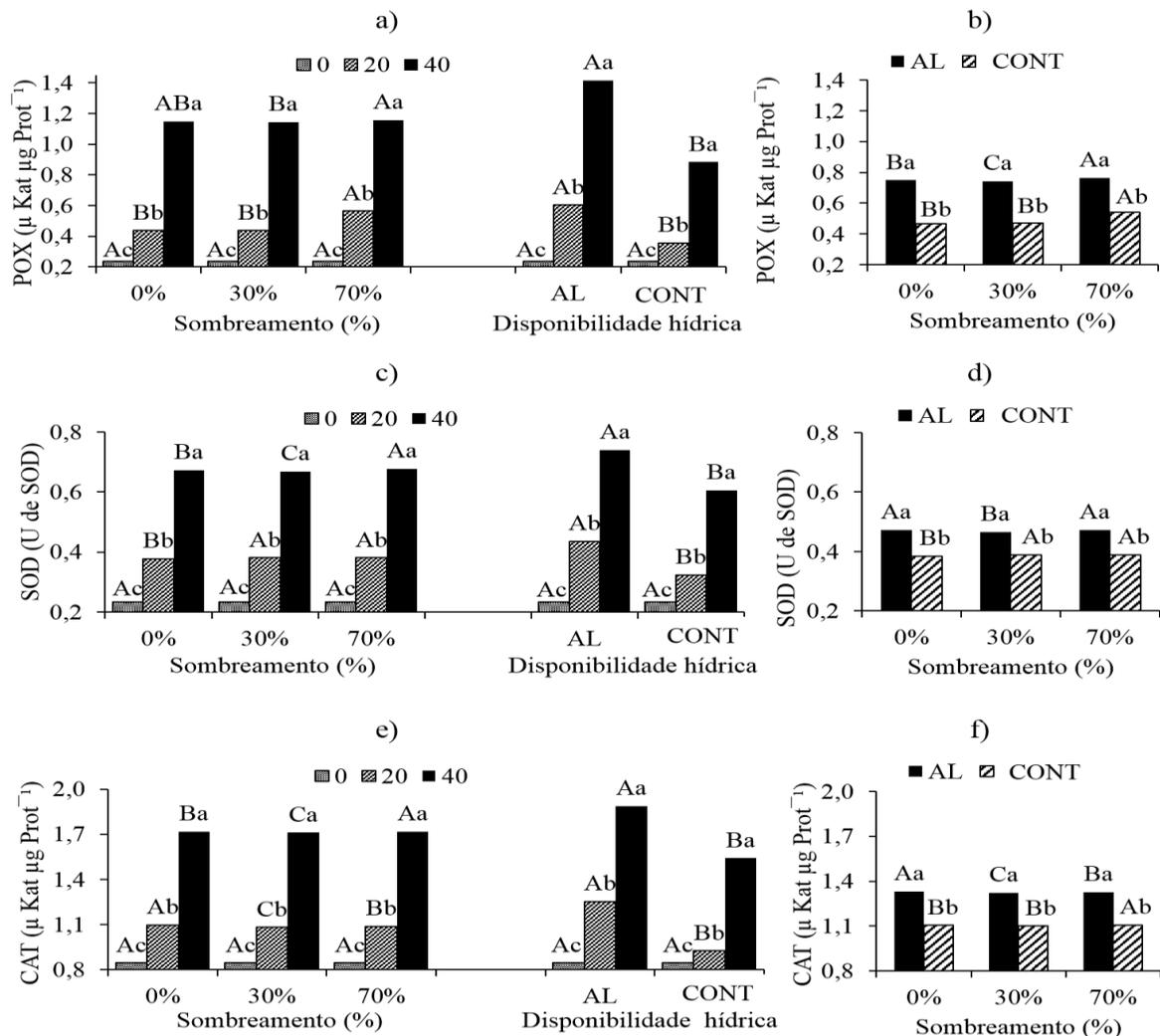


Figura 5. *POX*– peroxidase (a, b), *SOD*– superóxido dismutase (c, d) e *CAT*– catalase (e, f) da parte aérea de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamentos (a, c, e) e disponibilidades hídricas (a, c, e) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d, f). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c, e) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c, e) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d, f).

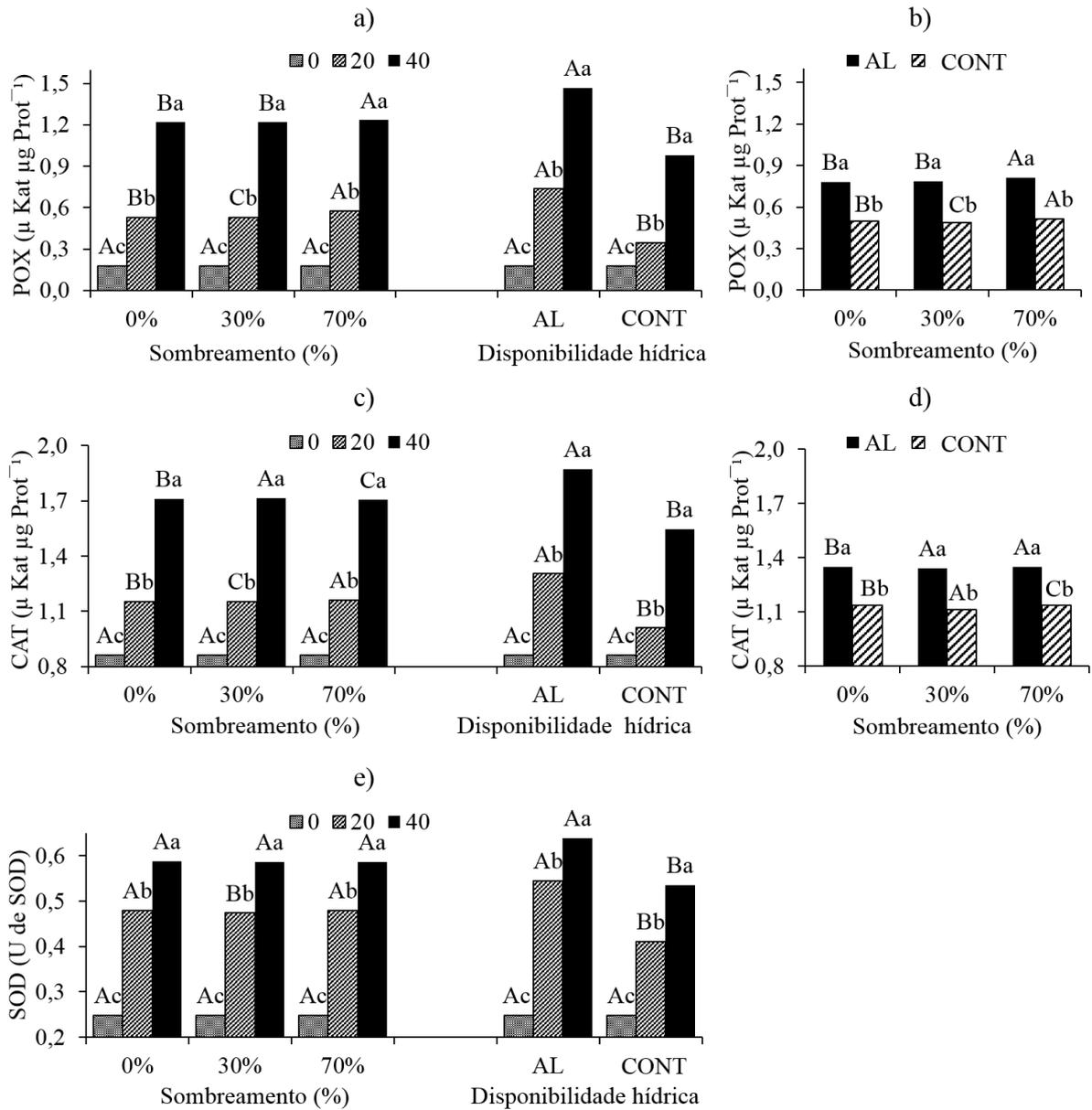


Figura 6. *POX*– peroxidase (a, b), *SOD*– superóxido dismutase (c, d) e *CAT*– catalase (e) da raiz primária de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a, c, e) e disponibilidades hídricas (a, c, e) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c, e) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c, e) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d).

4. Discussão

Os fatores abióticos como níveis de luminosidade, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e disponibilidade hídrica do solo refletem diretamente no desenvolvimento da espécie, contribuindo para o bom desempenho ou levando-a a condição de estresse. Quando o nível de luminosidade é superior ao tolerado pela espécie, a etapa fotoquímica da fotossíntese pode sofrer efeitos deletérios ocasionando fotoinibição (PINTÓ-MARIJUAN; MUNNÉ-BOSCH, 2014; SARAIVA et al., 2014).

A espécie *C. fissilis* possui alta capacidade de adaptação fisiológica a condição de luz, porém quando jovem, apresenta maior crescimento se sombreada, demonstrando a necessidade de cobertura de dossel em seu estágio inicial de crescimento além de solos úmidos e temperaturas não superiores a 27,7 °C (CARVALHO, 2003), fatores esses que explicam a melhor capacidade fotossintética ao longo dos 40 dias sobre os tratamentos sombreados e em solos não hipóxicos.

A hipóxia das raízes gera prejuízo nas taxas fotossintéticas refletindo em declínio na transpiração e na condutância estomática (AROCA et al., 2012), bem como na eficiência de carboxilação da Ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase. A redução das taxas de assimilação de CO₂ como resposta ao alagamento também foi identificada em mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (OLIVEIRA; JOLY, 2010), *Typha domingensis* Pers. (CHEN et al., 2010), *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex. DC. (LIRA et al., 2013) e *Prunus salicina* Lindl. (MARTINAZZO et al., 2013) sendo que foi relacionado pelos autores a fatores estomáticos e não estomáticos, como redução da condutância, aumento da transpiração, fechamento dos estômatos e alteração das enzimas do ciclo de Calvin, conforme também observado para *C. fissilis* neste estudo.

Ao final dos 40 dias em todas as condições de cultivo foram observadas tendências de recuperação da taxa fotossintética e da condutância estomática, fato que pode estar relacionado com o aumento da umidade relativa do ar e do conteúdo de água disponível no solo devido ao aumento da precipitação na época, principalmente no caso das plantas controle as quais só receberam hidratação por meio da água da chuva. A sazonalidade dos elementos climáticos como a temperatura, umidade relativa e a radiação solar podem alterar o comportamento fisiológico dos vegetais (CARON et al., 2014).

Resultado semelhante foi identificado em um experimento com *Khaya ivorensis* A. Chev. em que variação da *gs* das mudas estava diretamente relacionada com a disponibilidade hídrica do solo, em que as plantas sob estresse hídrico por déficit de água obtiveram menores

índices de *gs*, recuperando gradativamente esses valores após a retomada da irrigação (ALBUQUERQUE et al., 2013). Ainda de acordo com os autores, a redução da *gs* em plantas que apresentam sinal de estresse por déficit de água associado a diminuição das taxas fotossintéticas é uma estratégia natural contra a perda excessiva de água via transpiração.

C. fissilis em condições de estresse pelo alagamento independente do grau de sombreamento reduziram sua condutância, mostrando que cada espécie possui características intrínsecas que podem sofrer alterações durante seu estágio de desenvolvimento, estando relacionado com características genéticas ou até mesmo de fatores ambientais (COSTA; MARENCO, 2007).

Resultados semelhantes foram observados em mudas jovens de *Protium heptaphyllum* (Aubl.) Marchand. submetidas ao alagamento do solo em ambiente de sombra moderada e densa, onde também decresceram os valores de *gs* independente do nível de irradiância que estavam submetidas, mostrando que a influência do alagamento neste caso, foi superior a do sombreamento (SANTOS et al., 2012). Plantas jovens de *Curatella americana* L. (DALMOLIN et al., 2015), assim como em *Swietenia macrophylla* King (CARVALHO et al., 2012) submetidas a diferentes níveis de sombreamento apresentaram menores taxas de *gs* quando cultivadas sob menores níveis de irradiância quando comparadas as plantas de cultivo a pleno sol.

O aumento da transpiração em mudas de *C. fissilis* dos tratamentos do nível 30% e 0% de sombreamento podem ter elevado a espessura da camada limítrofe foliar como em *Jatropha curcas* L., aumentando a resistência à entrada de CO₂ através dos estômatos, influenciando na relação entre taxa assimilatória líquida e eficiência de carboxilação (SCHOCK et al., 2014). A menor intensidade de radiação no interior do viveiro sombreado favorece temperaturas menores além de garantir maior umidade ao ambiente, não gerando grandes limitações estomáticas como tentativa de diminuir a perda de água por evaporação, favorecendo consequentemente as taxas fotossintéticas do vegetal que não esteja sob condição de estresse (PIEREZAN et al., 2012; SCHOCK et al., 2014; DALMOLIN et al., 2015). Em contrapartida, plantas que recebem muita luminosidade geralmente exibem maiores fluxos transpiratórios (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2012; SCHOCK et al., 2014).

O aumento do sombreamento em mudas de *Hymenaea courbaril* L., promoveu menores taxas transpiratórias, fato este foi associado às condições ótimas de temperatura e umidade encontrada pela espécie neste sombreamento permitindo maior tempo de abertura estomática quando em menores níveis de luminosidade, já que nesta intensidade de

sombreamento a temperatura local pode ser até 5° C menor que em locais que recebem maior nível de irradiância, conforme FONSECA et al, (2002) citado por PIEREZAN et al, (2012).

Analisando a transpiração de três espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica brasileira, *Pterogyne nitens* Tul., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Myroxylon peruiferum* L. f. em diferentes disponibilidades hídricas, observou-se que houve maior incremento da transpiração com o aumento da radiação solar, entretanto essa resposta decresceu com a variação do status hídrico de cada indivíduo, indicando que plantas com maiores restrições hídricas limitavam a sua abertura estomática para evitar a liberação de água para atmosfera (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2012).

A baixa taxa de transpiração em mudas condicionadas ao alagamento indica também que as plantas possuem bom controle estomático, importante para evitar o murchamento das folhas com a perda excessiva de água (CARVALHO; ISHIDA, 2002). *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex. DC. sob alagamento reduziram suas taxas de *E* ao final dos 90 dias por motivos associados a fatores estomáticos (LIRA et al., 2013).

A redução da disponibilidade de água no solo na condição de cultivo controle nos períodos de menor precipitação pode ter acarretado as maiores reduções das taxas transpiratórias das mudas de *C. fissilis* pelo controle estomático, já que a *E* é regulada por características biológicas associadas a diversos fatores ambientais como níveis de luminosidade, temperatura, quantidade de água no solo, velocidade do vento e umidade (PALHARES et al., 2010).

