



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA  
DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

**LUIZ FERNANDO GONÇALVES LOURENÇO**

**Efeitos do alagamento e suspensão hídrica na morfologia e fisiologia  
em plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert  
(Fabaceae)**

Maringá  
2023

**LUIZ FERNANDO GONÇALVES LOURENÇO**

**Efeitos do alagamento e suspensão hídrica na morfologia e fisiologia  
em plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert  
(Fabaceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.  
Área de concentração: Ecologia e Limnologia

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio de Souza  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lindamir Hernandez  
Pastorini

Maringá  
2023

"Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)"  
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

L892e Lourenço, Luiz Fernando Gonçalves, 1996-  
Efeitos do alagamento e suspensão hídrica na morfologia e fisiologia em plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert (Fabaceae) / Luiz Fernando Gonçalves Lourenço. -- Maringá, 2023.  
51 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2023.  
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio de Souza.  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lindamir Hernandez Pastorini.

1. *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert (Fabaceae) "canafistula" - Ecofisiologia - Variações hídricas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Vegetação arbórea ripária - Variações hídricas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -583.74176409816

**LUIZ FERNANDO GONÇALVES LOURENÇO**

**Efeitos do alagamento e suspensão hídrica na morfologia e fisiologia  
em plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert  
(Fabaceae)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Luiz Antonio de Souza  
Nupélia/ Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira  
Universidade Estadual de Londrina (UEL)

Dr. Gabriel Rezende Ximenez  
Universidade Estadual de Maringá (Pós-doutorando PGB)

Aprovada em: 30 de maio de 2023.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

## **AGRADECIMENTO(S)**

Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA).

Ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia).

A todo corpo docente da Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA).

Aos funcionários da Base do Nupélia em Porto Rico.

Aos meus colegas de laboratório Renata e Anderson que me auxiliaram e tornaram possível a execução deste trabalho de pesquisa.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Luiz Antonio Souza e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lindamir Pastorini pelos ensinamentos e principalmente pela paciência e compreensão.

Ao meu amigo Luan Maler pelos conselhos e incentivo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A vida se cria no delírio e se desfaz no tédio.”

(Emil Cioran)

# Efeitos do alagamento e suspensão hídrica na morfologia e fisiologia em plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert (Fabaceae)

## RESUMO

Zonas ripárias estão sujeitas a variações hídricas, alagamento e seca, alterando as características do ambiente, podendo ocasionar estresse em plantas que, em resposta, podem alterar suas características morfológicas e fisiológicas. Com isso, objetivou-se analisar como: (i) as variações hídricas (alagamento e suspensão hídrica) podem afetar características morfológicas e seu crescimento? (ii) elas podem gerar alterações no teor de clorofila e carboidratos solúveis totais? (iii) as características fisiológicas podem promover a recuperação das plantas ao retornar à capacidade de campo?. Plantas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert, foram mantidas em capacidade de campo (controle), alagamento e suspensão hídrica, durante 15 dias, seguido de submissão ao tratamento de recuperação por 25 dias, para avaliação morfológica, fisiológica e sobrevivência. Foram analisados as características morfológicas, os parâmetros de crescimento e os teores de clorofila e carboidratos solúveis totais; ao final dos experimentos foi feita a contagem de indivíduos sobreviventes ao final do experimento. O alagamento ocasionou o amarelecimento das folhas e o surgimento de lenticelas hipertrofiadas e a suspensão hídrica provocou murcha foliar seguido de abscisão. O estresse induzido pela suspensão hídrica afetou negativamente a biomassa fresca e seca das folhas, do caule e da raiz, o número de folhas e o diâmetro do caule, em relação ao alagamento a altura da parte aérea, biomassa fresca da raiz, e o diâmetro do caule apresentaram diferenças significativas, quando comparado com o controle. No tocante aos teores de clorofila analisados, apenas a relação clorofila *a/b* apresentou diferenças significativas entre o tratamento de suspensão hídrica e os tratamentos controle e alagamento. As análises nos teores de carboidrato solúvel nas folhas e raízes indicaram que a suspensão hídrica se diferenciou significativamente dos tratamentos controle e alagamento. Após o término do tratamento de recuperação, todas as plantas do pós-alagamento sobreviveram, enquanto as plantas da pós-suspensão hídrica não apresentaram sinais de recuperação. Embora o alagamento tenha afetado negativamente as plantas em suas folhas e parâmetros de crescimento, os resultados indicam que a espécie investigada tem maior tolerância a esse tipo de estresse quando comparada com aquela submetida à suspensão hídrica.

**Palavras-chave:** Clorofila; Carboidratos; Estresse abiótico; Lenticelas.

# Effects of waterlogging and water suspension on the morphology and physiology of *Peltophorum Dubium* (Sprengel) Taubert (Fabaceae)

## ABSTRACT

Riparian zones are subject to water variations, flooding and drought, altering the characteristics of the environment, which can cause stress in plants that, in response, can alter their morphological and physiological characteristics. With this, we aimed to analyze how: (i) water variations (waterlogging and water suspension) can affect morphological characteristics and their growth? (ii) can they generate changes in chlorophyll and total soluble carbohydrates content? (iii) can physiological characteristics promote plant recovery when returning to field capacity? *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert plants were maintained at field capacity (control), waterlogging and water suspension for 15 days, followed by submission to the recovery treatment for 25 days, for morphological, physiological and survival evaluation. Morphological characteristics, growth parameters and chlorophyll and total soluble carbohydrate contents were analyzed; at the end of the experiments, the number of surviving individuals was counted. Waterlogging caused yellowing of leaves and appearance of hypertrophied lenticels and water suspension caused leaf wilting followed by abscission. The stress induced by water suppression negatively affected the fresh and dry biomass of the leaves, stem and root, the number of leaves and the diameter of the stem, in relation to waterlogging the height of the aerial part, fresh biomass of the root, and the diameter of the stem showed significant differences, when compared to the control. Regarding the chlorophyll contents analyzed, only the chlorophyll a/b ratio showed significant differences between the water suspension treatment and the control and waterlogging treatments. The analyses of soluble carbohydrate contents in leaves and roots indicated that the water suspension differed significantly from the control and waterlogging treatments. After the end of the recovery treatment, all post-waterlogging plants survived, while post-water suspension plants showed no signs of recovery. Although waterlogging negatively affected the plants in their leaves and growth parameters, the results indicate that the investigated species has greater tolerance to this type of stress when compared to that subjected to water suspension.

**Keywords:** Chlorophyll; Carbohydrates; Abiotic stress; Lenticels.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Área de coleta do material botânico.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Preparação e delineamento amostral.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Experimento e avaliação morfológica.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Ensaio em vasos e avaliação morfológica.....	14
<b>2.4 Análise dos parâmetros fisiológicos.....</b>	<b>14</b>
2.4.1. Variáveis de crescimento.....	15
2.4.2 Quantificação dos pigmentos fotossintéticos.....	16
2.4.3 Quantificação de carboidratos solúveis totais.....	16
<b>2.5 Recuperação (reidratação das plantas).....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Análise dos dados.....</b>	<b>17</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Avaliação morfológica.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Avaliação de crescimento.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Carboidratos solúveis totais .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Teor de clorofila.....</b>	<b>26</b>
<b>4 DISCUSSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As zonas ripárias são áreas ecotonais que possuem interfaces entre os ambientes aquáticos e terrestres (Rood et al, 2020; Janssen 2019), incluindo as margens de rios e riachos, lagos, represas e planícies, assim como áreas que estão sujeitas a inundações oriundas do lençol freático e da expansão lateral da água (Marcílio et al., 2019). Essas áreas possuem complexidade ambiental em virtude da dinâmica apresentada pelos fatores hidrológicos e geomorfológicos (Capom, 2020), promovendo, assim, características que se moldam em escalas de tempo e espaço e que são passíveis às influências dos ecossistemas adjacentes (Hille et al. 2018); isso possibilita a heterogeneização estrutural e, também, a diversidade de atributos funcionais nessas áreas (Mello et al., 2017).

As interfaces entre os ecossistemas terrestres e aquáticos são particularmente sensíveis às mudanças nos fatores ambientais que a compõem (Nagy et al., 2015), principalmente por influência de sua hidrodinâmica (Junk et al., 2013). Com as mudanças climáticas, estes fatores têm sofrido alterações nas condições ambientais (Li et al., 2022), principalmente, ocasionadas pelo aumento na temperatura, acarretando mudanças no ciclo hidrológico por meio de alterações nos padrões de precipitação e evapotranspiração (IPCC, 2022). Assim, como os efeitos de atividades antrópicas (Huang et al., 2021), esses fatores alterados acarretam mudanças substanciais na organização das zonas ripárias (Turunen, et al., 2019).

Nesses ambientes ripários, diferentes espécies exploram um mosaico de habitats que periodicamente são reorganizados espacialmente e temporalmente, diante da dinâmica criada por gradientes com distintas características físicas e por regimes ocasionais de perturbação (Nagy et al., 2015). No caso da vegetação, criam-se padrões espaciais complexos, em virtude das respostas ocasionadas pela variação topográfica, hídrica, climática e edáfica (Alexandre, 2016; Lozano-Garcia et al., 2016), e assim as espécies podem apresentar elevada plasticidade morfológica e fisiológica, devido às condições periódicas e sazonais as quais estão sujeitas (Olguin et al., 2020).

Os níveis de umidade do solo, por exemplo em zonas ripárias, não são constantes ao longo do tempo, mas apresentam um comportamento previsível ligado às propriedades físicas, à topografia da área e à distribuição das chuvas (Van Den Berg e Oliveira-Filho, 1999), resultando em uma forte pressão seletiva sobre as espécies de plantas de acordo com o gradiente de umidade gerado (Rodríguez et al., 2020).