Fato semelhante foi observado em *Guazuma ulmifolia* Lam. quando aos 60 dias de tratamento, a queda no conteúdo de água no solo acarretou fechamento parcial dos estômatos das mudas implicando na redução da transpiração e assimilação de CO₂ (SCALON et al., 2011). Nas plantas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. submetidas ao déficit hídrico foi observado redução dos valores de *E* cinco dias após o estabelecimento do estresse, decrescendo até os 22 dias finais de tratamento, mostrando que o principal fator para tais resultados foi a disponibilidade hídrica do solo, já que não houve correlação com a temperatura e umidade relativa (SILVA et al., 2003).

A eficiência do uso da água (*EUA*) caracteriza-se como a quantidade de água perdida por evapotranspiração pela planta para a geração de determinada quantidade de matéria seca (MACHADO et al., 2010), representando dessa forma o comportamento momentâneo das trocas gasosas, sendo a espécie classificada como eficiente no uso da água aquela que apresentar os maiores registros dessas taxas.

A *EUA* nas mudas de *C. fissilis* se mostrou contrária a transpiração. Plantas de *Guazuma ulmifolia* Lam. (SCALON et al., 2011) e *Calophyllum brasiliense* Cambess. (SARAIVA et al., 2014) apresentaram resultados similares em que a maior eficiência no uso da água ocorreu no período em que a transpiração foi menor, demonstrando que as duas variáveis são inversamente proporcionais. Assim, quando em condição de estresse, a fim de otimizar a eficiência do uso da água, o controle estomático é um mecanismo suporte para manter o teor hídrico nas folhas já que o aumento da transpiração reduz essa variável, além de que, o declínio na condutância estomática em plantas estressadas pode ter efeito protetor, permitindo à planta economizar e melhorar a eficiência do uso da água. (CHAVES et al., 2009; CARON et al., 2014).

A eficiência intrínseca no uso da água (*EIUA*) é definida como a relação entre a assimilação de carbono advindo da fotossíntese e a condutância estomática (A/g_s), sendo esse um parâmetro importante para ditar a capacidade da espécie de se estabelecer em ambientes com limitações de recursos, principalmente hídricos (CERNUSAK et al., 2006).

Assim como em *C. fissilis*, os valores de *EIUA* em *Carica papaya* L. foram cerca de 50% superiores em época seca, fato decorrente da regulação estomática para evitar saída da molécula de água da folha, além do decréscimo da condutância estomática ocorrer primeiro que a assimilação fotossintética de carbono, elevando assim, a intensidade de *EIUA* (MACHADO FILHO et al., 2006).

Mudas de *C. fissilis* a 0% de nível de sombreamento obtiveram as menores taxas de *EIUA* ao longo do experimento, independente do regime hídrico que estavam submetidas. Resultado semelhante foi obtido com plantas adultas de clones de *Anacardium occidentale* L. (CCP 76 e BRS 189) cultivadas sob regime irrigado e não irrigado, sombreadas e a pleno sol, sendo as folhas que não receberam sombreamento de ambos os clones, apresentaram menor eficiência intrínseca do uso da água, mesmo quando irrigadas (LIMA et al., 2010).

O valor da relação F_v/F_m reflete a eficiência quântica potencial do PSII, sendo usado como um indicador sensível do desempenho fotossintético da planta (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). A variação da eficiência quântica do fotossistema II nos diferentes tipos de sombreamentos no decorrer do experimento pode estar relacionado a diferentes tipos de fotoinibição desenvolvidos pelas plantas, pois cada espécie utiliza diferentes estratégias para controlar os efeitos deletérios causados em suas estruturas, podendo haver mudança nos parâmetros para indivíduos de uma mesma espécie em diferentes condições, a fim de terem melhor desempenho nas condições reinantes (TIKKANEN et al., 2012; SARAIVA et al., 2014).

Condições climáticas como variação do período de chuvas, temperatura, irradiância, umidade além de fatores genotípicos, fenotípicos e fisiológicos contribuem para instabilidade da eficiência quântica do fotossistema II dos vegetais (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; SARAIVA et al., 2014). A exposição das folhas a alta luminosidade é passiva a fotoinibição, pois muitos dos efeitos do excesso de luz se dão no PSII tanto do lado doador quanto do receptor, sendo reversível nos primeiros estágios como no caso do tipo dinâmico, mas quando em estágios mais avançados ela pode se tornar irreversível como a fotoinibição crônica (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Ainda de acordo com os autores em sua revisão, o PSII é mais sensível ao calor que o PSI, já que aumento da temperatura bloqueia os centros de reação do PSII e causa dissociação do complexo proteína-pigmentos da antena do núcleo central do aparato coletor de luz do PSII, sendo a proteína D1 umas das principais estrutura danificadas pelo excesso de luminosidade associada a elevada temperatura, devendo ser substituída por outra cópia, pois é o único componente que não pode ser reciclado.

A menor eficiência quântica do PSII em mudas de *C. fissilis* em condição alagada e com índices crescentes de nível de irradiância no decorrer do experimento, está diretamente relacionada com efeito duplo de estresse nas mudas, sendo o luminoso e o hipóxico associados simultaneamente. Resultado semelhante foi encontrado em plantas de *Genipa spruceana* Steyererm quando totalmente e parcialmente alagadas apresentaram valores inferiores a 0,7 na relação Fv/Fm (GONÇALVES et al., 2012).

A concentração interna de CO_2 apresentou-se maior para as condições menos sombreadas até os 32 dias, indicando queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 (KLEIN et al., 2016). Em todas as condições luminosas testadas houve redução na eficiência da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) com tendência de recuperação após os 30 dias de alagamento e sob maior disponibilidade de luz, resultado sendo esse mesmo comportamento observado na condutância estomática, sugerindo assim que as plantas podem ter algum mecanismo de adaptação a essa condição de cultivo.

Os menores valores observados na concentração interna de CO_2 na cavidade subestomática da folha 70% sombreada no decorrer do experimento, podem estar relacionados aos maiores índices fotossintéticos, sendo que o aumento da concentração nesta condição ao final do experimento não foi causada por fechamento estomático, mas por outros fatores responsáveis pela assimilação do carbono no mesófilo (LIRA et al., 2013; KLEIN et al., 2016), como por exemplo a redução da eficiência de carboxilação da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase. A eficiência de carboxilação da Rubisco foi inversa à C_i , em que as menores eficiências no decorrer dos 40 dias foram observadas em plantas sob 30%

e 0% de sombreamento, indicando que as reações bioquímicas da fotossíntese foram afetadas (SCHOCK et al., 2014).

A pressão do dióxido de carbono nos espaços intercelulares é definida pelo balanço entre o consumo desse gás pela fotossíntese e a sua reposição, neste contexto, exemplares de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. submetidos a anoxia, aumentaram a concentração interna de CO₂ nas folhas ao longo do experimento, o que foi relacionado a outros fatores e não ao fechamento estomático (LIRA et al., 2013).

A menor concentração de carbono em plantas alagadas pode ser atribuída a pouca capacidade de estocagem deste elemento devido ao fechamento estomático gerado pelo estresse, e pelo contínuo consumo do CO₂ previamente armazenado (KLEIN et al., 2016). Exemplares de *Prunus salicina* Lindh. apresentaram resultado semelhante, em que houve decréscimo na concentração interna de CO₂ das mudas sob alagamento decorrente de limitações estomáticas (MARTINAZZO et al., 2013).

Fatores como a luz, limitação pela utilização de trioses fosfato, transporte de elétrons para o NADPH, síntese de ATP e enzimas do ciclo de Calvin influenciam diretamente na capacidade de regeneração da molécula de ribulose 1,5 bifosfato (Rubisco) que deve sofrer esse processo para cada molécula usada na reação de carboxilação ou oxigenação (SCHOCK et al., 2014). De acordo com o mesmo autor, o declínio da assimilação sob alta concentração interna de CO₂ é uma característica de limitação pela utilização de triose fosfato, o que pode ter ocorrido para *C. fissilis*, em que as condições com maiores taxas de *C_i* apresentaram menor relação *A/C_i*.

Outro aspecto a ser considerado para as mudas alagadas é a possibilidade de redução de N foliar (que na presente pesquisa não foi avaliado), pois sob hipóxia/anoxia as raízes ficam debilitadas não conseguindo absorver e translocar nutrientes minerais para a parte aérea, minimizando a síntese da Rubisco (LIU et al., 2014).

As mudas de *C. fissilis* alagadas apresentaram maiores atividades enzimáticas que sob controle, demonstrando que a atividade das enzimas nessa condição foi incrementada pela exposição ao alagamento, sendo uma estratégia para impedir o aumento descontrolado de radicais livres nas células. Espécies reativas de oxigênio (EROs) são continuamente produzidas durante o metabolismo normal da planta, porém quando em condições estressantes a produção é aumentada, sendo necessário a ativação do sistema antioxidante enzimático como forma de controle para que as células não sejam danificadas a níveis críticos a ponto de sofrerem morte celular. Mudanças de *Coffea arabica* L. cultivar Catuaí apresentaram resultado semelhante na atividade enzimática quando submetidas ao encharcamento do solo contínuo,

elevando a atividade da *CAT* e *SOD* durante o período de experimento, resultado da mobilização do sistema de defesa antioxidante para proteger as células contra a produção excessiva de EROs, evitando a ocorrência do estresse oxidativo nas mudas (SILVEIRA et al., 2015).

Entretanto, ressalta-se que as mudas controle também apresentaram aumento na atividade enzimática, e sugerimos que esse resultado foi devido ao estresse que as plantas sofreram por falta de chuva nesse período associada a elevação da temperatura, fatores que podem induzir o aumento de espécies reativas de oxigênio, conforme observado para porta enxertos de *Prunus L.* cv. Mirabolano 29-C sob estresse hídrico (MESSCHMIDT et al., 2015).

As mudas de *C. fissilis* durante os 40 dias de avaliação, foram mais tolerantes a condição de cultivo controle, sujeito a déficits hídricos temporários com irrigação irregular ao longo do período, além disso, a exposição direta aos raios solares reduziu a eficiência fotoquímica, entretanto não causou danos irreversíveis pois após 30 dias de cultivo, o aparato fotoquímico tendeu a se recuperar.

O comportamento das mudas diante dos níveis de sombreamento confirma informações da literatura nas quais a espécie tende ser secundária (CARVALHO, 2003; FREIBERGER et al., 2013).

5. Conclusão

As mudas de *C. fissilis* são sensíveis ao alagamento do solo por até 40 dias principalmente se o alagamento for associado a maior disponibilidade luminosa. As mudas apresentam maior eficiência de trocas gasosas e atividade antioxidante quando o alagamento é associado ao sombreamento de 70%.

As mudas controle apresentam maior eficiência de trocas gasosas e menores sinais de estresse sob sombreamento de 30%.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- AROCA, R.; PORCEL, R.; LOZANO-RUIZ, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43–57, 2012.
- BROETTO, F. **Método de trabalho em bioquímica vegetal e tecnologia de enzimas**. São Paulo: Editora UNESP, 2014. 87p.
- CARON, B.O.; PERRANDO, E. R.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELLI, E. F.; ELOY, E. Relações fisiológicas em mudas de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. v. 16, n. 2, p. 196-201, 2014.
- CARVALHO, C. J. R.; ISHIDA, F. Y. Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) jovens ao alagamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1231-1237, 2002.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 2003. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/temp/index_especies.htm>. Acesso em: 06/08/2017.
- CARVALHO, G.; DA SILVA, C. E. M.; JUSTINO, G. C.; NINA, J. Effect of light environment on growth of young plants of mahogany (*Swietenia macrophylla* King). **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 337-344, 2012.
- CERNUSAK, L. A.; ARANDA, J.; MARSHALL, J. D.; WINTER, K. Large variation in whole-plant water-use efficiency among tropical tree species. **New Phytologist**, v. 173, n. 2, p. 294-305, 2006.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHEN, H.; ZAMORANO, M. F.; IVANOFF, D. Effect of flooding depth on growth, biomass, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of *Typha domingensis*. **Wetlands**, v. 30, n. 5, p. 957-965, 2010.

CNCFLORA. *Cedrela fissilis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela fissilis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela%20fissilis)>. Acesso em: 26 abril 2017.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229- 234, 2007.

DALMOLIN, A. C.; THOMAS, S. E. O.; ALMEIDA, B. C.; ORTIZ, C. E. R. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2015.

EMBRAPA. **Guia clima**. Disponível em: <<http://mob.cpao.embrapa.br/?lc=site/bancodados/construtor-horaria>> acessado em: 19/08/2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-1012, 2014.

FREIBERGER, M. B.; GERRINI, I. A.; GALETTI, G.; FERNANDES, D. M.; CORRÊA, J. C. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385-392, 2013.

GONÇALVES, J. F. D. C.; MELO, E. G. D. F.; SILVA, C. E. M. D.; FERREIRA, M. J.; JUSTINO, G. C. Estratégias no uso da energia luminosa por plantas jovens de *Genipa*

spruceana Steyererm submetidas ao alagamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 391-398, 2012.

KLEIN, J.; RAMPIM, L.; KESTRING, D.; GUIMARÃES, V. F.; RODRIGUES, J. D. Influência de protetores físicos coloridos nas trocas gasosas em mudas de canafístula [*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.]. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 797-809, 2016.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 15, n. 3, pg. 259 – 263, 2006.

LIMA, M. D. A.; BEZERRA, M. A.; FILHO, E. G.; PINTO, C. D. M.; FILHO, J. E. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

LIRA, J. M. S.; FERREIRA, R. A.; JUNIOR, S.; SANTOS NETO, E. M. D.; SANTANA, W. D. S. Analysis of growth and gas exchange of plants *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) DC in flooding for the recovery of the riparian forests. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 655-665, 2013.

LIU, Z.; CHENG, R.; XIAO, W.; GUO, Q.; WANG, N. Effect of off-season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. **Plos One**, v. 9, n. 9, p. 1-9, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 368p.

MACHADO FILHO, J. A.; CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K.; FAGUNDES, G. R. Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 185-196, 2006.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S.; FREITAS, F. C. L. Eficiência fotossintética e uso da água em

plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V. D.; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 35-41, 2013.

MESSCHMIDT, A. A.; BIANCHI, V. J.; ZANANDREA, I.; MARTINAZZO, E. G.; RADMANN, E. B.; BACARIN, M. A. Trocas gasosas e atividade antioxidante de portaenxertos de *Prunus* spp. submetidos ao estresse seca e alagamento. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 114, n. 1, p. 71-81, 2015.

OLIVEIRA, V. C.; JOLY, C. A. Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses. **Trees**, v. 24, n. 1, p. 185-193, 2010.

PALHARES, D.; FRANCO, A. C.; ZAIDAN, L. B. P. Respostas fotossintéticas de plantas do cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 2, p. 213-220, 2010.

PIEREZAN, L.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Emergência de plântulas e crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 127-133, 2012.

PINTÓ-MARIJUAN, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Photo-oxidative stress markers as a measure of abiotic stress-induced leaf senescence: advantages and limitations. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 14, p. 3845–3857, 2014.

PINTO, J. V. C.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; FORMAGIO, A. S. N.; CARDOSO, C. A. L.; CARNEVALI, T. O. Effect of Soil Nitrogen and Phosphorus on Early Development and Essential Oil Composition of *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 19, n. 1, p. 247-257, 2016.

SALAMONI, A. T.; CANTARELLI, E. B.; MÜLLER, G.; WEILER, E. Germinação e desenvolvimento inicial de *Cedrela fissilis* Vell. em diferentes substratos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 978, 2012.

SARAIVA, G. F.; SOUZA, G. M.; RODRIGUES, J. D. Aclimatação e fisiologia de mudas de guanandi cultivadas em telas de sombreamento foto-protetoras. **Colloquium Agrariae**. v. 10, n. 2, p. 01-10, 2014.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. DE M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SCHOCK, A. A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E. G.; SILVA, D. M.; BACARIN, M. A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-mansão cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 3-9, 2014.

SANTOS, T. A.; MIELKE, M. S.; PEREIRA, H. A. S.; GOMES, F. P.; SILVA, D. D. C. Leaf gas exchange and growth of *Protium heptaphyllum* March (Burseraceae) seedlings subjected to soil flooding under two light environments. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 93, p. 47-56, 2012.

SILVA, E. C. D.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D. D.; SANTOS, V. F. D. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 2, p. 231-246, 2003.

SILVA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. P. Q. Effect of shade on emergence, initial growth, and seedling quality in *Physocalymma scaberrimum*. **Brazilian Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 185-191, 2015.

SILVEIRA, H. R. O.; SOUZA, K. R. D.; ANDRADE, C. A.; SANTOS, M. O.; RODRIGUES-BRANDÃO, I.; SILVA, D. M.; ALVES, J. D. Sistema antioxidante de mudas de cafeeiro submetidas ao excesso de água. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 437-444, 2015.

TIKKANEN, M.; GRIECO, M.; NURMI, M.; RANTALA, M.; SUORSA, M.; ARO, E. M. Regulation of the photosynthetic apparatus under fluctuating growth light. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 367, n. 1608, p. 3486-3493, 2012.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Ecofisiologia de três espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica do Brasil em diferentes regimes de água. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 85, 2012.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday high irradiance. **Photosynthetica**, v. 39, n. 3, p. 383-388, 2001.

CAPÍTULO II

**CRESCIMENTO INICIAL E ANATOMIA FOLIAR DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO**

CRESCIMENTO INICIAL E ANATOMIA FOLIAR DE *Cedrela fissilis* Vell. SOB DISPONIBILIDADES HÍDRICAS E NÍVEIS DE SOMBREAMENTO

RESUMO

A capacidade de adaptação às variações ambientais como níveis de luminosidade e disponibilidades hídricas ditam o nível de tolerância da planta ao estresse. Objetivou-se com este trabalho, avaliar o crescimento inicial e morfoanatomia de *Cedrela fissilis* Vell. submetidas a diferentes disponibilidades hídricas e níveis de sombreamento. As mudas foram cultivadas sob alagamento durante 0, 10, 20, 30 e 40 dias e sob condições ambientais naturais recebendo apenas água da chuva (controle). Ambas as condições de disponibilidades hídricas foram conduzidas a pleno sol e sob telado de 30% e 70% de sombreamento. A simulação do alagamento foi realizada com a água a 5 cm acima da superfície do substrato em piscinas de lona. Foram avaliados parâmetros de crescimento inicial, morfologia e anatomia foliar. Houve aumento da altura, diâmetro do caule, comprimento de raiz, área foliar, massa seca da parte aérea e de raiz, Índice da Qualidade de Dickson e densidade estomática no decorrer dos 40 dias de avaliação, sendo os maiores valores observados nas mudas controle. A abertura estomática reduziu em todos os tratamentos, sendo menor nas plantas alagadas independente da intensidade do nível de sombreamento. O índice estomático foi menor a 0% de nível de sombreamento (pleno sol). O parênquima paliçádico, cutícula adaxial e cutícula abaxial decresceram com o aumento da intensidade do sombreamento. Epiderme abaxial foi mais espessa aos 40 dias no nível de sombreamento 70%, a epiderme adaxial neste mesmo período foi maior sob pleno sol e o parênquima lacunoso aos 40 dias foi maior no nível de sombreamento 30%. Mudas de *C. fissilis* quando alagadas e sombreadas a 70% apresentaram maior crescimento e respostas que favoreceram as condições anatômicas.

Palavras-chaves: Cedro, estresse abiótico, morfoanatomia, plasticidade fisiológica.

1. Introdução

As formações florestais vêm sofrendo grande pressão antrópica nas últimas décadas decorrentes do processo de desmatamento desenfreado para fins agropecuários, extração de matéria prima e processo de expansão urbana (LENHARD et al., 2010). Diante do exposto, projetos de recomposição de cobertura vegetal estão sendo implantados, em sua maioria por exigências da legislação nacional vigente.

Estudos sobre a adaptação de espécies nas mais variadas condições ambientais são essenciais, já que fatores abióticos como excesso ou falta de água e níveis de luminosidade são determinantes para o estabelecimento da planta no ambiente em que foi condicionada (LAWSON; BLATT, 2014). Alterações no crescimento e desenvolvimento do vegetal estão relacionados a possíveis mecanismos de tolerância a fim de suportar o período de estresse (BINOTTO et al., 2016).

Os fatores ambientais exercem forte influência sobre a anatomia do vegetal, sendo a lâmina foliar a estrutura que mais se modifica em resposta às alterações ambientais, tanto no estágio inicial de desenvolvimento quanto no adulto devido sua alta plasticidade morfoanatômica (NERY et al., 2007; SANTOS et al., 2014).

O alagamento do substrato temporário ou permanente limita a vida de inúmeras espécies vegetais, exigindo que as plantas desenvolvam estratégias adaptativas morfológicas, anatômicas e fisiológicas para superar a falta de oxigênio do solo inundado e manter o seu metabolismo para garantir a sobrevivência durante o período de estresse, sendo a intensidade e a amplitude da inundação fatores importantes que ditam as respostas dos vegetais (GRISI et al., 2011; BINOTTO et al., 2016). Do mesmo modo, mudas estabelecidas em ambientes com pouca quantidade de água no solo possuem seu crescimento e desenvolvimento afetados, sendo a redução do investimento em biomassa de folha e caule e incremento em sistema radicular indicativos de mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (DUTRA et al., 2012).

Espécies arbóreas apresentam respostas variadas em relação à alteração na disponibilidade de luz, podendo esse ser também um fator estressante ao vegetal não adaptado dependendo do nível de irradiância a qual esteja submetido (LAWSON; BLATT, 2014). Para enfrentar a adversidade luminosa do ambiente, as plantas desenvolvem adaptações intrínseca na estrutura foliar tanto na fase inicial quanto na fase adulta, sendo esse mecanismo um atributo comum de espécies com amplo potencial de aclimatação, otimizando, portanto, a absorção e utilização da luz disponível no ambiente refletindo no crescimento global da planta (LACHER, 2004; BONAMIGO et al., 2016).

Cedrela fissilis Vell., conhecida como cedro-rosa, cedro-da-várzea, cedrinho, é uma espécie promissora para os reflorestamentos heterogêneos, já que pode ser encontrada em diversos tipos florestais nas mais variadas condições ambientais, desde floresta estacional semidecidual a floresta pluvial Atlântica e vegetação de Cerrado (LORENZI, 2008; CNCFLORA, 2012). Estudos sobre a viabilidade da utilização dessa espécie em programas de recomposição vegetal de áreas que passam por períodos de variação nas disponibilidades hídricas dos solos são necessários, o que viabilizaria projetos de recomposição do ambiente garantindo a propagação e preservação dessa espécie, além de gerar informações de caráter adaptativos, morfológicos, anatômico e fisiológicos de *C. fissilis* em resposta as diversas condições ambientais.

Assim, objetivou-se neste trabalho avaliar o crescimento inicial e anatomia de *Cedrela fissilis* Vell. submetidas a diferentes disponibilidades hídricas e níveis de sombreamento.

2. Material e Métodos

Os frutos maduros de *C. fissilis* foram coletados em julho 2016 de três matrizes adultas com auxílio de um podão, no sítio Nossa senhora Aparecida na Vila Cristina no município de Ivinhema-MS, localizado a 22°21'03.1"S; 53°53'26.4"W. Em seguida foram submetidos à secagem natural em bandejas de polietileno sob sombreamento em local ventilado e revolvidos diariamente a fim de proporcionar secagem uniforme do lote, até a abertura espontânea dos frutos.

As sementes foram beneficiadas com a remoção das alas, e posteriormente semeadas em tubetes de polipropileno 50 x 190 mm contendo substrato Latossolo Vermelho distroférico e areia na proporção de 1:1 (v/v) em uma profundidade de aproximadamente dois centímetros, com o hilo voltado para baixo (SALAMONI et al., 2012).

Aos 60 dias após a emergência, 300 mudas com aproximadamente 10 cm de altura foram transplantadas para vasos com capacidade para 8 L contendo o mesmo tipo de substrato. Para aclimatização, as plantas ficaram durante 70 dias sob telado de 30% e 70% de sombreamento, localizados na Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

De acordo com Köppen-Geiger, o clima da região é classificado como Equatorial do Cerrado com inverno seco do tipo (AW), com temperaturas e precipitações médias anuais variando de 22°C e 1500 mm, respectivamente (KOTTEK; GRIESER, 2006; PINTO et al., 2016).

O experimento foi conduzido em níveis de sombreamento de pleno sol (0%), 30% e 70% com 100 mudas cada, sendo 50 alagadas e 50 em condições ambientais naturais hidratadas apenas pela precipitação, sendo caracterizadas como controle (Figura 1). A simulação do alagamento foi realizada com a água a 5 cm acima da superfície do substrato, durante o período de experimento. Os vasos alagados foram mantidos em piscinas de lona durante 40 dias e a troca da água foi realizada semanalmente por mecanismo de drenagem por meio de uma mangueira e assim evitar a propagação de algas, mudanças no pH e a proliferação de larvas de insetos. Um furo na lateral de cada piscina foi realizado a fim de manter um padrão do nível da água.

As avaliações realizadas foram:

- **Altura:** Com auxílio de régua graduada foi mensurado a altura do caule, compreendida entre a superfície do solo e a gema apical, e os resultados foram expressos em centímetros (cm).
- **Diâmetro do colo:** Utilizou-se paquímetro digital de precisão (0,001 mm) para medir o diâmetro basal do caule na altura do solo, com os resultados expressos em milímetros (mm).
- **Comprimento total de raiz:** Utilizou-se uma régua graduada em milímetros para mensurar a raiz primária e os resultados foram expressos em centímetro (cm).
- **Massa seca da parte aérea e raiz:** Foram secas em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 72 horas até atingirem massa constante, e pesadas em balança de precisão. A partir dos dados de massa seca, foi calculada a relação massa **seca da parte aérea/massa seca de raiz** (MSPA/MSR);
- **Índice de qualidade de Dickson:** Obtido segundo a expressão matemática: $IQD = \frac{\text{massa seca total}}{(\text{razão altura/diâmetro} + \text{razão massa seca da parte aérea/massa seca da raiz})}$ (DICKSON et al., 1960).
- **Anatomia das folhas:** As folhas completamente expandidas de cada tratamento foram seccionadas transversalmente a mão livre, em material fresco com lâmina de aço, sendo submetidos a clarificação em hipoclorito de sódio 2%, neutralização em água acética 1% e tríplice lavagem com água destilada e coloração com safrablau (5 mL de solução aquosa de safranina 1% - 95 mL de solução aquosa de azul de Astra 1% - duas gotas de ácido acético glacial) e azul de metileno, para posterior montagem de lâminas com água glicerinada. A partir desta secção transversal determinou-se a espessura dos seguintes tecidos/estruturas foliares constituintes do limbo: **cutícula adaxial** (CA_d μm) e **abaxial** (CA_b μm), **epiderme adaxial** (EA_d μm) e **abaxial** (EA_b μm), **parênquima paliçádico** (PP μm) e **lacunoso** (PL μm). As secções paradérmicas foram preparadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, com impressões em cola SuperBonder® de amostras da região mediana do limbo na face

adaxial e abaxial. Foram determinados: **densidade estomática** (mm^2), **abertura ostiolar** (AE μm) e o **índice estomático** (IE %) que foi calculado por meio da fórmula proposta por Wilkinson (1979): $\text{IE} = [\text{NE}/(\text{CE} + \text{NE})] \times 100$, sendo (NE) o número de estômatos e (CE) o número de células da epiderme. O laminário obtido foi fotografado com auxílio de câmera digital Moticam 2000 acoplada ao microscópio óptico por meio do programa Motic Image 2000 e ajustadas escalas nas condições ópticas adequadas. A contagem dos estômatos e das células epidérmicas foram realizadas com auxílio do programa BioContador, desenvolvido pela Universidade Federal da Grande Dourados.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, sendo as parcelas as duas disponibilidade hídricas (alagado e controle), as subparcelas os 3 níveis de sombreamento (0%, 30% e 70%), e as subsubparcelas os 5 períodos de avaliação (0, 10, 20, 30, 40 dias) para as características não destrutivas e os 3 períodos (0, 20 e 40 dias) para as características destrutivas, com 5 repetições de 5 mudas cada.

Os dados não destrutivos foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e, havendo efeito significativo as médias referentes as disponibilidades hídricas foram submetidas ao teste t de Bonferroni, os níveis de sombreamento submetidos ao teste de Tukey e os tempos de avaliação ajustados por equações de regressão. Os dados destrutivos foram submetidos a análise de variância a 5% de probabilidade e, havendo efeito significativo as médias referentes as disponibilidades hídricas foram submetidas ao teste t de Bonferroni e os níveis de sombreamento e períodos de avaliação ao teste de tukey, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

Os dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (UR%), precipitação (mm) durante o período de experimento encontram-se na Figura 1. Os dados foram obtidos a partir do banco de dados do Guia Clima da Embrapa Agropecuária Oeste (Embrapa, 2017).