No período de inundação em zonas ripárias, as condições físicas e químicas

podem ser alteradas de acordo com a frequência, intensidade e período de duração, tornando em alguns casos, o ambiente crítico em relação ao estabelecimento, sobrevivência (Garson, 2017; Seymen, 2019), e aos processos reprodutivos das plantas (Greet et al., 2020; Moxhan et.al., 2019). Dentre elas, destacam-se as alterações edáficas, que têm como principal efeito a transformação do ambiente em hipóxico ou até mesmo anóxico, devido à depleção de oxigênio ocasionada pela menor difusão do gás em ambientes aquáticos (Zhang et al., 2020).

Para suportar o período de inundação e seus efeitos, as espécies vegetais podem expressar caracteres adaptativos (Jia et al., 2021), de origem morfológica ou fisiológica (Bejarno et al., 2018). Estes caracteres adaptativos em nível de indivíduo podem variar de acordo com a constituição genética, idade e tempo de exposição (Drew e Lynch, 1980). Dentre as características comumente registradas, estão a formação de raízes adventícias, aerênquima e lenticelas hipertrofiadas (Dalmolin et. al., 2018; Yin et al., 2013), às alterações metabólicas, havendo o desvio da rota aeróbia para anaeróbia (Peng et al., 2020), e o maior acúmulo e menor consumo de carboidratos não estruturais (Schiestl-Aalto et.al, 2019).

Diferentemente das áreas passíveis de inundação, os efeitos da variação hídrica em áreas não inundáveis, parecem estar relacionados à disponibilidade hídrica no solo (Fan et., 2019). Em períodos de seca extrema, que é considerada quando o total de água que entra no sistema solo-planta é menor do que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração das plantas, pode-se dizer que a deficiência de água ocorre nos tecidos vegetais, pois o balanço hídrico é negativo (Duarte et al., 2013). Nesses períodos, o nível da água presente no solo pode reduzir consideravelmente, podendo influenciar características vegetativas, as formas de tolerância e, conseqüentemente, a distribuição das espécies (Comita e Engelbrecht, 2014). Com isso, tendem a gerar respostas que mitiguem a perda de água e maximizem sua absorção, desenvolvendo raízes profundas, órgãos de reserva, respostas em seu aparato foliar, como o fechamento estomático nas folhas e abscisão foliar e produção de carboidratos solúveis para regulação osmótica (Xiong et al. 2006; Dghim et al., 2018).

Após os eventos de alagamento e suspensão hídrica, as plantas ainda podem estar sujeitas às alterações metabólicas decorrentes desses períodos, que determinaram a sua capacidade de recuperação, que podem, com isso, reverter rapidamente os danos ocasionados ou torná-los permanentes de acordo com a severidade (Luo et al., 2008), pois a tolerância a estresses abióticos é muito complexa devido a interações intrínsecas entre

os fatores de estresse e os vários fenômenos moleculares, bioquímicos e fisiológicos específicos que podem vir a afetar o crescimento celular, desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sua sobrevivência (Wang, 2022; Shika et al., 2023).

A espécie *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert, popularmente chamada de canafístula, é caducifólia, heliófita, classificada no grupo sucessional como pioneira ou secundária inicial e com rápido crescimento (Dutra, 2013; Carvalho, 2014). Suas sementes possuem comportamento ortodoxo e apresentam dormência física, imposta pelo tegumento impermeável a água e a gases, impedindo sua hidratação e, conseqüentemente, a germinação (Pereira et al. 2013). Ela ocorre em toda a extensão da Floresta Estacional Semidecidual (Carvalho, 2014).

Esse tipo de região fitoecológica está condicionada à dupla estacionalidade climática: uma tropical, com épocas de intensas chuvas de verão seguidas por estiagens acentuadas; e outra subtropical, sem períodos secos, mas que causam seca fisiológica devido ao intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C (Velloso et al., 1991). Atualmente, a maioria dos remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual é formada de florestas secundárias com tamanhos reduzidos, diferentes idades e diversos históricos de perturbação (Kronka et al., 2005). Assim, cada um desses remanescentes florestais possui uma flora particular (Liebsch et al., 2008), com fitofisionomia desse tipo de formação (Cardoso-Leite e Rodrigues, 2008).

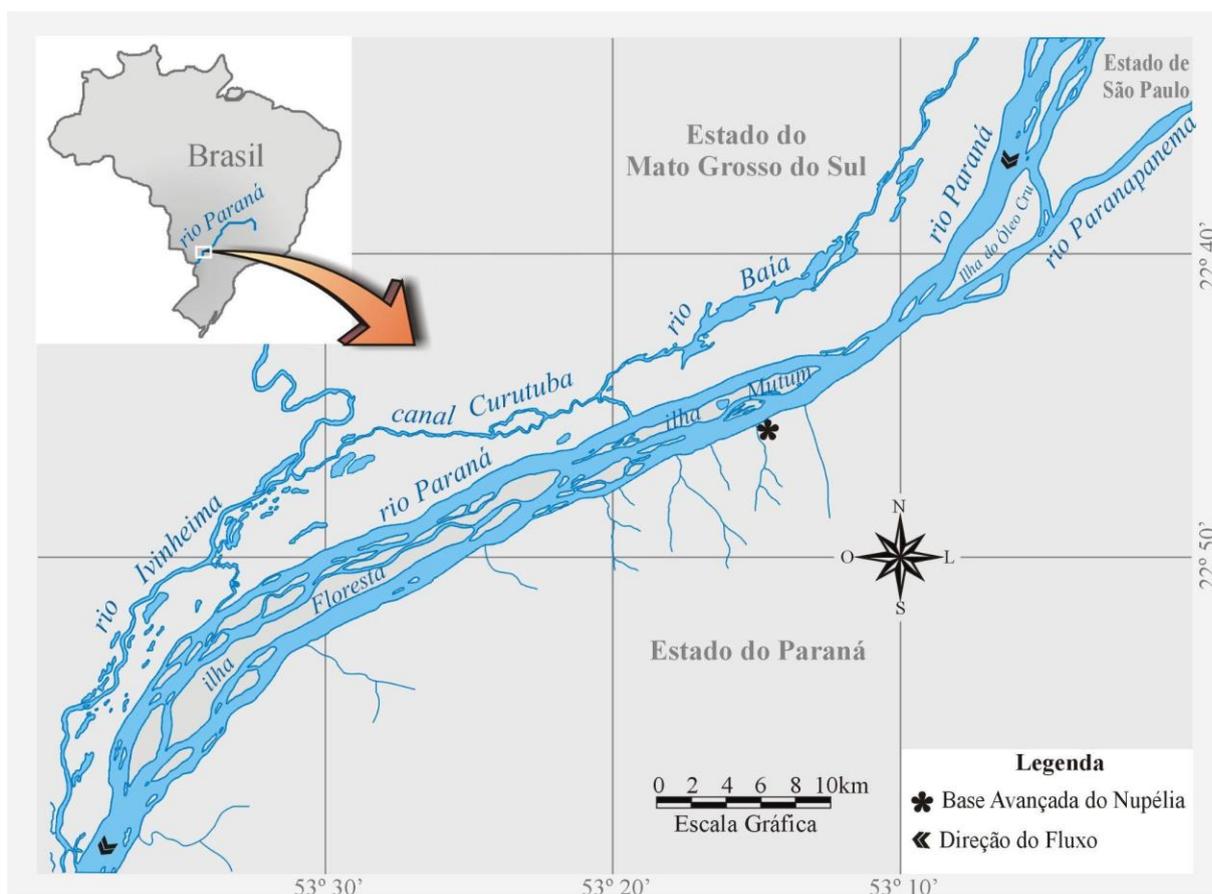
Considerando que *P. dubium*, coloniza tanto locais passíveis de inundação, assim como áreas sujeitas a seca em zonas ripárias, como demonstrado em levantamentos fitossiológicos realizados em remanescentes florestais na planície de inundação do Alto Rio Paraná (Fernandes et al., 2023), no quais foram coletados os frutos para a realização deste estudo. Com isso, pode-se considerar essa espécie de interesse ecológico para estudos relacionados às adaptações morfológicas e fisiológicas induzidas por variações hídricas.

Assim, o objetivo desse trabalho consiste em responder às seguintes questões: (i) as variações hídricas (alagamento e suspensão hídrica) podem afetar características morfológicas e seu crescimento? (ii) elas podem gerar alterações no teor de clorofila e carboidratos solúveis totais? (iii) as características fisiológicas podem promover a recuperação das plantas ao retornar à capacidade de campo?

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de coleta do material botânico

A área de coleta está situada na planície alagável do Alto Rio Paraná, abrangendo as áreas dos Municípios de Porto Rico, São Pedro do Paraná e Marilena, no Estado do Paraná, e de Boitoporã, Jateí e Taquaraçu, em Mato Grosso do Sul, possuindo limites 22°40' a 22°55'S e 53°10' a 53°40'W aproximadamente. Neste trecho o rio Paraná apresenta padrão geomorfológico multicanal, abrigando, em seu lado direito, diversos subambientes fluviais, como canais secundários, diques marginais, lagoas e pântanos, estabelecendo extensa planície de inundação. No lado esquerdo, em grande parte, é composto por barrancos altos e estáveis (Souza Filho e Stevaux, 1997). Em relação ao clima, segundo o sistema de classificação de Köppen, é do tipo Cfa (clima subtropical) (Maack, 1981), possuindo uma precipitação média anual de 1500mm, com maior volume no mês de outubro e menor entre junho e agosto (IAPAR, 1994).