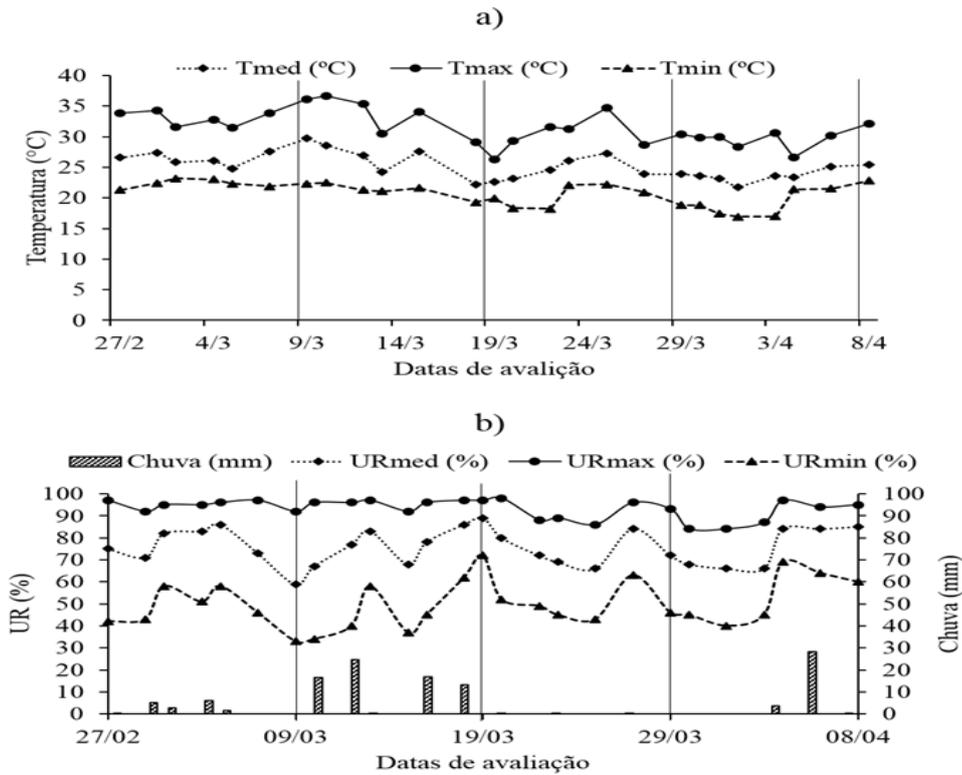


Figura 1. Temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin), chuva (mm), umidade média (URmed), mínima (URmin) e máxima (URmax) observados durante o período de condução do experimento (27/02 a 08/04).

3. Resultados

A altura e o diâmetro das mudas de *C. fissilis* apresentaram efeito significativo dos níveis de sombreamento e tempo de avaliação. Com relação ao tempo de experimento, as plantas de todos os cultivos de sombreamento e disponibilidades hídricas apresentaram aumento dessas características durante o período de avaliação, sendo maior sob nível de 30% de sombreamento, não havendo diferença significativa entre os níveis 0 e 70% (Figura 2).

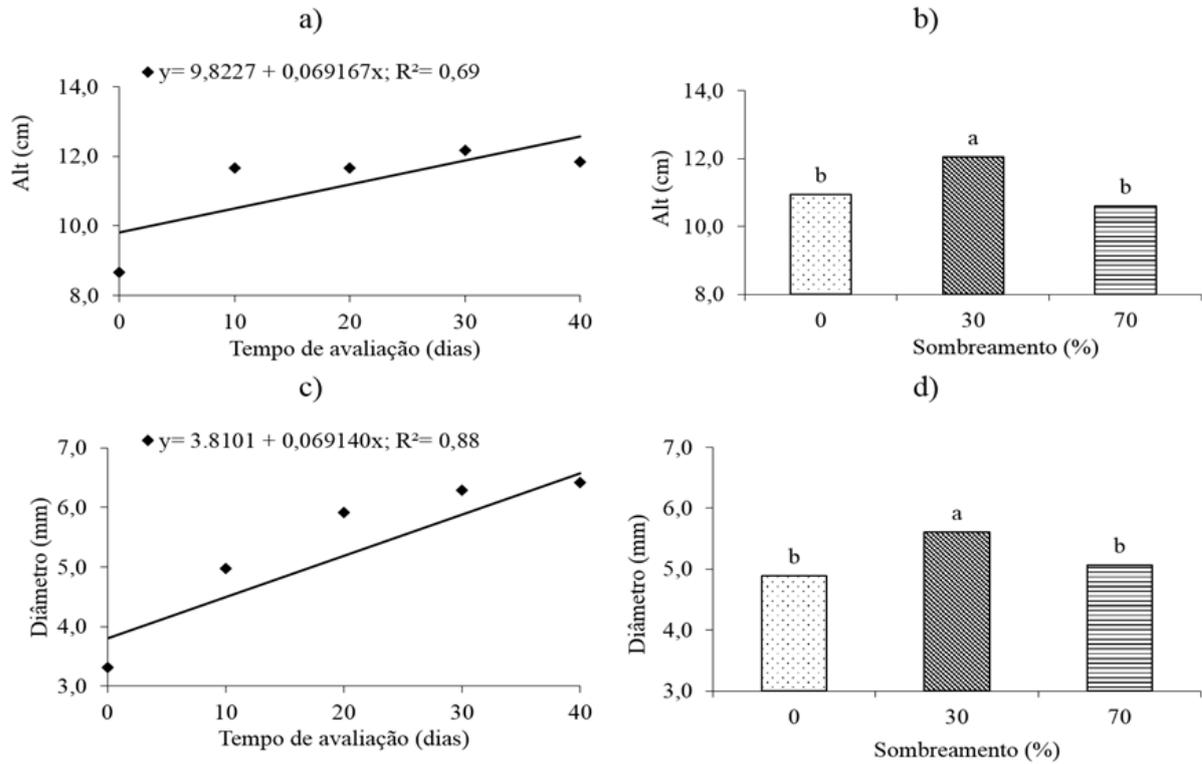


Figura 2. Altura (*Alt*) e diâmetro do caule de mudas de *C. fissilis* submetidas em diferentes tempos de alagamento (a- c) e níveis de sombreamento (b-d). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante o experimento foi identificado o surgimento rachaduras caulinares e lenticelas após 10 dias do início do alagamento e de raízes adventícias aos 20 dias de alagamento das mudas. Todas surgiram independentemente do nível de sombreamento (Figura 3).

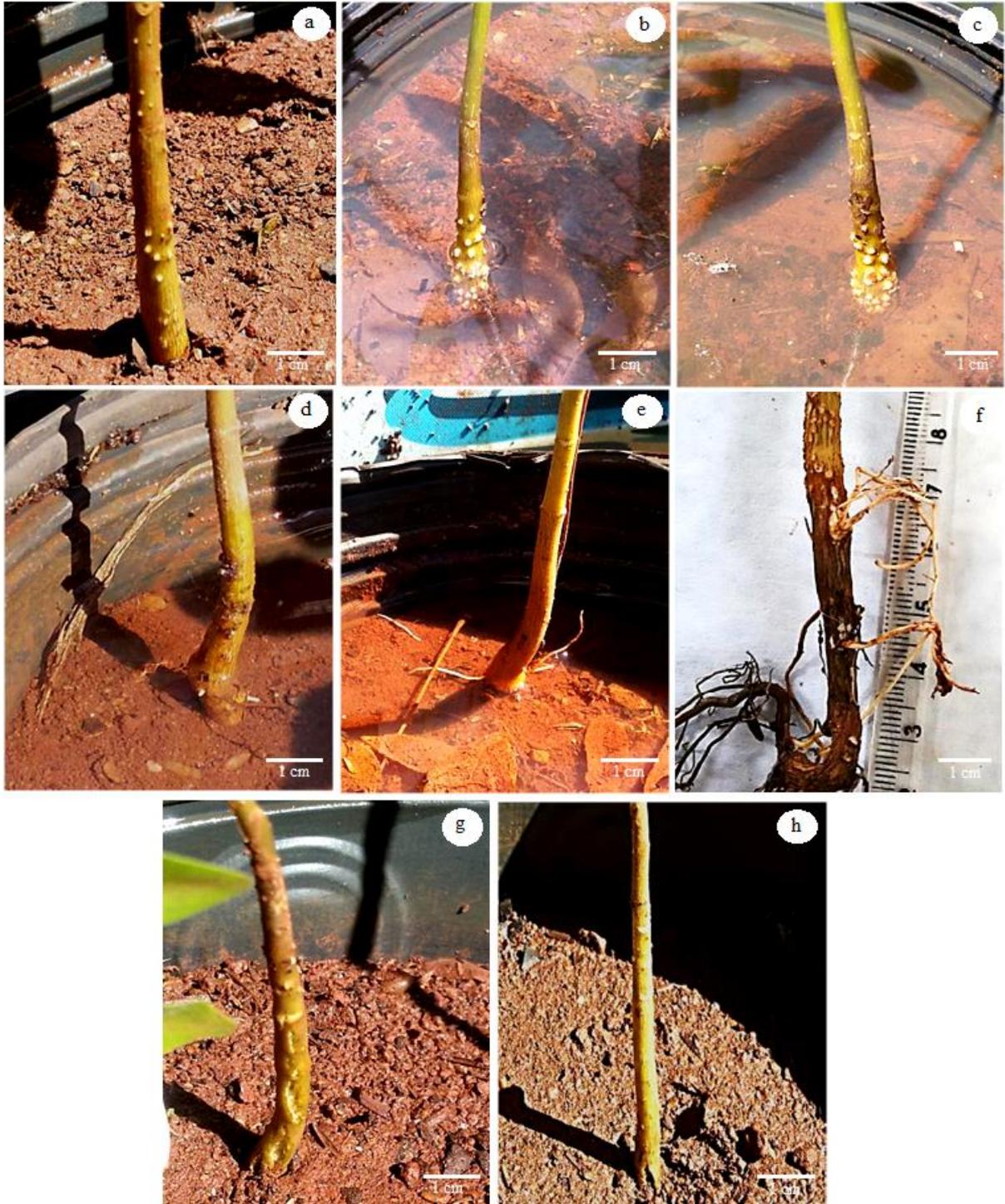


Figura 3. Mudanças alagadas de *C. fissilis* com lenticelas aos 10, 20 e 40 dias (a, b, c) respectivamente, raízes adventícias aos 20, 30 e 40 dias (d, e, f) e rachaduras caulinares (g, h) aos 10 dias após o início do alagamento. Fotos obtidas durante o alagamento e imediatamente após a drenagem dos vasos. Escala: 1 cm.

A área foliar (AF) foi menor nos níveis de sombreamento de 0% e 30% respectivamente, e maior no 70%, porém, quando relacionado os dias de avaliação com os níveis de luminosidade, foi identificada diferença somente para 20 e 40 dias de alagamento,

sendo que ambos apresentaram aumento gradativo da *AF* conforme o aumento da intensidade do sombreamento. As mudas alagadas diminuíram gradativamente sua *AF* no decorrer dos dias, e as mudas controle aumentaram, não havendo diferença significativa entre as duas últimas avaliações para essa disponibilidade hídrica (Figura 4a, b).

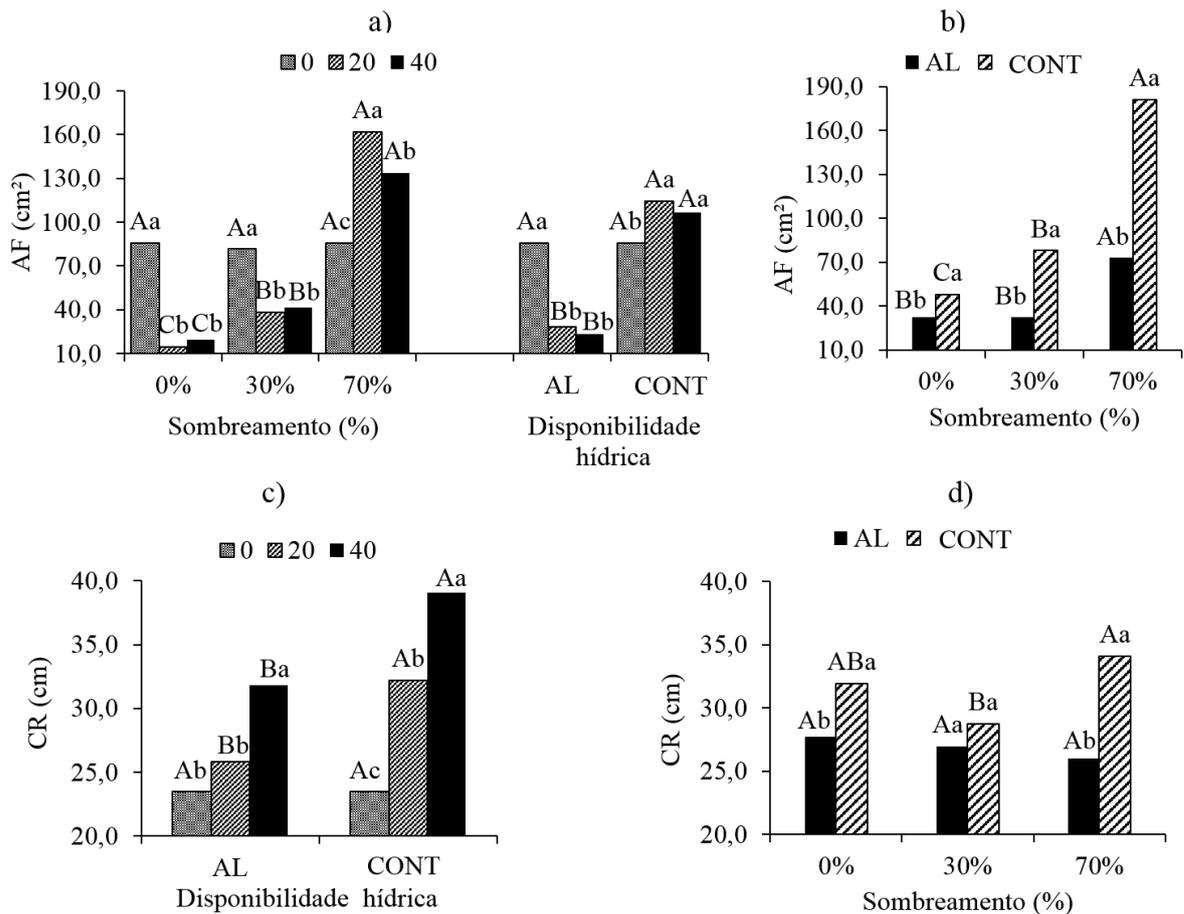


Figura 4. Área foliar (*AF*) (a, b) e comprimento da raiz primária (*CR*) (c, d) de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT) tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a) e disponibilidades hídricas (a, c) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d).

As mudas controle de *C. fissilis* apresentaram maior taxa de crescimento da raiz aos 40 dias, sendo que as maiores raízes para essa condição foram as referentes ao nível de sombreamento de 70% que não diferiu significativamente do 0 % (Figura 4c, d).

O comprimento da raiz primária das mudas alagadas não diferiu significativamente no tempo 0 e 20, sendo significativamente maior aos 40 dias, mesmo assim não foi superior ao das plantas controle no mesmo período. As raízes alagadas tiveram seu crescimento comprometido independente do nível de sombreamento que estavam submetidas, apresentando menores taxas de comprimento que as de plantas controle (Figura 4c, d).

A massa seca da parte aérea (*MSPA*) e massa seca de raiz (*MSR*) apresentaram aumento gradual no decorrer do tempo quando sombreadas, sendo os maiores valores encontrados ao final do experimento no maior nível de sombreamento e o menor para as mudas a pleno sol. De forma geral, a quantidade de massa seca de raiz e parte aérea nas plantas de *C. fissilis* aumentaram com a intensificação dos níveis de sombreamento, sendo que a biomassa da parte aérea foi superior ao das raízes, decrescendo os valores quando essas mudas foram submetidas ao alagamento, mostrando que o estresse hídrico foi o fator determinante para o acúmulo de massa dessas estruturas (Figura 5a, b, c, d).