**Figura 1** Área de coleta do material botânico. Fonte: [peld.uem.br/peld-Localizacao.htm](http://peld.uem.br/peld-Localizacao.htm)

### 2.2 Preparação e delineamento amostral

Para o desenvolvimento desse estudo, foram coletados frutos de *Peltophorum dubium* em matrizes pertencentes a remanescentes florestais adjacentes ao Rio Paraná, no município de Porto Rico, Estado do Paraná, Brasil. Os frutos foram levados ao Laboratório de Sementes e Plântulas da UEM, no município de Maringá, Estado do Paraná, Brasil, onde ocorreu a abertura manual dos frutos secos e a obtenção das sementes.

Em laboratório as sementes foram retiradas dos frutos maduros, totalizando 325 sementes, sendo distribuídas de maneira uniforme em bandejas de isopor contendo areia e substrato comercial Fertilizare® na proporção de 2:1, respectivamente, para germinação. Antes da sementeira, foi realizada a escarificação mecânica das sementes, com o uso de lixa nº 80, para facilitar sua germinação. Após a emergência e apresentação de eófilos, as plântulas foram transferidas de forma aleatória para recipientes plásticos de 1kg, sendo um indivíduo em cada recipiente, contendo a mesma composição de substrato utilizado na emergência. O desenvolvimento das plantas e os experimentos de inundação e déficit hídrico foram conduzidos em casa de vegetação.



**Figura 2** – Experimento em fase inicial com plântulas de *Peltophorum dubium*.

## **2.3 Experimento e avaliação morfológica**

### **2.3.1 Ensaio em vasos e avaliação morfológica**

Antes do início do tratamento hídrico, as plantas foram mantidas em capacidade de campo (aclimação) por 120 dias, durante os meses de abril e agosto. As plântulas, ao

final da aclimação, apresentaram altura média de 14 centímetros e 8 nós foliares. Para a montagem do experimento, foram utilizados 45 indivíduos, sendo 15 para cada tratamento.

Os tratamentos nos quais as plantas foram submetidas foram executados durante o período de 01 a 16 de julho, consistindo em:

- Controle (capacidade de campo): nesse tratamento as plantas foram irrigadas diariamente com o intuito de manter a turgidez celular.
- Suspensão hídrica: o tratamento consistiu na suspensão hídrica das plantas durante 15 dias.
- Alagamento: para simular o alagamento, foi utilizada lâmina d'água com três centímetros acima do solo por 15 dias.
- Recuperação: ao final dos tratamentos, as plantas retornaram de forma imediata a capacidade de campo durante 25 dias. Nessa etapa, os tratamentos anteriores foram tratados como pós-alagamento e pós-suspensão hídrica.

Para a realização da simulação do efeito de alagamento e suspensão hídrica, as plantas foram introduzidas em baldes plásticos contendo água da torneira e baldes privados de irrigação; cada balde continha 3 plantas, totalizando um total de 15 réplicas. Na avaliação morfológica foram registradas, semanalmente, as possíveis alterações nos tratamentos em relação ao controle, como, por exemplo, a ocorrência de lenticelas, raízes adventícias e murcha foliar.

## **2.4 Análise dos parâmetros fisiológicos**

### **2.4.1. Variáveis de crescimento**

As plantas mantidas em cada tratamento foram avaliadas quanto às seguintes variáveis: altura da parte aérea (APE), comprimento da raiz principal (CR) e biomassa fresca (BF), a biomassa fresca foi realizada apenas nos tratamentos com estresse hídrico e não na recuperação, a biomassa seca (BS) da parte aérea (folha e caule) e da raiz e diâmetro do caule (DC). A altura e o comprimento da raiz foram determinados com régua graduada em milímetros. A altura da planta foi registrada desde o colo até o ápice da planta. Para medir o diâmetro caulinar foi utilizado um paquímetro digital (mm). Após, as plantas foram separadas em raízes, caules e folhas, por tratamento, inseridas em embalagens de papel com respectiva identificação, e, posteriormente, submetidas à

secagem em estufa a 60 °C por 48h para obtenção da biomassa seca. As determinações de biomassa, dos diferentes órgãos e tratamentos, foram realizadas com a balança analítica (g). O número de folhas totalmente expandidas de cada planta foi obtido por contagem direta.

#### 2.4.2 Quantificação dos pigmentos fotossintéticos

O conteúdo de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, clorofila total (*a+b*) e carotenoides) foram mensurados em folhas totalmente expandidas do terceiro nó de cinco plantas de cada tratamento. Foram obtidas amostras de aproximadamente 100 mg e a quantificação dos pigmentos ocorreu de acordo com metodologia descrita por Lichtenthaler (1987). As absorvâncias a 470 nm (A470), 647 nm (A647) e 663 nm (A663) foram obtidas utilizando espectrofotômetro Shimadzu UV-1201.

#### 2.4.3 Quantificação de carboidratos solúveis totais

A determinação de carboidratos solúveis totais ocorreu de acordo com metodologia descrita por Clegg (1956). Folhas e raízes de cinco plantas mantidas nos diferentes tratamentos foram coletadas no período da manhã e secas em estufa a 60 °C por 48 horas. A extração dos carboidratos solúveis totais ocorreu com a obtenção de amostras de 50 mg de raízes, separadamente, de cada planta em cada tratamento, colocadas em etanol 80% quente, com almofariz e pilão. Em seguida, o material foi centrifugado obtendo-se extrato alcoólico, que foi evaporado, e adicionado água destilada para obtenção do extrato aquoso, a partir do qual foram determinados os compostos solúveis. Em seguida, 30 µL do extrato aquoso foram misturados com 70 µL de água, 5 mL de reagente antrona e aquecidos a 100 °C por 10 minutos e, em seguida, resfriados em gelo por 3 minutos. A quantificação dos carboidratos solúveis totais ocorreu por reação com antrona e a leitura da absorvância em 620 nm em espectrofotômetro Shimadzu UV-1201, subtraindo o valor de absorvância dos brancos da amostra. Esses valores foram então regredidos em relação às leituras de um conjunto de soluções padrão de glicose.

### 2.5. Recuperação (reidratação das plantas)

Após 15 dias de alagamento e suspensão hídrica, as plantas foram submetidas às

mesmas condições hídricas (capacidade de campo) por 25 dias. Após esse período, foram verificados o número de sobreviventes, a altura das plantas, o número de folhas e a biomassa seca da parte aérea e da raiz. A altura foi obtida utilizando-se régua graduada (cm) e o número de folhas com o método de contagem direta. Para quantificar a biomassa seca, as plantas foram separadas em parte aérea (caule e folhas) e raiz, colocadas em sacos de papel e mantidas em estufa de secagem a 60 °C por 48 horas. Após o período de secagem, foi obtida a biomassa seca utilizando-se balança de precisão (g).

## **2.6. Análise dos dados**

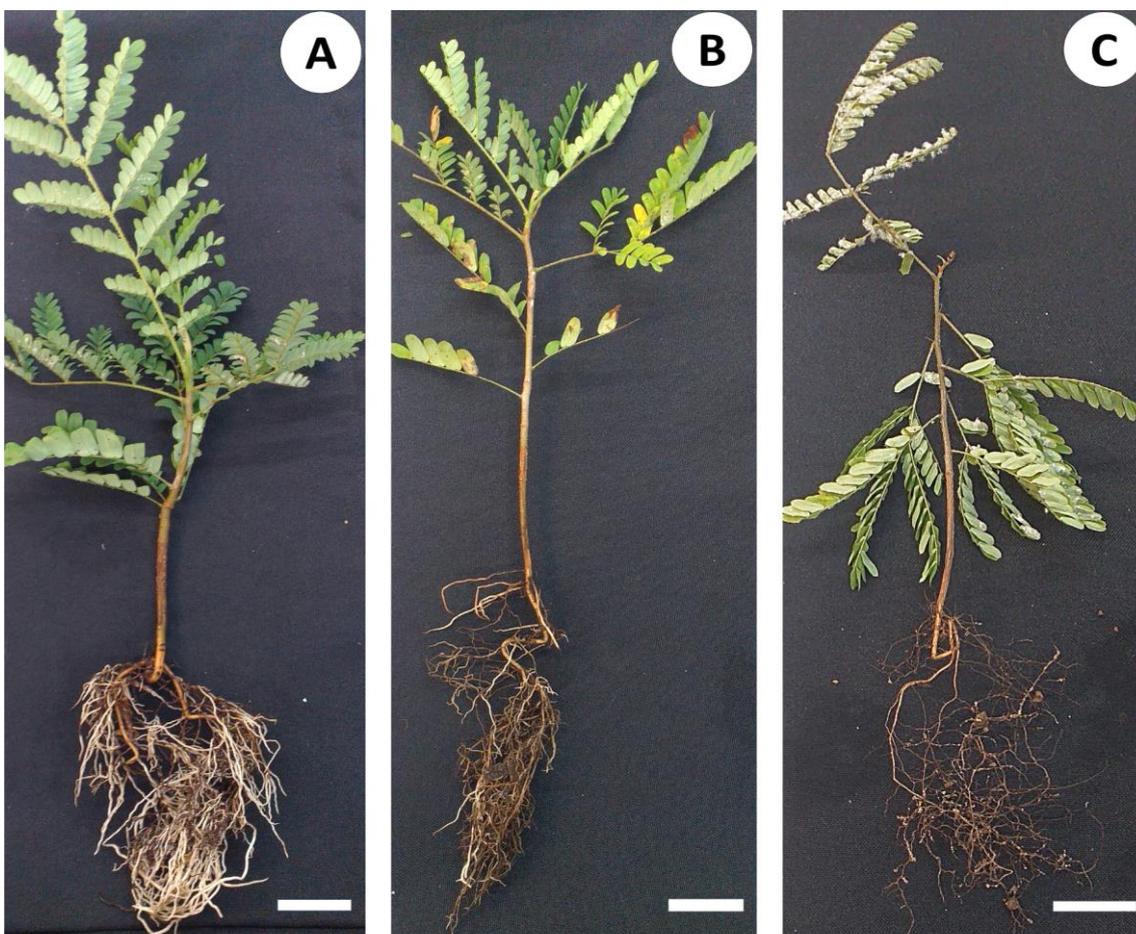
Para avaliar os dados obtidos foram realizadas análises estatísticas utilizando análises de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade e Kruska-Wallis, caso não fossem atingidos os pressupostos, visando à comparação entre médias quantitativas referentes às características morfológicas e fisiológicas trabalhadas nos tratamentos. Caso houvesse diferenças nos resultados obtidos, foi utilizado o teste de Tukey para análises de variância (ANOVA) ou nemenyi test para Kruska-Wallis, objetivando a comparação múltipla entre os resultados a fim de identificar sua origem. Antes da realização das análises, todos os pressupostos foram testados. Os gráficos e análises foram realizados com o auxílio do Software R (R Development Core Team, 2022).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Avaliação morfológica