O Índice de Qualidade de Dickson (*IQD*) variou significativamente apenas aos 40 dias nos sombreamentos, em que houve aumento do índice nesta condição, não diferindo significativamente apenas entre 20 e 40 dias sob 0% de nível de sombreamento. Relacionando as disponibilidades hídricas com os dias de experimento, nota-se aumento gradual no decorrer do tempo, sendo observado o maior *IQD* das plantas controle aos 40 dias (Figura 5e).

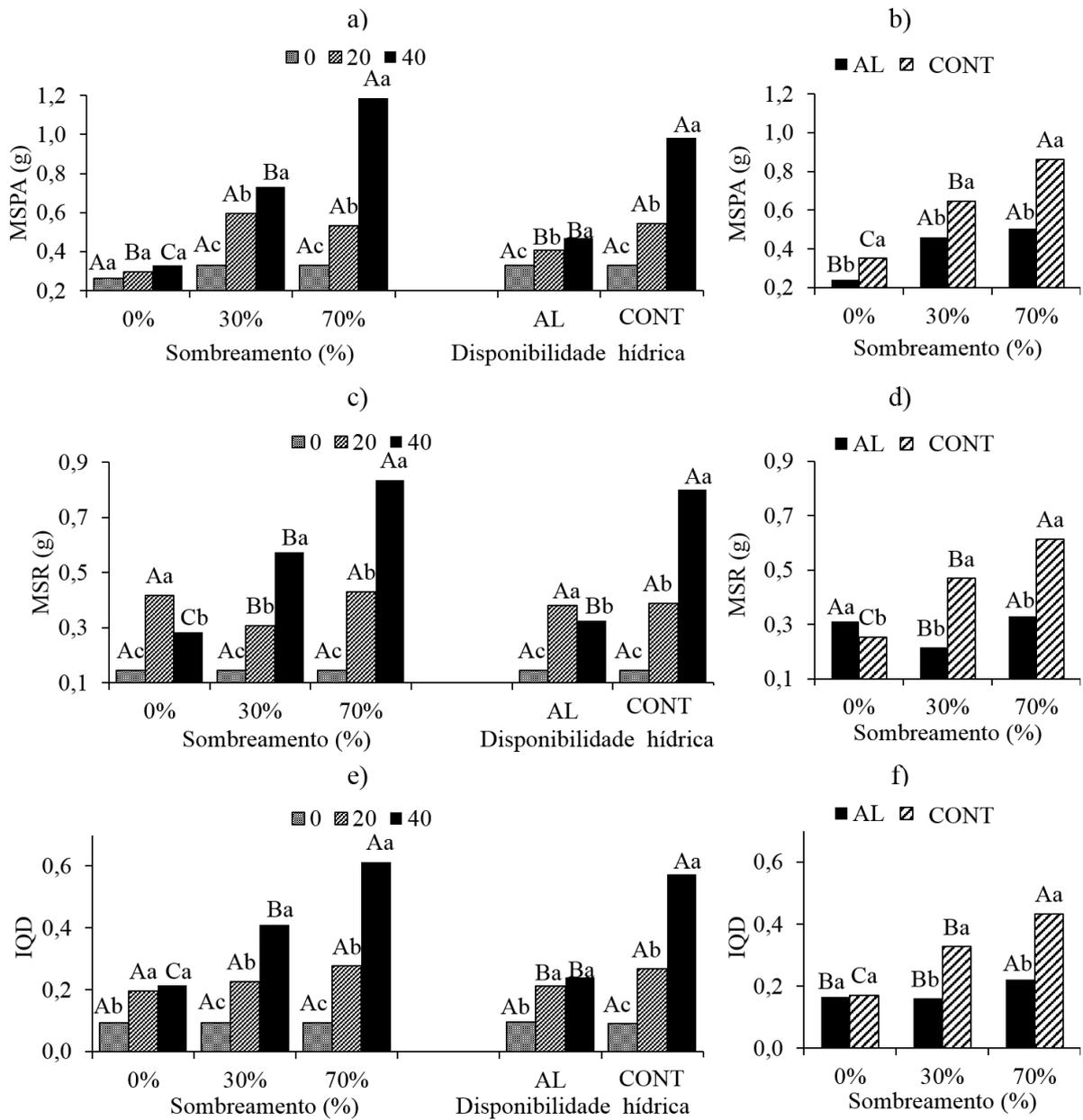


Figura 5. Massa seca da parte aérea – *MSPA* (a, b), massa seca da raiz primária – *MSR* (c, d) e índice de qualidade de Dickson – *IQD* (e, f) de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a, c, e) e disponibilidades hídricas (a, c, e) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d, f). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c, e) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c, e) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d, f).

As características anatômicas da seção paradérmica revelam que as folhas de *C. fissilis* são hipostomáticas com ocorrência de estômatos distribuídos randomicamente do tipo anomocítico, circundados em sua maioria por 5 células epidérmicas comuns e as paredes celulares da face adaxial e abaxial apresentam contorno sinuoso, que aumentou conforme o aumento do tempo de inundação nas condições de menores níveis de sombreamento (Figuras 6 e 7).

A abertura estomática de *C. fissilis* foi maior no tempo zero, não apresentando diferença significativa entre os níveis de sombreamento neste período e nem nas disponibilidades hídricas, sendo as plantas do nível de sombreamento 70% as que apresentaram maiores aberturas no decorrer das avaliações (Figuras 8a, b; 6 e 7). Mudanças de controle apresentaram maior abertura estomática que mudas alagadas independentemente do nível de sombreamento a qual estavam submetidas (Figuras 8a, b; 6 e 7).

A densidade estomática aumentou ao longo do experimento para as mudas de todas as disponibilidades hídricas e níveis de sombreamentos, sendo os tratamentos 0 e 30% de sombreamento e as mudas do controle respectivamente, obtiveram maior densidade ao final dos 40 dias (Figuras 8c; 6 e 7). O índice estomático aumentou conforme elevou o nível de sombreamento, sendo 0% o menor e 70% o maior (Figura 8d).

A epiderme foliar é uniestratificada em ambas as faces, com formato retangular recoberta por cutícula. Possui dois tipos de tricomas, sendo tector pluricelular simples e em menor quantidade o glandular pluricelular simples, ambos encontrados nas duas faces.

A espessura da epiderme adaxial e abaxial variaram ao longo do tempo, sendo os maiores valores da *EAd* no tempo zero nos níveis de sombreamento 0 e 30% e na condição de 70% aos 40 dias, não sendo encontrada diferença neste tempo entre o 0% e 30% de sombreamento (Figura 9a, b). Maiores valores de *EAb* foram observados aos 40 dias nos níveis de sombreamento 0% e 70% (Figura 9c). A *EAb* das mudas alagadas diminuíram de espessura com o aumento do nível de sombreamento, não havendo diferença para as mudas de controle (Figura 9d).

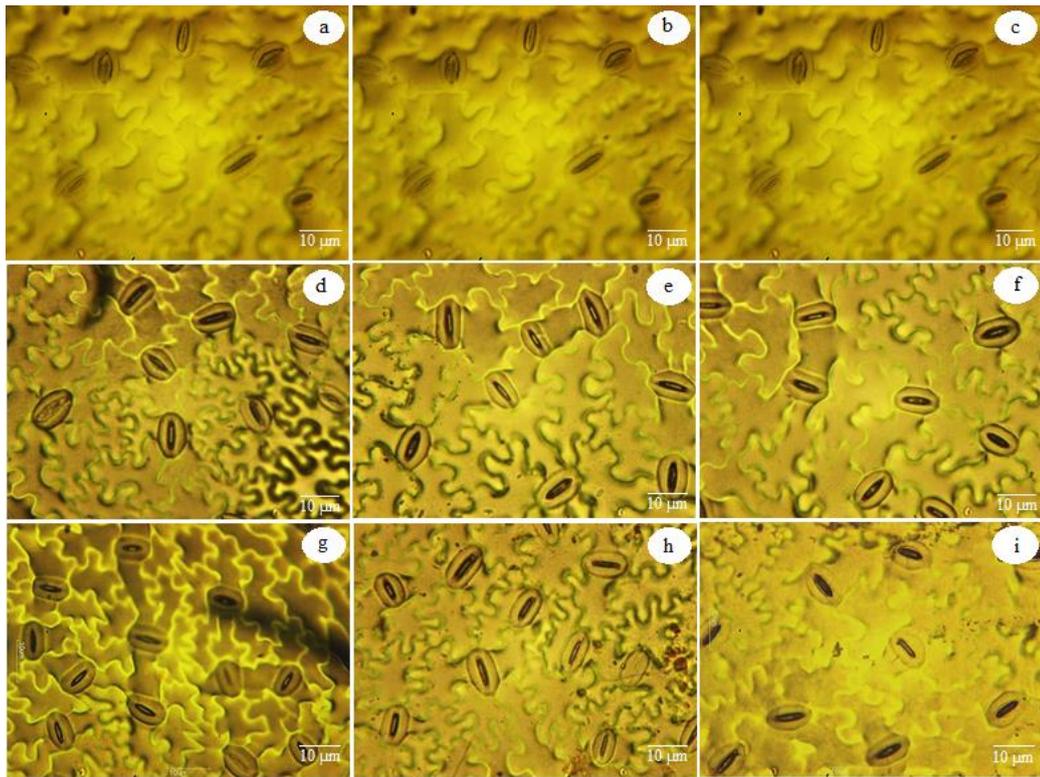


Figura 6. Secções paradérmicas abaxial de folhas de *C. fissilis* alagadas nos tempos de avaliação 0 (a, b, c), 20 (d, e, f) e 40 dias (g, h, i) e níveis de sombreamento de 0% (d, g), 30% (e, h) e 70% (f, i). Escala: 10 µm.

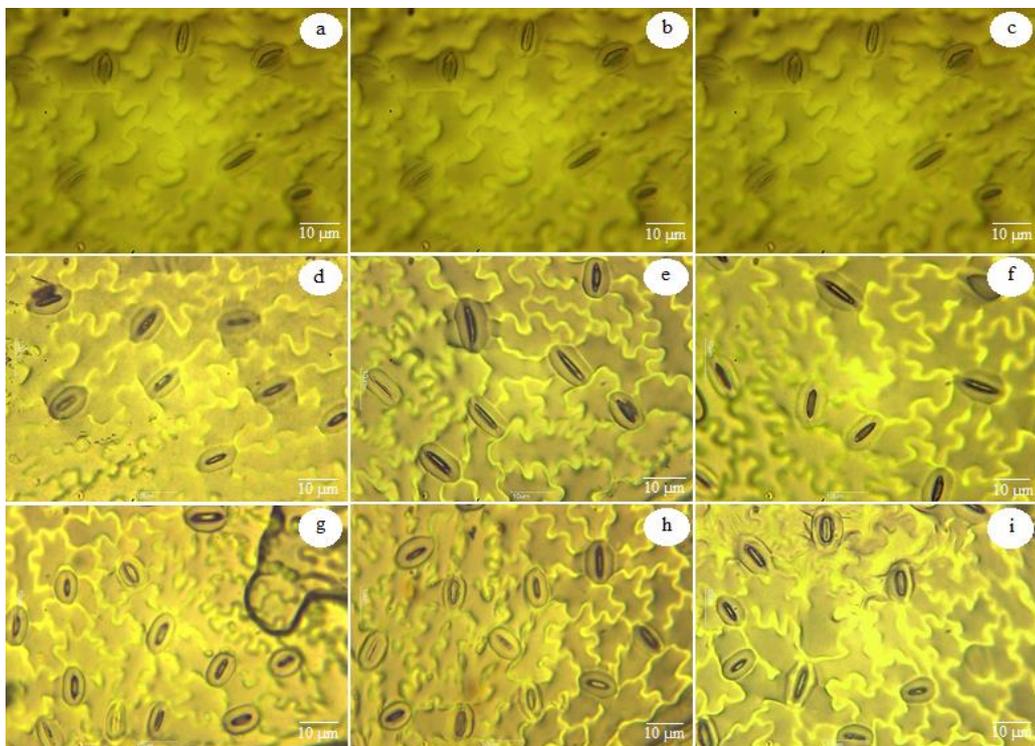


Figura 7. Secções paradérmicas abaxial de folhas de *C. fissilis* controle nos tempos de avaliação 0 (a, b, c), 20 (d, e, f) e 40 dias (g, h, i) e níveis de sombreamento 0% (d, g), 30% (e, h) e 70% (f, i). Escala: 10 µm.

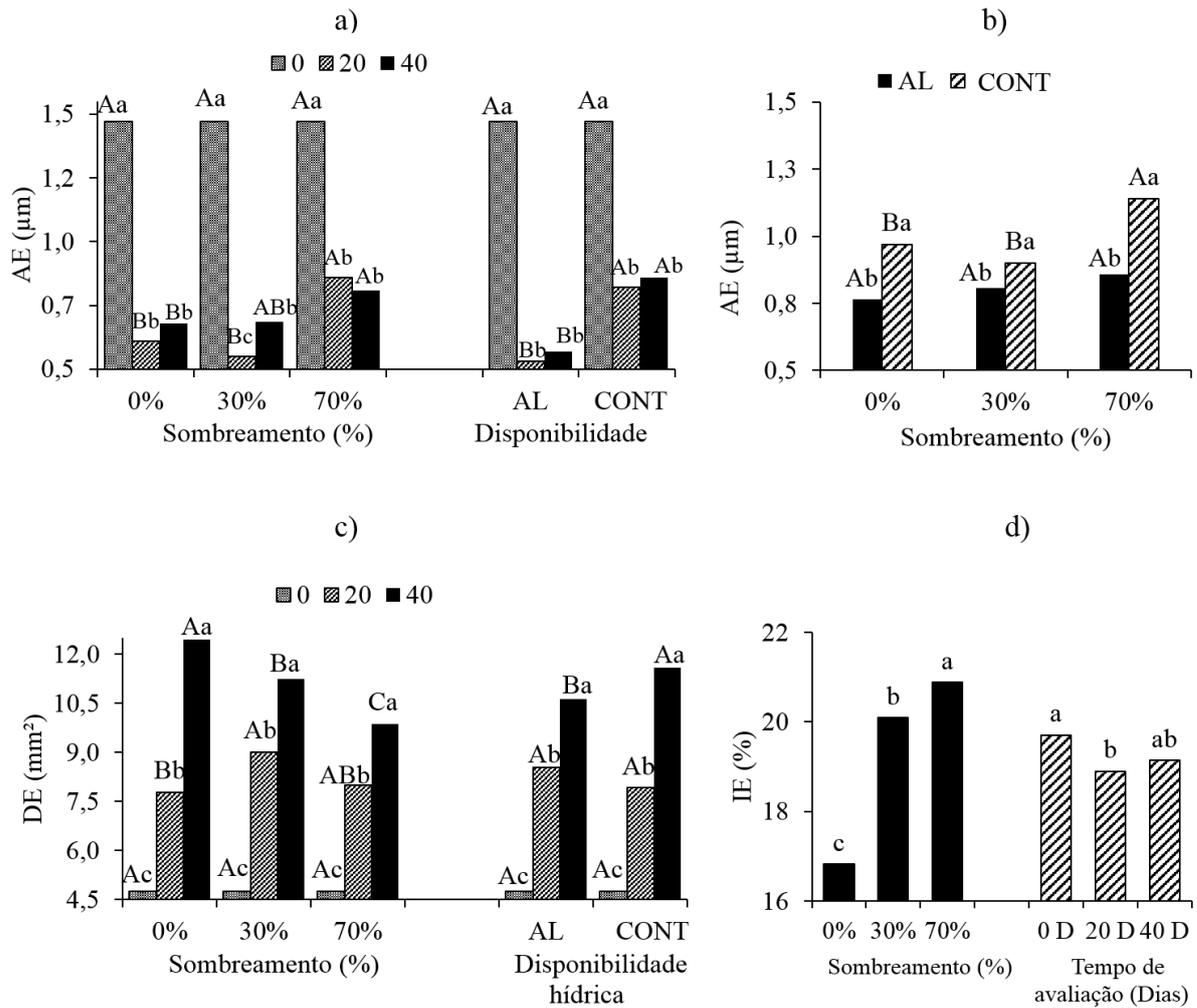


Figura 8. Abertura estomática - *AE* (a, b), densidade estomática - *DE* (c) índice estomático (d) de folhas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado - AL e controle - CONT), tempos de avaliação (0 D, 20 D e 40 D - dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas (a, c) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c).