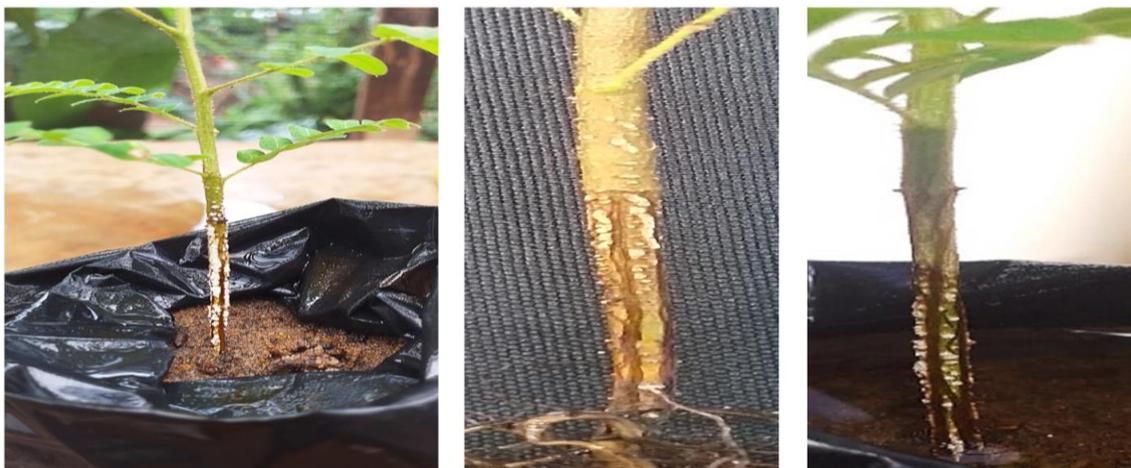
A plântula é fanerocotiledonar e epigeia, com cotilédones foliáceos e eofilo pinado. A planta jovem (plantas-controle) exibe eofilos pinados e metafilo bipinado, com filotaxia alterna helicoidal (Figura 3).

No que concerne à morfologia do eixo aéreo no tratamento de alagamento, foi possível observar nas folhas, após o quinto dia de submissão, o fechamento das mesmas em todas as plantas, seguida de alterações na coloração dos foliólulos para tons amarelos (Figura 3B). Ademais, houve registros da formação de novas folhas nesse tratamento. Outra alteração observada no eixo aéreo, refere-se ao surgimento de lenticelas hipertrofiadas na região caulinar (Figura 4), sendo registradas a partir do sétimo dia de submissão. Estas lenticelas perduraram até o final do tratamento de recuperação. Em relação ao eixo radicular, ao final dos tratamentos, houve o registro de necroses nos ápices radiculares, contudo não ocorreu o surgimento de raízes adventícias.

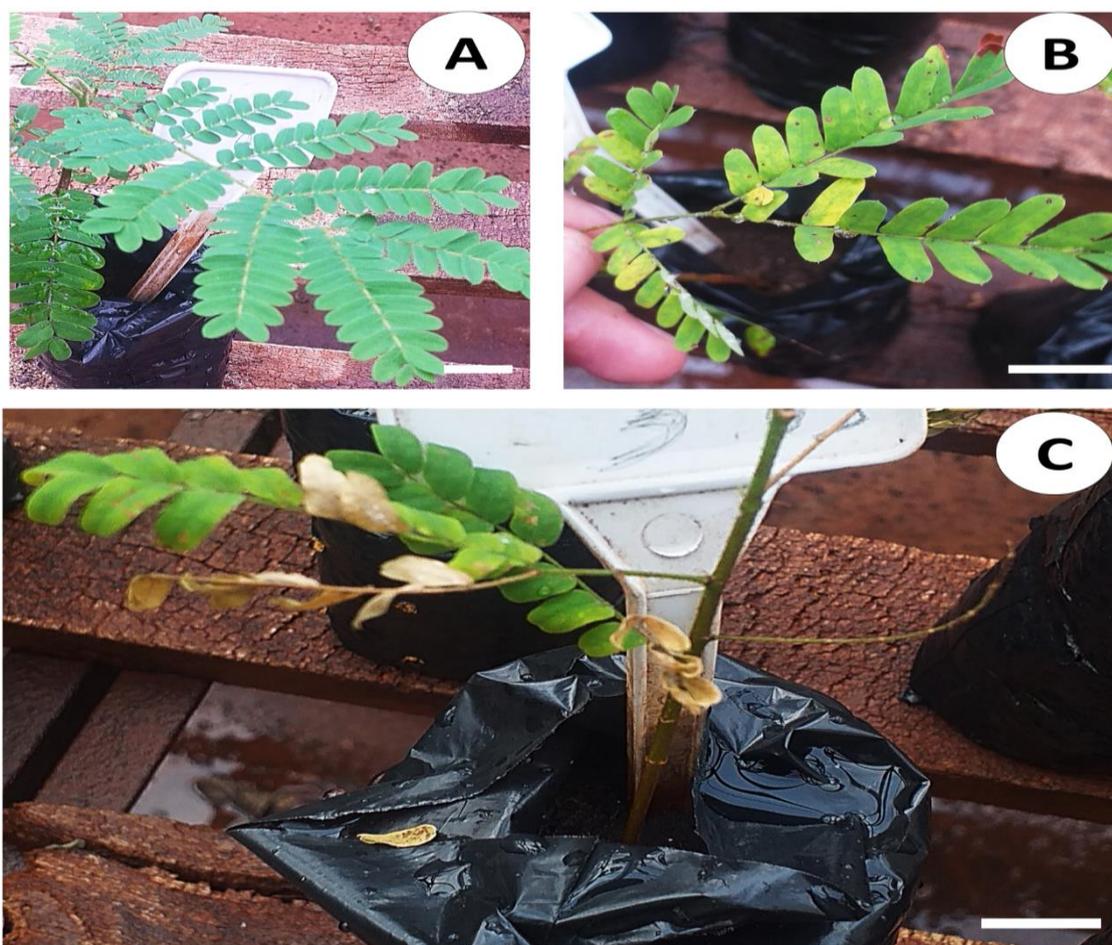


**Figura 3** - Aspectos morfológicos de plantas jovens de *Peltophorum dubium* A) Controle, B) Alagamento,

C) suspensão hídrica, após 15 dias de tratamento. As escalas indicam 2 centímetros.



**Figura 4** - Plantas jovens de *Peltophorum dubium* pertencentes ao tratamento de alagamento, exibindo lenticelas hipetrofiadas na porção aérea basal.



**Figura 5** - Plantas jovens de *Peltophorum dubium* exibindo folhas compostas bipinadas sem alterações no controle (A) e folhas com folíolos amarelados e abscisão no tratamento alagado (B) e senescentes no tratamento de suspensão hídrica (C). As escalas indicam 2 centímetros.

No tratamento de suspensão hídrica, as folhas apresentaram sinais de murcha após cinco dias, se mantendo-se assim até o final dos tratamentos. Abscisão foliar também foi verificada em todos os indivíduos.

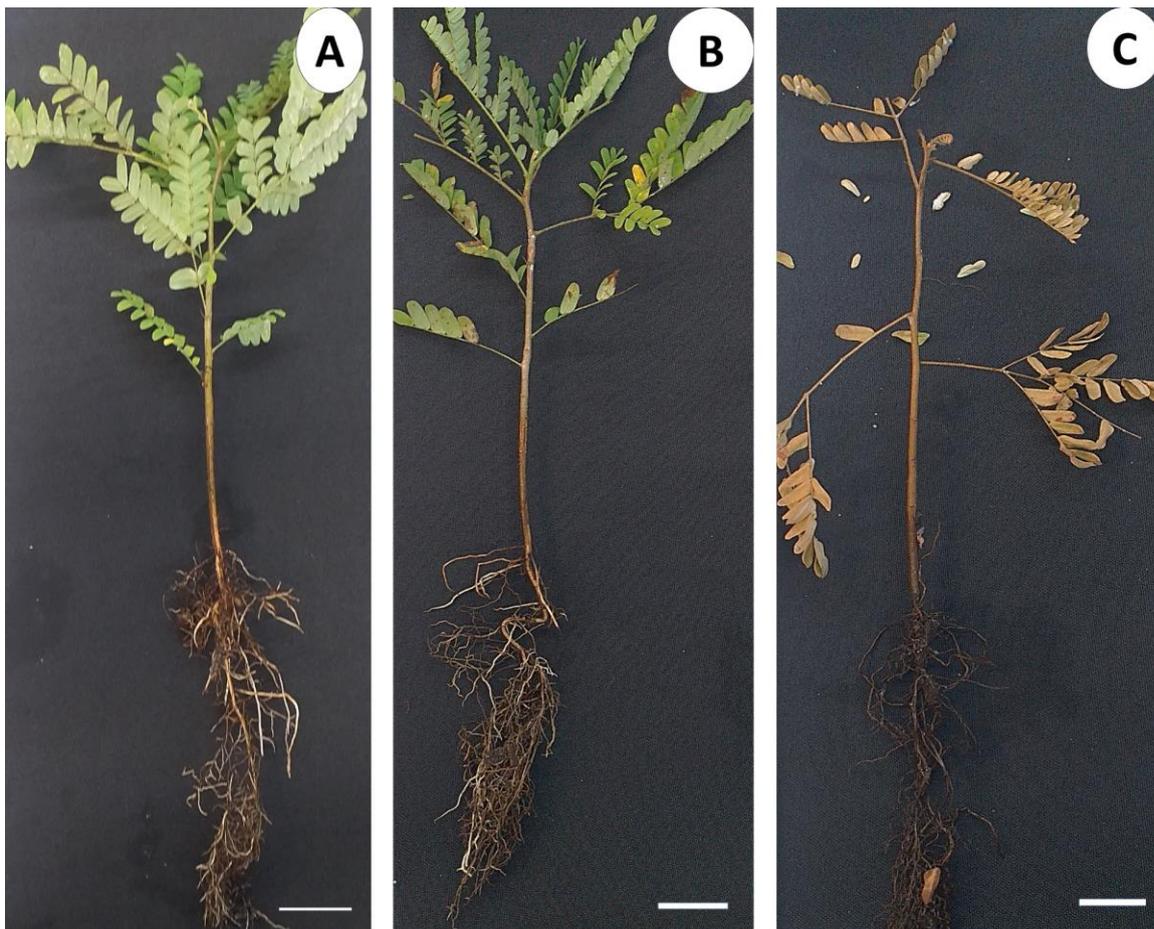


**Figura 6** - Sistema radicular de plantas jovens de *Peltophorum dubium* A) Controle, B) Alagamento, C) suspensão hídrica, após 15 dias de tratamento. As escalas indicam 2 centímetros.

No que concerne ao sistema radicular, foram observadas no tratamento controle e os tratamentos com estresse, um número elevado de ramificações (Figura 6).

Em relação à morfologia das plantas submetidas ao tratamento de recuperação, no tratamento de pós-alagamento, ocorreu o registro de abscisão foliar em duas plantas. Enquanto ao tratamento de pós-suspensão hídrica, não foi possível observar alterações nas características morfológicas foliares que indicassem sinais de recuperação das plantas (Figura 7).

Ao final do tratamento de recuperação, as plantas de *P. dubium* submetidas ao pós-alagamento não apresentaram registros de mortalidade, mantendo as características morfológicas registradas durante o tratamento, como foliólulos com coloração amarelada, possivelmente clorose, e abscisão em alguns ramos. O oposto ocorreu no tratamento de pós-suspensão hídrica em que não houve sinais de recuperação, após a reidratação por 25 dias, mantendo aspectos morfológicos ocasionados pelo estresse desde o tratamento de suspensão hídrica (Figura 3C), como as folhas murchas e sua consequente abscisão (Figura 7C), apresentando senescência de 100% dos indivíduos mesmo após a reidratação.



**Figura 7** - Aspectos morfológicos de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, A) Controle, B) Pós-alagamento, C) Pós-suspensão hídrica, após 25 dias do tratamento de recuperação. As escalas indicam 2 centímetros.

### 3.2 Avaliação de crescimento

Em relação à altura das plantas submetidas aos tratamentos, a menor altura foi registrada no tratamento de suspensão hídrica no processo de recuperação, enquanto a maior altura foi verificada no tratamento alagado. Houve diferença significativa entre os tratamentos de alagamento, esse contendo a maior média, em relação ao controle e a suspensão hídrica, não apresentando diferenças significativas entre os tratamentos controle e suspensão hídrica (Tabela 1).

A avaliação do comprimento da raiz não foi influenciada pela submissão às variações hídricas, não havendo diferença significativa nesse parâmetro (Tabela 1).

O número de folhas foi inferior nas plantas mantidas em suspensão hídrica comparado ao controle e alagamento, enquanto que as plantas mantidas no tratamento controle e alagamento não diferenciaram considerando esse parâmetro (Tabela 1).

**Tabela 1** – Valores médios de Altura da parte aérea, Comprimento da raiz, Número de folhas, Biomassa seca da folha, Biomassa seca do caule, Biomassa seca da raiz, Biomassa seca total, Diâmetro do caule de plantas jovens de *Peltophorum dubium* com 15 dias de tratamento.

Parâmetros/Tratamentos	Controle	Alagamento	Suspensão Hídrica
Altura da parte aérea (cm)	12.6 ± 0.69 b	14.6 ± 0.91a	11.2 ± 0.33b
Comprimento da raiz (cm)	14.4 ± 1.21 a	16.8 ± 1.22 a	14.1 ± 1.98 a
Número de folhas	8.4 ± 0.24 a	8.2 ± 0.58 a	6.6 ± 0.4 b
Biomassa fresca foliar (g)	1.55 ± 0.9 a	1.35 ± 0.12a	0.31 ± 0.05 b
Biomassa seca foliar (g)	0.48 ± 0.04 a	0.48 ± 0.03a	0.26 ± 0.04 b
Biomassa fresca do caule(g)	0.88 ± 0.1a	0.81 ± 0.12a	0.28 ± 0.03b
Biomassa seca do caule (g)	0.4 ± 0.06 a	0.35 ± 0.04ab	0.22 ± 0.04 b
Biomassa fresca raiz (g)	2.2 ± 0.3 a	1.21 ± 0.16 b	0.25 ± 0.05 c
Biomassa seca raiz (g)	0.34 ± 0.4 a	0.23 ± 0.03a	0.22 ± 0.03 a
Diâmetro do caule (mm)	2.36 ± 0.13 a	1.82 ± 0.08 b	1.5 ± 0.1b

Valores na tabela representam a média ± erro padrão. As letras diferentes indicam diferenças significativas. A altura da Parte Aérea e Massa Fresca Foliar foram analisados utilizando Kruskal-Wallis e com o Teste de Nemenyi como post-hoc; Os demais parâmetros foram analisados via análise de variância (ANOVA) e com o teste de Tukey como post-hoc.

A biomassa fresca apresentou diferença significativa em todas as estruturas vegetativas avaliadas em cada parâmetro. A biomassa fresca foliar e do caule foi significativamente menor no tratamento de suspensão hídrica, comparado ao das plantas mantidas em alagamento e controle, que não diferiram entre si (Tabela 1). A biomassa fresca da raiz apresentou diferença significativa entre todos os tratamentos, sendo que o tratamento controle apresentou a maior média e a suspensão hídrica a menor média (Tabela 1).

As plantas mantidas nas condições de suspensão hídrica apresentaram as menores médias na biomassa seca foliar e do caule comparado aos valores obtidos para as plantas mantidas no tratamento controle, apenas o parâmetro de biomassa seca foliar do

tratamento de suspensão hídrica se diferenciou do tratamento de alagamento (Tabela 1). Para a biomassa seca do caule e da raiz das plantas mantidas em alagamento não foram registradas diferenças significativas em relação às plantas dos tratamentos controle e seca (Tabela 1). Com relação à biomassa seca da raiz, não foram registradas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

O diâmetro do caule apresentou diferença significativa entre o tratamento controle, esse possuindo a maior média, em relação tanto à suspensão hídrica quanto ao alagamento, contudo não há diferenças entre os tratamentos de suspensão hídrica e alagamento (Tabela 1).

Para as medidas de crescimento avaliadas no tratamento de recuperação, a altura da parte aérea e o crescimento da raiz não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2).

No número de folhas, o tratamento de pós-suspensão hídrica, com a menor média, se diferenciou significativamente dos tratamentos controle e pós-alagamento, não ocorrendo diferença significativa entre controle e pós-alagamento (Tabela 2).

**Tabela 2** - Altura da parte aérea, Comprimento da raiz, Número de folhas, Biomassa seca da folha, Biomassa seca do caule, Biomassa seca da raiz, Biomassa seca da parte aérea, Diâmetro do caule de plantas jovens de *Peltophorum dubium* com 25 dias de recuperação.

<b>Parâmetros/Tratamentos</b>	<b>Controle</b>	<b>Pós - Alagamento</b>	<b>Pós-suspensão hídrica</b>
Altura da parte aérea (cm)	12.4 ± 1.43 a	13.2 ± 0.37 a	12.1 ± 1.61 a
Comprimento raiz (cm)	14.5 ± 1.1 a	14.9 ± 0.72 a	14.8 ± 1.95 a
Número de folhas	7.6 ± 1.9 a	6.8 ± 0.49 a	4.2 ± 1.4 b
Biomassa seca foliar (g)	0.59 ± 0.08 a	0.53 ± 0.04 a	0.14 ± 0.04 b
Biomassa seca do caule (g)	0.53 ± 0.09 a	0.35 ± 0.05ab	0.17 ± 0.05 b
Biomassa seca da raiz (g)	0.54 ± 0.07 a	0.34 ± 0.05 b	0.16 ± 0.03 c
Diâmetro do caule (mm)	3.28 ± 0.4 a	2.14 ± 0.25 b	1.74 ± 0.15 b