A cutícula das folhas de *C. fissilis* é do tipo lisa e sua espessura variou em relação ao tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamentos e em relação as faces. A cutícula adaxial foi mais espessa que a abaxial e se mostrou maior nos tratamentos pleno sol (0%) e 30% de sombreamento respectivamente, e no final dos 40 dias principalmente em mudas controle, não havendo diferença nas mudas de 70% de nível de sombra em relação a disponibilidade hídrica (Figura 10a, b, c).

A cutícula abaxial assim como a adaxial foi maior ao final do experimento nos níveis de sombreamento 0 e 30% não sendo encontrada diferença neste período, apenas entre os tratamentos 30% e 70% de sombreamento (Figura 10 c).

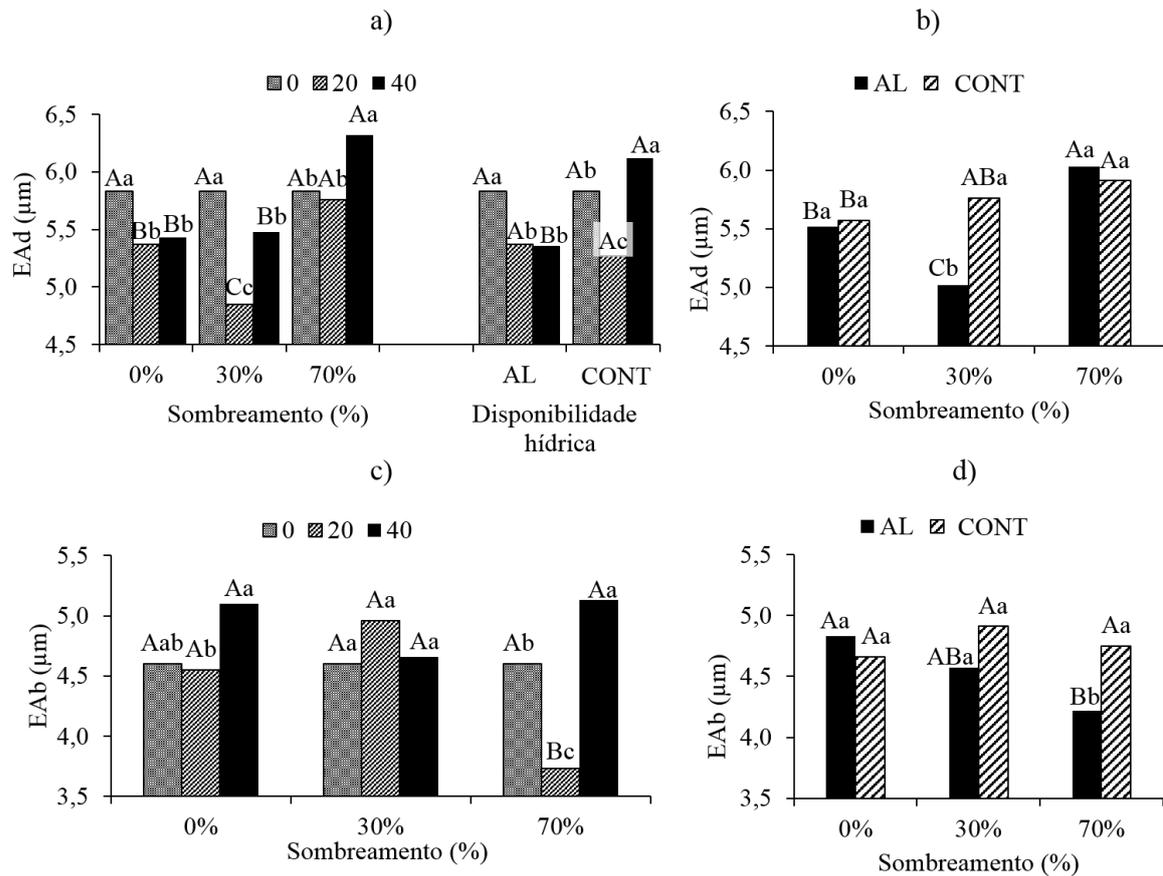


Figura 9. Espessura da epiderme adaxial – *EAd* (a, b) e epiderme abaxial - *EAb* (c, d) de folhas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas (a) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d).

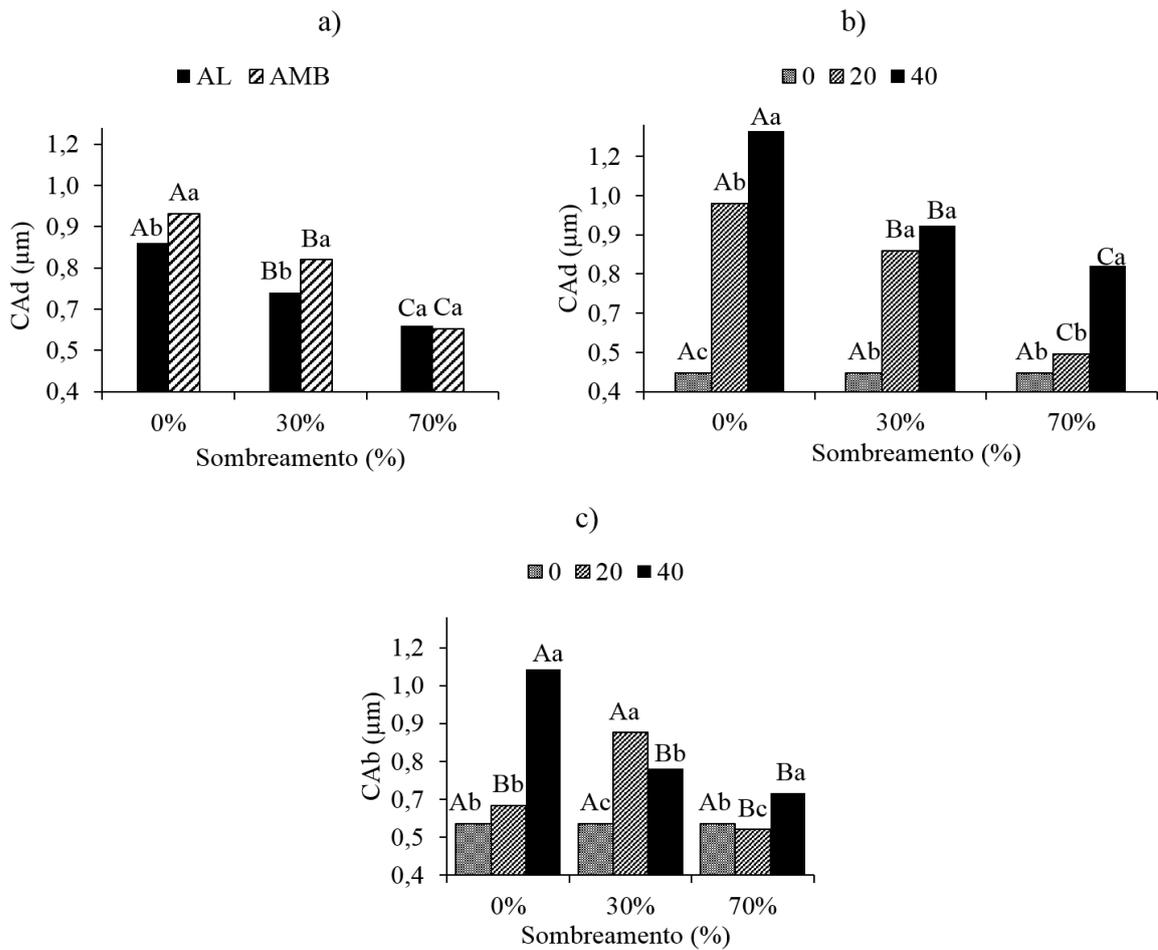


Figura 10. Espessura da cutícula adaxial - *CAd* (a, b) e cutícula abaxial - *CAB* (c, d) de folhas de mudas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e sombreamentos (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (a) e o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (b, c). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (a) e os diferentes tempos de avaliação no mesmo nível de sombreamento (b, c).

O mesofilo das mudas de *C. fissilis* é composto por uma camada de células longas, justapostas do parênquima paliçádico na face adaxial e por 3 a 4 de tecido com células irregulares arranjadas frouxamente em distribuição randômica do parênquima lacunoso na face abaxial (Figuras 12 e 13). O parênquima paliçádico aumentou sua espessura ao longo do período de avaliação, sendo encontrados os maiores valores nas mudas sombreadas a 0% e 30% aos 40 dias, principalmente nas mudas cultivadas em condição ambiente (Figura 11a, b).

O parênquima lacunoso aos 40 dias foi mais espesso quando cultivado sob 30 e 70% de sombreamento, principalmente em plantas da condição ambiente, não diferindo nas

disponibilidades hídricas sombreadas a 70% (Figura 11c). Independente do nível de sombreamento, as folhas da condição ambiente a alagadas apresentaram maiores *PL* que *PP*, sendo mais visível no tempo zero (Figuras 11c, d; 12, 13).

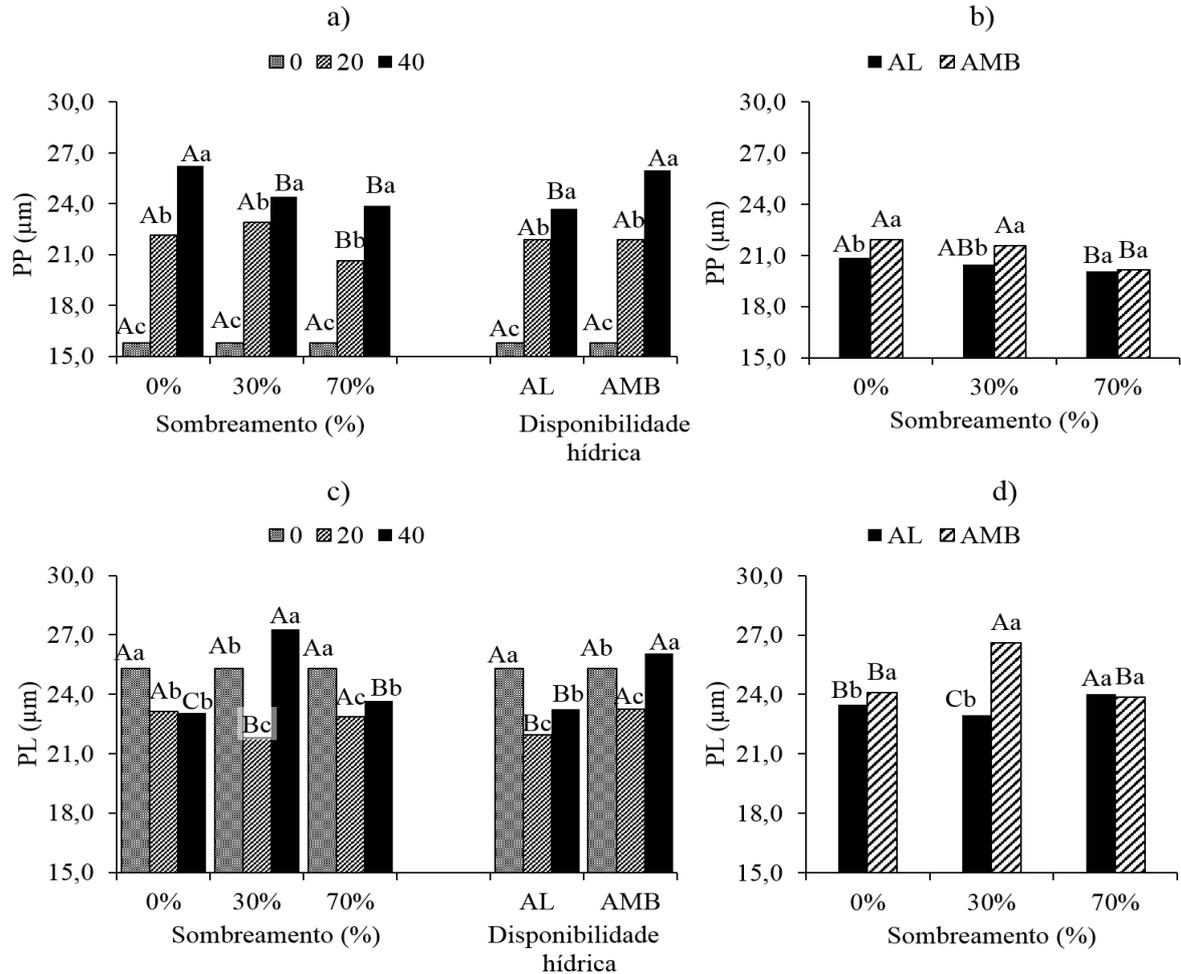


Figura 11. Espessura do parênquima paliçádico - *PP* (a, b) e parênquima lacunoso - *PL* (c, d) de folhas de *C. fissilis* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas (alagado – AL e controle – CONT), tempos de avaliação (0, 20 e 40 dias) e níveis de sombreamento (0, 30 e 70%). Letras maiúsculas comparam o mesmo tempo de avaliação nos diferentes níveis de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas (a, c) e a mesma disponibilidade hídrica nos diferentes níveis de sombreamento (b, d). Letras minúsculas comparam o mesmo nível de sombreamento (a, c) e disponibilidades hídricas nos diferentes tempos de avaliação (a, c) e o mesmo nível de sombreamento nas diferentes disponibilidades hídricas (b, d).

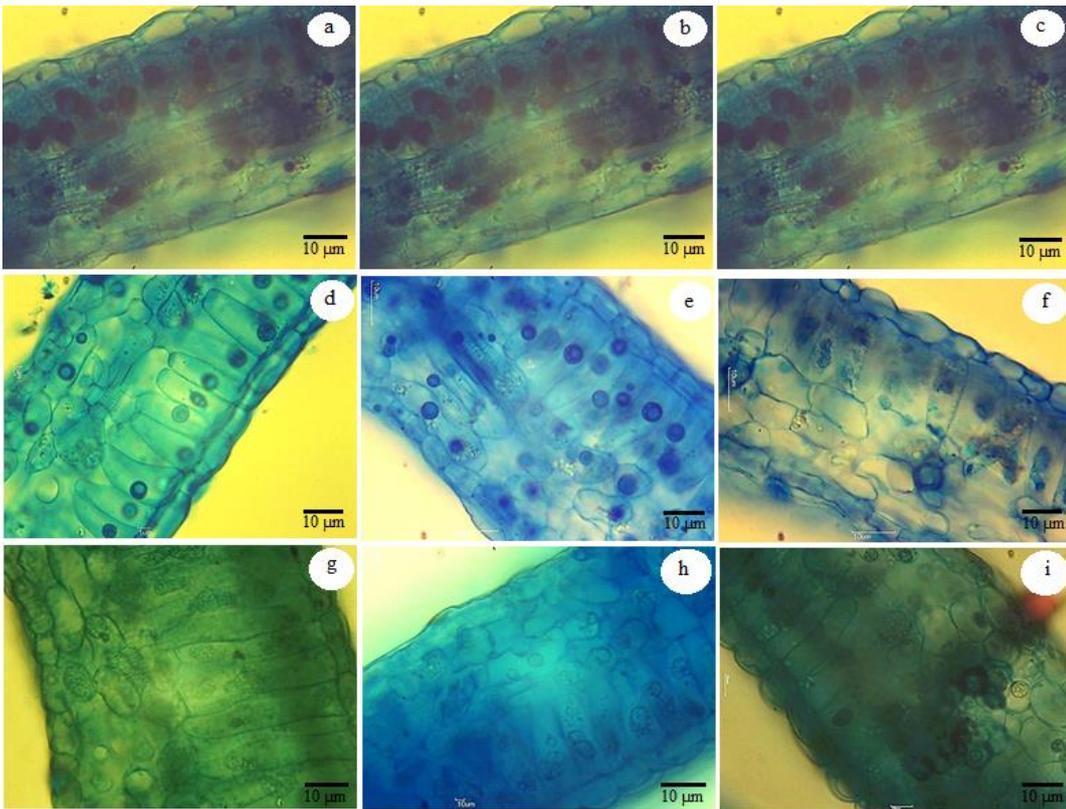


Figura 12. Secção transversal da lâmina foliar de *C. fissilis* controle nos tempos de avaliação 0 (a, b, c), 20 (d, e, f) e 40 dias (g, h, i) e níveis de sombreamento 0 (d, g), 30 (e, h) e 70% (f, i). Escala: 10µm.

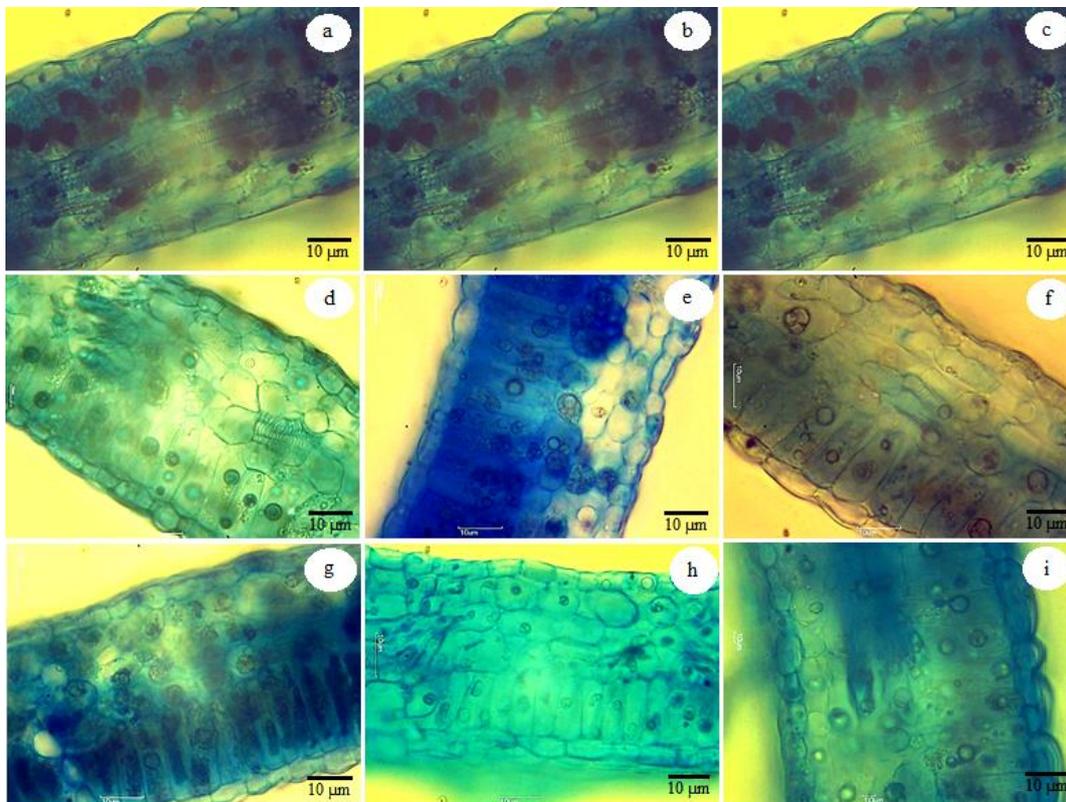


Figura 13. Secção transversal da lâmina foliar de *C. fissilis* alagada nos tempos de avaliação 0 (a, b, c), 20 (d, e, f) e 40 dias (g, h, i) e níveis de sombreamentos 0 (d, g), 30 (e, h) e 70% (f, i). Escala: 10 µm.

4. Discussão

As plantas mais altas de *C. fissilis* em condições com menores níveis de sombreamento mostram que a maior porcentagem de sombra não estimulou o estiolamento e que o alagamento associado não interferiu na alocação de recursos para o crescimento das mudas, conforme também observado na literatura para outras espécies (MEDRI et al., 2007), sugerindo que a eficiência do crescimento de uma planta é um fator que prediz o grau de tolerância desta as condições ambientais em que está inserida. Resultados semelhantes foram encontrados em mudas de *Tocoyena formosa* (Cham.; Schltdl.) K. Schum. Que sob condição de 30% de sombreamento apresentou maior crescimento em altura (BONAMIGO et al., 2016). Em um experimento com plantas jovens de *Cedrela odorata* L. e *Cedrela fissilis* Vell., foi constatado que a maior quantidade de energia radiante causada pela insolação prolongada acelerou o crescimento em altura das mudas sendo a melhor intensidade de luz em torno de 30% da radiação solar para o sucesso do crescimento inicial das mudas (INOUE, 1978).

Carvalho (2003) observou em revisão bibliográfica que *C. fissilis* é uma espécie heliófita no estágio adulto e parcialmente esciófita no estágio juvenil, com ótimo desenvolvimento inicial em clareiras menores que 60 m² ou sob dossel de matas secundárias. Essa informação corrobora com os resultados obtidos sobre o grau de sombreamento da espécie nesse trabalho.

Nossos resultados corroboram com os do experimento com mudas de *C. fissilis* alagadas parcialmente durante 5, 15 e 20 dias, também foi identificado aumento na altura e no diâmetro do coleto no decorrer do tempo de inundação, mostrando que o alagamento não afetou o desenvolvimento das mudas, resultado este que foi atribuído ao pequeno tempo em que as plantas ficaram submetidas ao estresse (BINOTTO et al., 2016).

Em mudas alagadas, o desenvolvimento de rachaduras caulinares, lenticelas e de raízes adventícias, são importantes estruturas desenvolvidas como respostas a deficiência de oxigênio interno gerado pelo alagamento. Estas estruturas estão diretamente relacionadas a distribuição do etileno, que tem como precursor o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) produzido nas raízes em estado de anóxia, e quando em contato com o oxigênio se converte no fitormônio etileno (TAIZ; ZEIGER, 2013). Para facilitar o fluxo de oxigênio pelos tecidos vegetais como forma de manter o metabolismo sob condição de alagamento, as lenticelas se tornam via direta para eliminação de produtos tóxicos produzidos em decorrência da baixa disponibilidade de O₂ (GRISI et al., 2011).

Assim como *C. fissilis*, mudas de *Aegiphila sellowiana* Cham. alagadas durante diferentes períodos, desenvolveram fissuras na base do caule e lenticelas hipertróficas, sendo o surgimento dessas estruturas associado ao aumento da concentração de etileno nos tecidos das plantas (MEDRI et al., 2011). Mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. apresentaram primeiro as lenticelas caulinares e duas semanas depois das raízes adventícias (GRISI et al., 2011), assim como identificado nas mudas de *C. fissilis*.

O aumento da área foliar em ambientes sombreados pode ser uma adaptação luminosa para permitir que as plantas invistam na superfície fotossintetizante a fim de garantir o melhor aproveitamento da baixa radiação solar disponível (LENHARD et al., 2013). Esses mesmos autores verificaram aumento da *AF* em *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. var. *leiostachya* Benth. sob condição sombreadas do que a pleno sol, por se tratar de uma característica adaptativa para assegurar maior aproveitamento da baixa intensidade luminosa em razão do sombreamento proporcionado, sendo tal comportamento próprio de espécies tolerantes à sombra.

Mudas de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. também apresentaram valores médios de *AF* menores no tratamento 0% e maiores nos níveis de 70 e 84% de sombreamento ao longo dos 180 dias, o que possibilita garantir maior aproveitamento da radiação solar disponível, característica de espécies de estágios mais avançados de sucessão (PACHECO et al., 2013). Esses resultados corroboram com os encontrados para *C. fissilis*, que é classificada como secundária inicial ou secundária tardia, apresentando grande agressividade em vegetações como capoeirões e matas de dossel fechado como no caso de florestas secundárias (CARVALHO, 2003; FREIBERGER et al., 2013). A área foliar é um importante parâmetro utilizado para avaliar o grau de adaptação da planta, já que ele é relativamente sensível as mudanças ambientais (LENHARD et al., 2013).

As mudas de *C. fissilis* alagadas diminuíram gradativamente sua *AF* no decorrer dos dias, possivelmente como resposta a hipóxia. Plantas jovens de *Genipa spruceana* Steyerl submetidas ao alagamento parcial e total também apresentaram queda nos valores da área foliar para ambas as condições de inundação no decorrer do tempo de avaliação devido a possível redução de translocação de fotoassimilados das folhas para outras regiões (GONÇALVES et al., 2012).

O alagamento gera condições hipóxicas/anóxicas no solo, que dependendo do tempo de inundação pode inibir o crescimento e até causar morte das raízes já que essas estruturas são diretamente afetadas nessas condições. Mesmo espécies tolerantes ao alagamento

reduzem o crescimento radicular nessas condições, como observado em *Cecropia pachystachya* Trécul (BATISTA et al., 2008).

Assim como observado em *C. fissilis*, mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. var. *leiostachya* Benth. também não apresentaram diferença significativa para o crescimento da raiz nos diferentes níveis de sombreamento (LENHARD et al., 2013). As variações na disponibilidade hídrica causam maior influência nesse parâmetro, *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. var. *leiostachya* Benth. e *Guazuma ulmifolia* Lam. quando cultivadas sob alta capacidade de campo desenvolveram maior tamanho da raiz que sob menores níveis de hidratação (LENHARD et al., 2010; SCALON et al., 2011).

O maior comprimento radicular e a sua arquitetura são fatores importantes para o estabelecimento do vegetal em campo, pois servem como escapes em períodos de déficits hídricos, já que as camadas mais profundas do solo fornecem maiores teores de umidade (SCALON et al., 2011).

A redução da *MSR* nas plantas alagadas pode ser justificada pelas alterações morfoanatômicas nas raízes em anóxia/hipóxia desviando as condições ótimas de crescimento da planta podendo causar morte e decomposição da raiz principal e secundária (LIRA et al., 2013). Além disso, a redução da *MSR* compromete o crescimento da muda causando decréscimo na absorção de água e nutrientes e sua redistribuição entre os vários órgãos vegetativos, causando diminuição da produção de novas folhas, clorose e senescência, gerando decréscimo da área foliar (REHEM et al., 2009). Por isso, a massa seca das raízes tem sido considerada um importante parâmetro para análise de sobrevivência e crescimento inicial das mudas.

Mudas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. submetidas ao alagamento por 90 dias, apresentaram redução da *MSR* nos 15 primeiros dias, devido a morte das raízes em decorrência da hipóxia (LIRA et al., 2013).

Resultados semelhantes de massa seca da parte aérea e massa seca de raiz quando sombreadas foram encontrados em plantas de *C. ferrea* Mart. ex. Tul. var. *leiostachya* Benth. que alocaram maiores quantidades de biomassa para a parte aérea e raiz em mudas sombreadas a 50 e 70% do que a pleno sol, indicando que o sombreamento favoreceu a produção de fotoassimilados (LENHARD et al., 2013).

Ambientes mais sombreados oferecem melhores condições abióticas para indivíduos sensíveis a altos níveis de irradiância, diminuindo a exposição deles as elevadas temperaturas e aumentando o teor de umidade, favorecendo o crescimento da muda por criar condições consideradas ótimas para espécie produzir fotoassimilados (PACHECO et al., 2013).

Os menores valores de *IQD* para as condições 0% e 30% de níveis de sombreamento foram reflexos das menores massas secas obtidas de raiz e parte aérea nesses tratamentos, principalmente quando alagadas. Este índice tem sido considerado muito eficiente para indicar a qualidade das mudas, sendo bastante utilizado por considerar aspectos como robustez e equilíbrio da distribuição da biomassa das plantas (FONSECA et al., 2002; DALMOLIN et al., 2015).

Altas taxas do *IQD* geralmente estão associadas a maiores valores de massa seca da planta como a da parte aérea, raiz e total, sendo esses parâmetros baixos um indicativo de que a qualidade da muda é baixa (CALDEIRA et al., 2012).

O valor mínimo estabelecido para mudas em tubetes de 50 ou 60 mL é de 0,2 conforme recomendado por Hut (1990) citado por Fonseca et al, (2002). As mudas do tempo zero, as alagadas e as não sombreadas (0%) apresentaram valores inferiores ao valor de referência, indicando que a qualidade das mudas não apresentava qualidade suficiente para sobreviverem se transplantadas a campo nessa época (GRISI et al., 2011).

Em relação aos aspectos estomáticos, a variação na quantidade, distribuição, tamanho e formato dos estômatos são características inerentes de cada espécie, podendo ou não sofrer modificações em respostas às condições ambientais a qual está submetida (LARCHER, 2004).