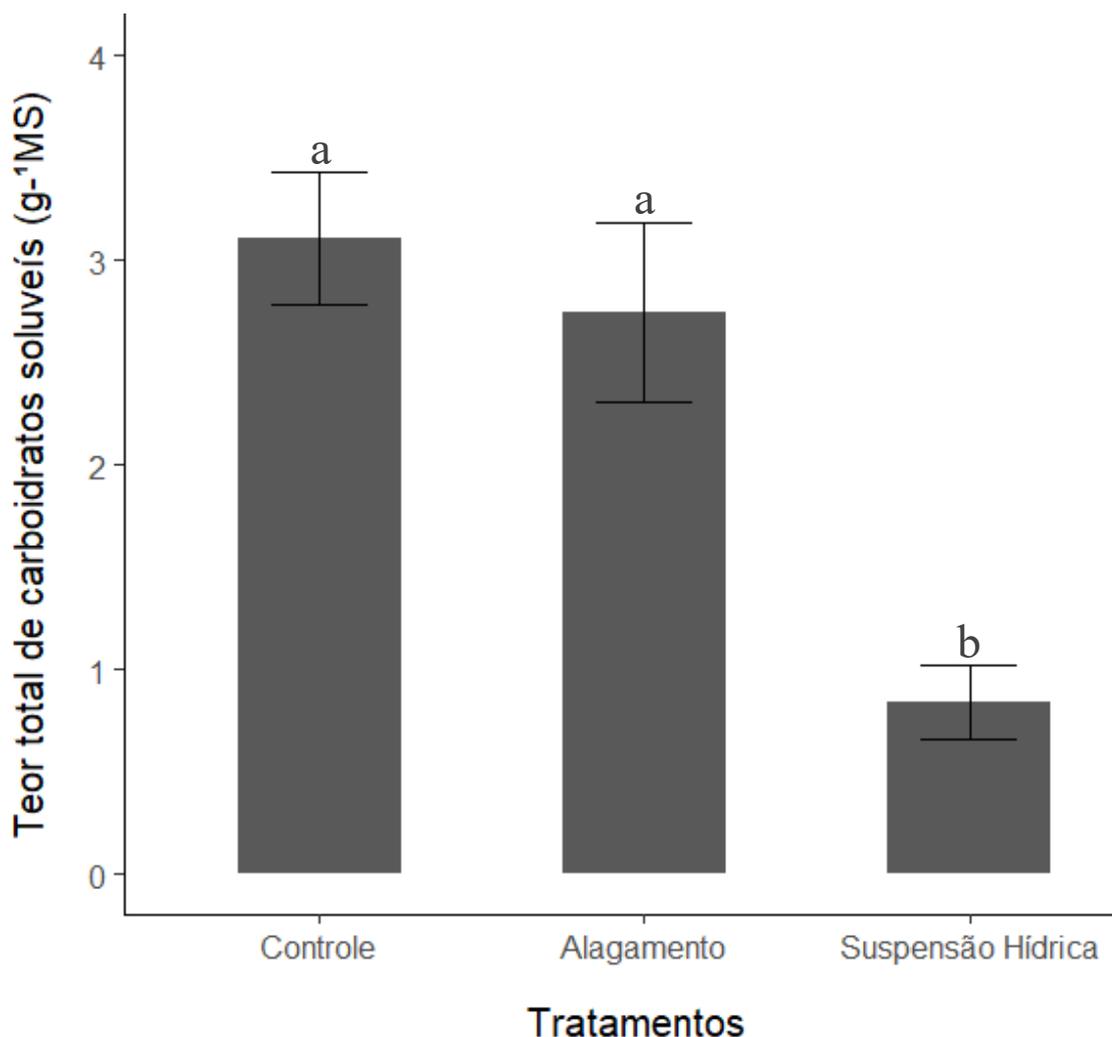
Valores na tabela representam a média ± erro padrão. As letras diferentes indicam diferenças significativas. Todos os parâmetros de crescimento foram analisados via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

Com relação à biomassa seca das folhas, todos os tratamentos tiveram diferenças significativas quando relacionados (Tabela 2). Para a biomassa seca do caule, o tratamento pós-suspensão hídrica teve diferença significativa com o controle, com a menor média, contudo esse tratamento não apresentou diferença quando comparado ao pós-alagamento, ocorrendo o mesmo para o controle (Tabela 2). A biomassa seca da raiz apresentou diferenças significativas entre todos os tratamentos analisados (Tabela 2).

Ao analisar o diâmetro do caule, constatou-se diferença significativa do tratamento controle, com a maior média, para a pós-suspensão hídrica e também para o pós-alagamento, não sendo registrado entre o pós-suspensão hídrica e o pós-alagamento (Tabela 2).

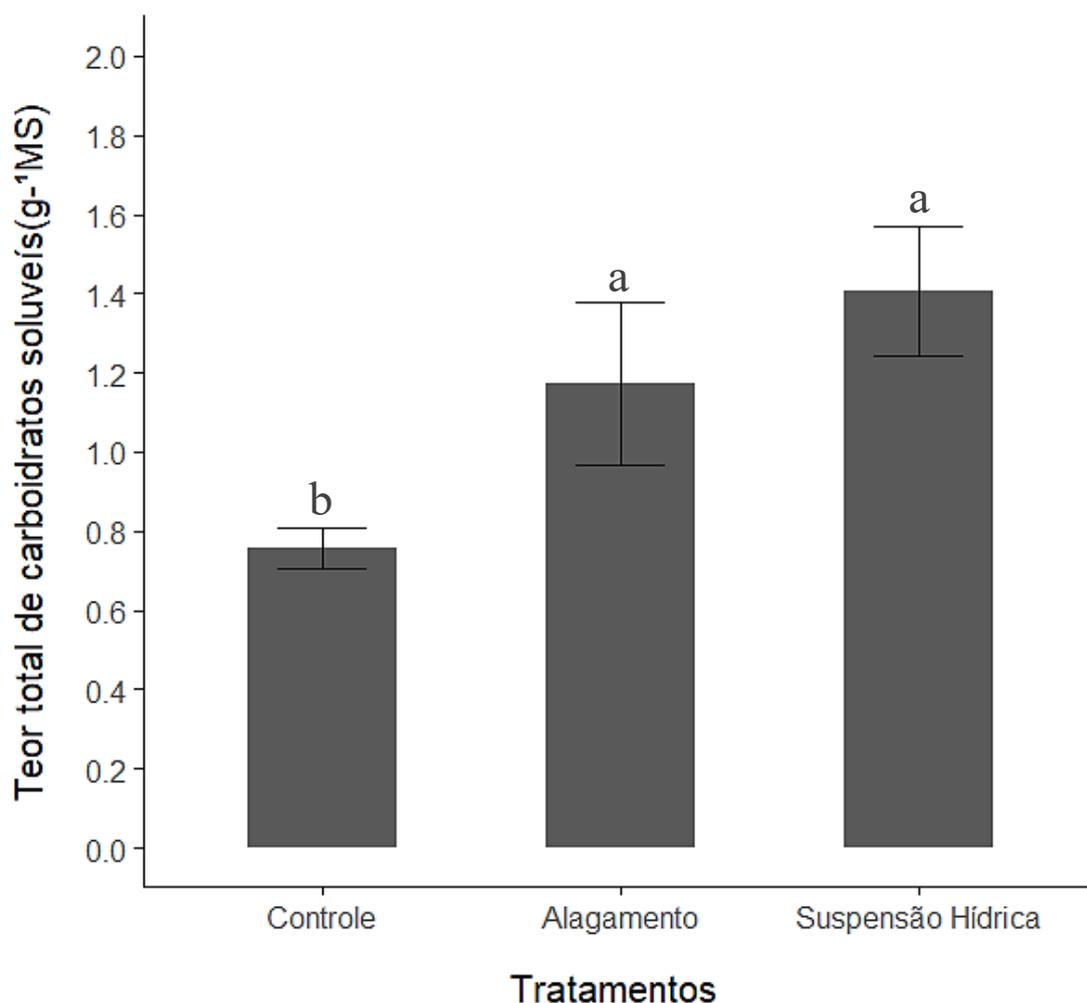
### **3.3 Carboidratos solúveis totais**

Ao analisar os teores de carboidratos solúveis totais da raiz, observou-se menor teor nas raízes das plantas mantidas no tratamento de suspensão hídrica, não se verificando diferença significativa nos teores de carboidratos solúveis totais nas raízes das plantas do tratamento controle e alagamento (Figura 8).



**Figura 8.** Teor de carboidratos solúveis totais das raízes em plantas jovens de *Peltophorum dubium*, mantidas em capacidade de campo (controle), alagamento e suspensão hídrica com cinco amostras em cada tratamento, no total de 15 dias. As barras representam  $\pm$  erro padrão. As letras diferentes indicam diferença significativa. As análises foram realizadas via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