O índice estomático mais baixo para as plantas dos tratamentos com maior incidência luminosa (0 e 30%) se comparado com o de maior sombreamento pode ser atribuído a uma diferença de demanda evaporativa do ar nos dois ambientes resultando em um microclima mais seco, pois segundo Cutter (1986) citado por Grisi et al, (2008) o índice estomático é razoavelmente constante para uma dada espécie, sendo afetado principalmente pela umidade.

A densidade estomática pode ser alterada por diversos fatores ambientais, dentre eles o nível de luminosidade (LAWSON; BLATT, 2014). Diversos trabalhos mostram que a maior quantidade de estômatos por mm^2 obtidas pelas mudas que recebem alta incidência luminosa está relacionada principalmente a adaptações anatômicas e morfológicas a essa condição, já que folhas produzidas sob alta luminosidade tendem a ser menores e mais espessas, em consequência apresentam maior densidade estomática, com estômatos de pequeno porte além do número e tamanho de células epidérmicas quando comparadas a folhas expostas a maiores níveis de sombreamento (GONDIM et al., 2008; LAWSON; BLATT, 2014). Em sua maioria, a frequência estomática e epidérmica por unidade de área foliar tende a diminuir com o aumento do sombreamento, em contrapartida, as dimensões dos estômatos ampliam (POMPELLI et al., 2010). Resultado semelhante foi encontrado em mudas de *Coffea arabica*

L. cultivar Catucaí Amarelo 2SL. submetido a diferentes níveis de sombreamento, apresentando maior quantidade de estômatos por mm^2 nas plantas que receberam altos níveis de incidência luminosa (BALIZA et al., 2012).

O estado hídrico da planta assim como a temperatura ambiente, luz e a umidade relativa ditam as respostas de abertura estomática do vegetal (LAWSON; BLATT, 2014). A maior abertura estomática sob condição de sombreamento intenso está diretamente relacionada a fatores abióticos como a temperatura e umidade relativa do ar neste ambiente, favorecendo a abertura ostiolar por um período maior (LAWSON; BLATT, 2014). Porém, quando a planta está submetida a fatores estressantes, a diminuição da abertura estomática ou até mesmo o fechamento total se torna uma resposta de proteção da espécie. A hipóxia do solo diminui a permeabilidade e condutividade hidráulica das raízes decorrente da desnaturação das aquaporinas, com isso, a quantidade de água transpirada precisa ser reduzida para evitar o decréscimo do conteúdo interno na planta, sendo o fechamento estomático ou a redução da abertura ostiolar um mecanismo protetivo diante a situação, tendo como consequência, portanto a diminuição das trocas gasosas (TOURNAIRE-ROUX et al., 2003; DALMOLIN et al., 2012; LAWSON; BLATT, 2014).

Restrição na disponibilidade de água no solo também pode ser um fator estressante a espécie não adaptada, gerando a mesma consequência estomática que a condição de alagamento, porém, estimulada pelo hormônio ácido abscísico (ABA) produzido em maiores quantidades pelas raízes quando em situações de deficiência hídrica e translocado para os tecidos foliares através do xilema (DUTRA et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Maior espessura da epiderme adaxial em folhas com altos níveis de sombreamentos foi encontrada também em *Coffea arabica* L., sendo atribuídas essas alterações estruturais a diferentes concentrações de auxina que permite a maior distensão de células da epiderme, pois esse fitormônio concentra-se em regiões menos iluminadas, no caso de folhas com altos níveis de sombreamentos a auxina é encontrada em toda sua extensão foliar, inclusive nas células da epiderme (BALIZA et al., 2012). Já a epiderme abaxial aos 40 dias foi maior nos sombreamentos 0 e 70%, assim como em *Hancornia speciosa* Gomes submetidas as mesma intensidades de luz, na qual não apresentou diferença estatística entre as duas extremidades de sombreamento (SANTOS et al., 2014).

O aumento da espessura da epiderme e cutícula em condições de altas disponibilidades luminosas são características que conferem as plantas uma proteção extra contra a radiação solar e perda de água excessiva, auxilia na refletância e contribui para a manutenção da temperatura foliar (NERY et al., 2007; BATISTA et al., 2010).

A cutícula mais espessa em folhas com maiores incidência luminosa mostra que plantas dessas condições precisaram investir mais nessa estrutura para que ela funcione como barreira para o excesso de transpiração (BALIZA et al., 2012).

Maiores espessuras do parênquima paliçádico sob condições de maiores níveis de luminosidade tem sido relatado em inúmeras espécies, pois o aumento da intensidade de radiação solar influencia a divisão, o crescimento e a diferenciação celular, promovendo assim o alongamento das células (SANTOS et al., 2014). Esses mesmos autores verificaram aumento do parênquima paliçádico em mudas de *Hancornia speciosa* Gomes e em *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg quando submetidas a condições de pleno sol, 70% de nível de luminosidade, já que folhas produzidas sob alta intensidade luminosa tendem a ser menores e mais espessas quando comparadas com folhas que recebem altos níveis de sombreamento, e o maior parênquima lacunoso em condições de 30% e 70% de nível de luz nas folhas de *H. speciosa*, assim como identificado em *C. fissilis*.

O parênquima lacunoso mais espesso que o paliçádico assim como em *C. fissilis* foi encontrado também em folhas de *Ilex paraguariensis* A. St. Hill. sob diferentes sombreamentos, não havendo diferença estatística dessa estrutura entre os níveis de intensidade luminosa, sendo o aumento da espessura um fator que favorece a difusão da luz no mesofilo devido sua estrutura organizacional, tornando mais eficiente a distribuição dos feixes luminosos no interior da folha e aumentando portanto a absorção pelos cloroplastos (FERMINO JUNIOR; FOCKINK, 2017). Cada espécie arbórea tem capacidade intrínseca de responder as alterações na disponibilidade de luz, sendo a folha um órgão dotado de plasticidade e sua estrutura interna permite a adaptação a determinadas condições de luminosidade, esta, que exerce forte influencia sobre anatomia foliar independente da fase de desenvolvimento que a folha se encontra (NERY et al., 2007).

Durante os 40 dias de avaliação, as mudas de *C. fissilis* apresentaram menor desempenho fisiológico quando alagadas, sendo agravado quando associado ao baixo nível de sombreamento, porém desenvolveram mecanismos adaptativos em resposta a anoxia e as altas taxas de incidência luminosa para garantir a sobrevivência ao período de estresse, confirmando as informações da literatura sobre a espécie que em sua fase de desenvolvimento inicial é melhor sob sombreamento e em ambientes não anóxicos.

5. Conclusão

As mudas de *C. fissilis* sob alagamento apresentaram menor crescimento em massa, raiz, área foliar e qualidade além de respostas que induziram as modificações anatômicas sinalizadoras de estresse como menor abertura estomática. O alagamento associado a 70% de sombreamento minimizou os efeitos do estresse por alagamento.

O cultivo a pleno sol associado ao alagamento são prejudiciais ao crescimento das mudas.

As mudas controle apresentaram melhores resultados de crescimento inicial e qualidade.

Referências

- AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011.
- BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L.; CASTRO, E. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 22, n. 1, p. 91-98, 2008.
- BATISTA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; PEREIRA, F. J.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. D. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BINOTTO, B.; ANTONIAZZI, A. P.; NEUMANN, G. M.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Tolerância de plântulas de *Cedrela fissilis* Vell. a diferentes amplitudes e intensidades de inundação. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1339-1348, 2016.
- BONAMIGO, T.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Substratos e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae). **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 501-511, 2016.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 2003. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/temp/index_especies.htm>. Acesso em: 06/08/2017.

CNCFLORA. *Cedrela fissilis* in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2 Centro Nacional de Conservação da Flora. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela fissilis](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Cedrela%20fissilis)>. Acesso em: 26 abril 2017.

DALMOLIN, A. C.; DALMAGRO, H. J.; LOBO, F. D. A.; ANTUNES JUNIOR, M. Z.; ORTÍZ, C. E. R.; VOURLITIS, G. L. Effects of flooding and shading on growth and gas exchange of *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) of invasive species in the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 24, n. 2, p. 75-84, 2012.

DALMOLIN, A. C.; THOMAS, S. E. O.; ALMEIDA, B. C.; ORTIZ, C. E. R. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2015.

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

DUTRA, C. C.; PRADO, E. A. F.; PAIM, L. R.; SCALON, S. P. Q. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2657-2668, 2012.

EMBRAPA. **Guia clima**. Disponível em: <<http://mob.cpao.embrapa.br/?lc=site/banco-dados/construtor-horaria>> acessado em: 19/08/2017.

FERMINO JUNIOR, P. C. P.; FOCKINK, G. D. Anatomia foliar de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.) sob diferentes níveis de sombreamento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p. 335-341, 2017.

FERREIRA, D. F. S. A. computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREIBERGER, M. B.; GERRINI, I. A.; GALETTI, G.; FERNANDES, D. M.; CORRÊA, J. C. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385-392, 2013.

FONSECA, É. D. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GONÇALVES, J. F. D. C.; MELO, E. G. D. F.; SILVA, C. E. M. D.; FERREIRA, M. J.; JUSTINO, G. C. Estratégias no uso da energia luminosa por plantas jovens de *Genipa spruceana* Steyererm submetidas ao alagamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 391-398, 2012.

GONDIM, A. R. O.; PUIATTI, M.; VENTRELLA, M. C.; CECON, P. R. Plasticidade anatômica da folha de taro cultivado sob diferentes condições de sombreamento. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 1037-1045, 2008.

GRISI, F. A.; ALVES, J. D.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L. A. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuai’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, 2008.

GRISI, F. A.; ANGELO, A. C.; BOEGER, M. R.; LEITÃO, C. A. E.; GALVÃO, S. F. Wendling, I. Morfoanatomia foliar em mudas de *Schinus terebinthifolius* sob diferentes níveis de saturação hídrica. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 881-894, 2011.

INOUE, M, T; **Fundamentos ecofisiológicos para a silvicultura de Cedrela spp.** 91 f. 1978. Tese (Concurso de Professor) – Titular de Silvicultura, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 15, n. 3, p. 259 – 263, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 2004. 531 p.

LAWSON, T.; BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556-1570, 2014.

LENHARD, N. R.; SCALON, S. D. P. Q.; NOVELINO, J. O. Crescimento inicial de mudas de pau ferro (*Caesalpinia férrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth.) sob diferentes regimes hídricos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 870-877, 2010.

LENHARD, N, R.; PAIVA NETO,V. B.; SCALON,S. P. Q.; ALVARENGA, A. A. Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 178-186. 2013.

LIRA, J. M. S.; FERREIRA, R. A.; JUNIOR, S.; SANTOS NETO, E. M. D.; SANTANA, W. D. S. Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) DC sob alagamento para uso na recuperação de matas de ciliares. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 4, p. 655-665, 2013.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum,. 2008. 368p.

MEDRI, M. E.; FERREIRA, A. C.; KOLB, R. M.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; DAVANSO-FABRO, V. M.; MEDRI, C. Alterações morfoanatômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 29, n. 1, p 15-22, 2007.

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

NERY, F. C.; ALVARENGA, A. A.; JUSTO, C. F.; CASTRO, E. M.; SOUZA, G. S.; ALVES, E. Aspectos anatômicos de folhas de plantas jovens de *Calophyllum brasiliense* Cambess. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p 129-131, 2007.

PACHECO, F. V.; PEREIRA, C. R.; SILVA, R. L. D.; ALVARENGA, I. C. A. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A.St.-

Hil (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945-953, 2013.

PINTO, J. V. C.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; FORMAGIO, A. S. N.; CARDOSO, C. A. L.; CARNEVALI, T. O. Effect of Soil Nitrogen and Phosphorus on Early Development and Essential Oil Composition of *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 19, n. 1, p. 247-257, 2016.

POMPELLI, M. F.; MARTINS, S. C. V.; CELIN, E. F.; VENTRELLA, M. C.; MATTA, F. M. What is the influence of ordinary epidermal cells and stomata on the leaf plasticity of coffee plants grown under full-sun and shady conditions?. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 4, p. 1083-1088, 2010.

REHEM, B. C.; ALMEIDA, A. A. F. D.; MIELKE, M. S.; GOMES, F. P. Efeitos do alagamento do substrato no crescimento e na composição química de genótipos clonais de *Theobroma cacao* L. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 805-815, 2009.

SALAMONI, A. T.; CANTARELLI, E. B.; MÜLLER, G.; WEILER, E. Germinação e desenvolvimento inicial de *Cedrela fissilis* Vell. em diferentes substratos. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p. 978, 2012.

SANTOS, G. M.; PAIVA, J. C. Q. C.; SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M. Avaliação da intensidade luminosa no desenvolvimento inicial de espécies frutíferas nativas do cerrado. **Acta Biológica Catarinense**, v. 1, n. 1, p. 5-14, 2014.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TOURNAIRE-ROUX, C.; SUTKA, M.; JAVOT, H.; GOUT, E.; GERBEAU, P.; LUU, D. T.; BLIGNY, R. MAUREL, C. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. **Nature**, v. 425, n. 6956, p. 393-397, 2003.

WILKINSON, H. **The plant superface (mainly laf).** *In: C.R. Metcalfe y chalk (eds.) Anatomy of Dicotyledons.* Oxford, Claredon press. London. 1979.p. 97-165.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mudas de *C. fissilis* apresentaram redução nas taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática ao longo dos 40 dias de avaliação; porém, durante esse período, houve aumento dos parâmetros anatômicos como a densidade estomática, e de crescimento inicial como o diâmetro do caule, altura, comprimento de raiz, área foliar, massa seca da parte aérea e de raiz, Índice da Qualidade de Dickson;

As mudas que estavam alagadas apresentaram menor abertura estomática independente do nível de sombreamento e maior atividade enzimática da catalase, peroxidase e superóxido dismutase em sua parte aérea e radicular;

Quando sob maior nível de sombreamento (70%), os indivíduos jovens de *C. fissilis* apresentaram maior eficiência instantânea e intrínseca no uso da água, eficiência de carboxilação da Rubisco e aumento da espessura da epiderme abaxial aos 40 dias.

Sob 30% de sombreamento, o parênquima lacunoso aos 40 dias apresentou a maior espessura;

Plantas a pleno sol (0% de nível de sombreamento) obtiveram menores resultados para a eficiência quântica potencial do fotossistema II, concentração interna de CO₂ e índice estomático. Em contrapartida, a epiderme adaxial foi mais espessa;

O parênquima paliçádico, cutícula adaxial e cutícula abaxial decresceram com o aumento da intensidade do sombreamento.

As mudas apresentam maior eficiência de trocas gasosas e atividade antioxidante quando o alagamento é associado ao sombreamento de 70%, onde apresentaram maior crescimento e respostas que induziram as modificações anatômicas. As mudas controle obtiveram melhores resultados de crescimento inicial e qualidade das mudas. Assim, as mudas de *C. fissilis* são sensíveis ao alagamento do solo por até 40 dias principalmente se o alagamento for associado a maior disponibilidade luminosa sendo os sintomas agravados quando os fatores são associados.