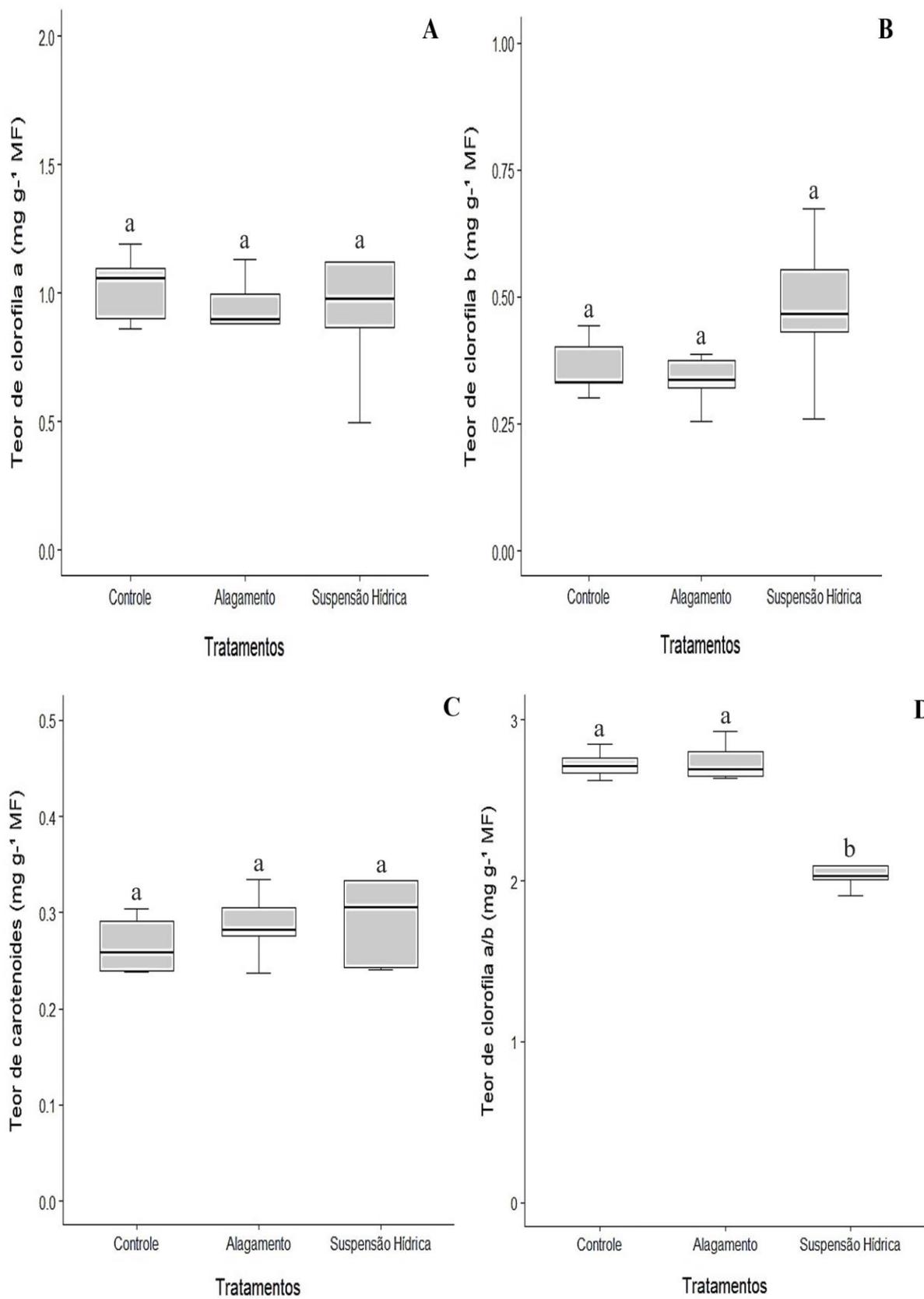
Com relação ao teor de carboidratos solúveis nas folhas, foi evidenciado que as raízes das plantas jovens de *P. dubium*, mantidas no tratamento de suspensão hídrica, apresentaram maior teor de carboidratos solúveis comparado aos demais tratamentos (Figura 9). Contudo, não se observou diferença significativa nos teores de carboidratos solúveis totais das folhas de *P. dubium* mantidas na condição controle e alagamento (Figura 9).

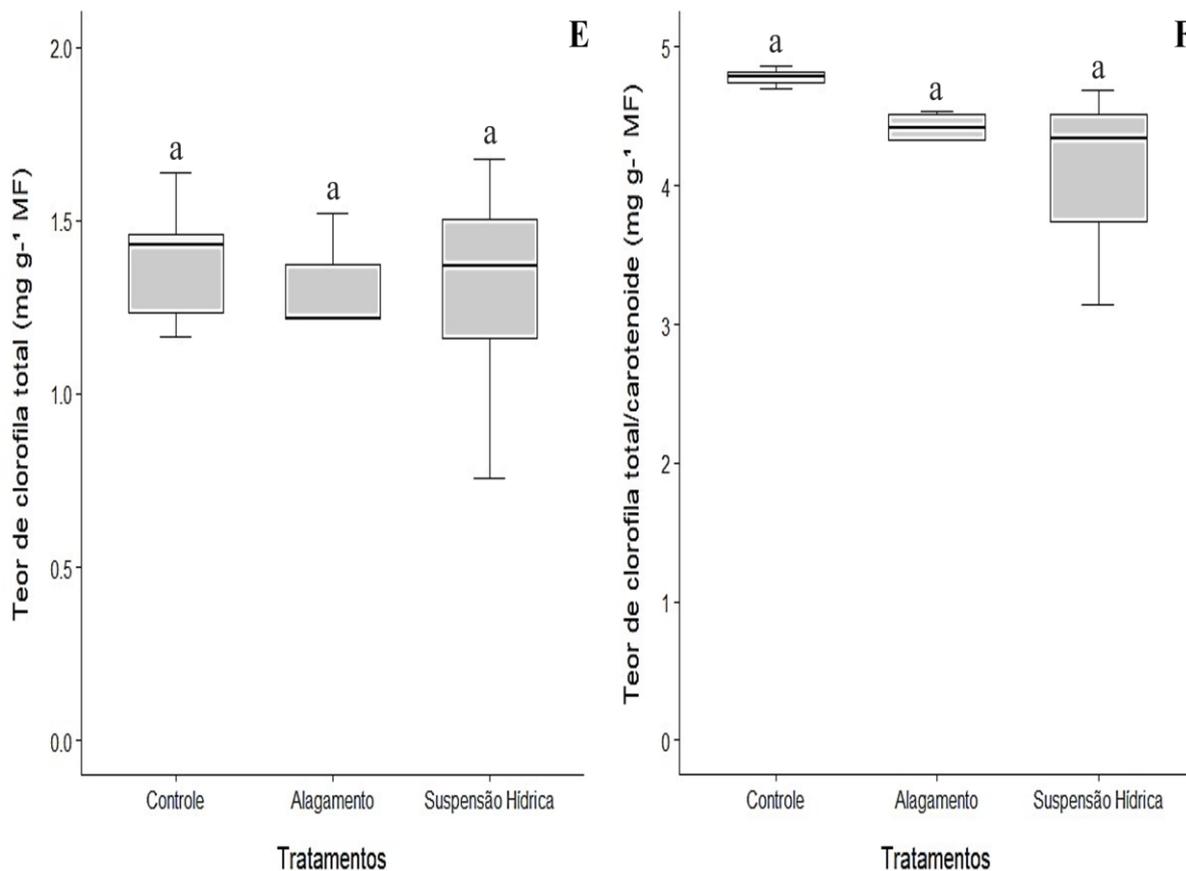


**Figura 9.** Teor de carboidratos solúveis totais das folhas de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, mantidas em capacidade de campo (controle), alagamento e suspensão hídrica com cinco amostras em cada tratamento, no total de 15 dias. As barras representam a média  $\pm$  erro padrão. As letras diferentes indicam diferença significativa. As análises foram realizadas via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

### 3.4 Teor de Clorofila

No tocante ao teor de clorofila analisado, os pigmentos *a*, *b* e carotenoides não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os tratamentos entre si (Figura 10 A, B, C), mantendo-se assim na análise da clorofila total e carotenoide/clorofila total (Figura 10 E, F). Contudo, a relação clorofila *a/b*, no tratamento de suspensão hídrica se diferenciou significativamente dos tratamentos controle e alagamento, apresentando a menor média dentre eles. Não houve diferenças significativas quando relacionado aos tratamentos de alagamento e controle (Figura 10D).





**Figura 10** – A) Teor de Clorofila *a*, B) Teor de Clorofila *b*, C) Teor de Carotenoide, D) Clorofila *a/b*, E) Clorofila Total, F) Relação carotenoides/clorofila total em folhas de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, considerando controle, tratamento de alagamento e o tratamento de suspensão hídrica aos 15 dias. Os gráficos representam a média  $\pm$  erro padrão (SE). As letras diferentes indicam diferenças significativas. As análises foram realizadas via análise de variância (ANOVA).

## 4 DISCUSSÃO

A plântula/planta jovem de *Peltophorum dubium* pode ser classificada como fanero-epígeo-foliácea (tipo PEF) de Garwood (1996), por apresentar cotilédones livres do envoltório seminal, expostos acima do solo/substrato e por serem verdes fotossintéticos. De acordo com essa autora, os ambientes Neotropicais possuem mais espécies com plântulas tipo PEF do que ambientes Paleotropicais. Vogel (1980) afirma que há uma proporção menor de espécies com plântulas tipo PEF em floresta pluvial fechada quando comparada com florestas mais abertas.

A ocorrência da espécie *P. dubium* em áreas preferencialmente úmidas, atrelado ao seu estabelecimento no estrato vegetal, comumente, em áreas onde há maior incidência luminosa, onde há taxas menores de umidade no solo e aumento na temperatura, podendo estar sujeita a variação hídrica, seja ela sazonal ou periódica, podendo indicar a adaptação da espécie a esse evento (Lorenzi, 1992). Isso indica que essa espécie pode apresentar um espectro maior de tolerância às variações hídricas.

As variações hídricas podem ocasionar no ambiente condições estressantes, ocasionadas pelo alagamento e pela suspensão hídrica, durante os estágios de crescimento e desenvolvimento das plantas (Bello et al., 2022), podendo afetar de forma variável como às características morfológicas são afetadas de acordo com a espécie, as características do ambiente e o tempo de exposição (Luo et al., 2023).

Em relação à morfologia avaliada, a foliar no tratamento de alagamento, apresentou a retração das folhas e, posteriormente, ao decorrer da submissão, a abscisão de foliólulos (Figura 5). Dentre as respostas das plantas ao estresse por alagamento, o fechamento dos estômatos, parcial ou total, é uma das primeiras respostas da parte aérea (Else et al., 2009; Rodríguez-Gamir et al., 2011; Ahmed, 2013). A diminuição da condutância estomática, em decorrência do fechamento estomático, ocorre devido ao estresse sofrido nas raízes, gerando uma mudança no fluxo de substâncias entre os sistemas (Folzer et al., 2006; Gil et al., 2007).

Em determinados estudos, tem sido observado que durante o alagamento as plantas ficam sujeitas ao déficit hídrico, principalmente pela menor absorção de água causada por modificações na permeabilidade das membranas das células das raízes, mediada por aquaporinas, em consequência do ambiente hipóxico, o que leva a uma menor condutividade hidráulica nas raízes (Yetisir et al., 2006; Atkinson et al., 2008;

Aroca, 2012; Tombesi et al., 2015; Tian et al., 2021; Pan et al., 2022).

Outra alteração observada no tratamento de alagamento, como, também, no tratamento de recuperação, que pode ter sido ocasionada pelo aumento no acetaldeído e ácido acético e pelo etileno, foi a alteração na coloração de determinados foliólulos para tons amarelados (Figura 5B e 7B). Essa coloração pode indicar sinais de degradação da clorofila ou deficiência nutricional e, portanto, na atividade fotossintética, tornando as folhas cloróticas (Ouyang, 2017).

A presença de hipertrofia lenticelar foi registrada nas plantas jovens submetidas ao tratamento de alagamento (Figura 4). Experimentos realizados com *P. dubium* nas mesmas condições hídricas, mas com períodos de tratamentos maiores e aplicações de fertilizantes, verificaram o surgimento de lenticelas hipertrofiadas na parte caulinar das plantas (Medri et al., 1998; Carvalho et al., 2016).

Essas estruturas podem indicar uma resposta induzida pelas alterações químicas causadas ao lidar com a dificuldade gerada pelo baixo aporte de oxigênio, pois a presença de lenticelas possibilita maior captação de oxigênio (Junglos et al., 2018) e, com isso, atenuar os efeitos negativos causados à respiração celular (Van Dongen e Licausi, 2015), e, conseqüentemente, alterações em suas atividades metabólicas (Duarte et al., 2020 ; Zhai et al., 2020). Essas informações podem ser relacionadas com as plantas pós-alagamento no tratamento de recuperação, no qual as lenticelas hipertrofiadas estavam em processo de regressão, podendo indicar, com isso, que a aeração estava sendo retomada pela demanda de oxigênio nas plantas (Figura 7B).

Não houve registros da presença de raízes adventícias nas plantas utilizadas nesse experimento, possivelmente o surgimento de lenticelas hipertrofiadas pode ter suprido a captação e difusão de oxigênio para o sistema de raízes nas plantas, com isso não necessitando de raízes adventícias. Essas estruturas são comumente descritas em plantas alagadas e com funções semelhantes às lenticelas em resposta ao estresse por alagamento. (Yin et al., 2013; Dalmolin et al., 2018). Dados semelhantes foram relatados em plantas da mesma espécie submetidas ao alagamento durante 70 dias (Medri et al., 1998).

O sistema radicular, devido ao período de exposição ao alagamento, principalmente em seus ápices, apresentaram sinais de necrose nos tecidos. Também é comum que a coloração das raízes sob alagamento torne-se mais escura em virtude do excesso de etanol proveniente da respiração anaeróbica com aumento de atividade enzimática, no qual este produto é eliminado por meio das lenticelas ou estômatos. Entretanto, quando sua produção é excedente pode tornar-se tóxico às células vegetais e

consequentemente, promover a ruptura da membrana plasmática causando escurecimento das raízes ou sua morte (Queiroz-Alvez et al., 2019). Outra característica notada nas raízes do tratamento de alagamento, foi o elevado número de ramificações (Figura 6B), que, segundo Dubium (1971), é uma das principais tendências na formação de raízes em condições de excesso de água e, geralmente, o aumento na ramificação com um grande número de raízes curtas.

Com relação à morfologia das plantas submetidas à suspensão hídrica, as folhas apresentaram murcha e, posteriormente, abscisão em todos os indivíduos (Figura 5C), mantendo essas características no tratamento de recuperação no pós-suspensão hídrica (Figura 7C). O murchamento é decorrente da perda evaporativa de água pelas folhas sem que ocorra, na mesma medida, a absorção de água pelas raízes, induzindo o fechamento estomático e, com isso, reduzir a transpiração (Fang e Xiong, 2015; Munemasa et al., 2015), mediado pelo aumento na biossíntese de ABA (ácido abscísico) que age como um sinalizador de estresse (Xiong e Zhu, 2003). Caso se estenda esse período de suspensão hídrica, as folhas tendem a abscisão (Lima et al., 2021). No caso das raízes, é possível notar, também, um elevado número de ramificações (Figura 6C). As raízes em plantas sob estresse leve possuem adaptações arquitetônicas para evitar a suspensão hídrica (Karlova et al., 2021), com a privação moderada de água podem induzir o crescimento da raiz primária e a formação de raízes laterais (Dinneny, 2019)

O estresse ocasionado pelas condições hídricas de alagamento e suspensão hídrica afeta adversamente, não apenas a aparência e a morfologia das plantas, mas, também, suas características fisiológicas (Wu et al., 2022), como, por exemplo, seu crescimento, teores de clorofila e carboidratos solúveis (Zhao et al., 2023).

Para os parâmetros de crescimento avaliados de *P. dubium* houve diferença significativa da altura da parte aérea entre o tratamento de alagamento quando relacionado ao tratamento controle e suspensão hídrica (Tabela 1). Resultados semelhantes foram relatados por Carvalho (2016), no qual plantas da mesma espécie, submetidas ao alagamento durante 15 dias, apresentaram maior crescimento da parte aérea constatado. Esse aumento na parte aérea pode indicar acúmulo de etileno nas plantas, visando manter o aparato foliar acima do alagamento (Manzur, 2009; Nagai et al., 2014; Xiang et al., 2017; Mustroph, 2018). Essa condição morfológica pode demonstrar tolerância às condições de alagamentos (Parent et al., 2008), evidenciando que, mesmo em ambientes alagados, determinadas espécies possuem a capacidade de promover o crescimento da parte aérea sob tais condições (Kolb e Joly, 2009; Striker et al., 2017). Podendo ser

corroborado pela altura da parte aérea do tratamento de recuperação, em que as plantas alagadas, retornaram à capacidade de campo, não apresentaram diferença significativa com os demais tratamentos analisados (Tabela 2).

O evento de alagamento pode promover alterações nas taxas de oxigênio e etileno, desencadeando respostas de aclimatação da planta ao alagamento, sendo considerado como sinais primários que excitarão respostas adaptativas da planta a esse evento (Voeselek e Sasidharan, 2013; Sasidharan e Voeselek; 2015). Ademais, as diferenças nas dinâmicas de oxigênio entre a parte aérea e a raiz são causadas pelas diferenças do ambiente em que está localizada cada estrutura, onde as raízes em solos encharcados são rapidamente esgotadas de oxigênio devido à respiração microbiana e radicular (Zhou et al., 2020).

O teor de oxigênio da raiz é, portanto, dependente da produção de oxigênio oriundo fotossinteticamente da parte aérea, quando a planta está submersa ou do oxigênio que se difunde da parte aérea que está acima da coluna d'água. Essa resposta deve trazer as folhas acima da água antes do esgotamento das reservas de carboidratos existentes, e a parte aérea deve atuar como um tubo de respiração para o restante da planta submersa (Pierik et al., 2009; Akman et al., 2012; Müller et al., 2021).

Ademais, o fluxo de oxigênio da parte aérea para a raiz é, por sua vez, influenciado pelas características foliares especializadas, como porosidade, e filmes de gás (Mommer e Visser, 2005; Colmer e Pedersen, 2008), pela resistência da fonte ao dreno, pela porosidade do tecido aerenquimático e pela demanda respiratória da raiz (Sasidharan e Voeselek, 2015; Pedersen et al., 2021).

Quanto ao número de folhas de *P. dubium*, o tratamento de suspensão hídrica registrou a menor média entre os tratamentos (Tabela 1), o que está relacionado à abscisão foliar, constituindo uma forma de contenção da água sob esse tipo de estresse (Trabelsi et al., 2019). Contudo, os tratamentos de alagamento e controle não apresentaram diferença significativa, mesmo com sinais de abscisão e, possivelmente, clorose. Resultados semelhantes foram obtidos no tratamento de recuperação, em que as plantas submetidas a pós-suspensão hídrica mantiveram diferenças significativas do controle e do pós-alagamento (Tabela 2).

A redução da umidade do solo e, presumivelmente, o aumento no déficit hídrico nas plantas mantidas em condições de suspensão hídrica, acarretou em menor biomassa fresca foliar e do caule (Tabela 1), o que pode promover distúrbios metabólicos e, conseqüentemente, redução da área foliar e demais estruturas da parte aérea (Andrade et

al., 2021). Lenhard et al. (2010) ao avaliarem plantas jovens de *Libidibia ferrea* (Max. Ex Tul.) L. P. Queiroz (Fabaceae) submetidas à suspensão hídrica verificaram reduções nas variáveis de crescimento com o aumento da intensidade do estresse.

Contudo, em relação à biomassa fresca da raiz, as plantas do controle se diferenciam dos demais tratamentos, o que pode estar relacionado com os danos causados ao sistema radicular induzidos por cada tipo de estresse (Tabela 1). No tratamento de alagamento, verificado pela necrose foliar, possivelmente ocasionada pela redução nos níveis de oxigênio e, também, uma menor absorção de água pelas raízes, deve ter sido ocasionada pela redução na permeabilidade das membranas das células destas estruturas (Aroca et al., 2012). No caso do tratamento de suspensão hídrica, a redução da disponibilidade hídrica no solo limita a presença de água nessa estrutura.

A limitação de água no solo interferiu no acúmulo de biomassa seca de *P. dubium* em condições de suspensão hídrica, verificada pela menor acúmulo de biomassa foliar e do caule, foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos analisados, tendo diferenças significativas registradas no tratamento de suspensão hídrica, contendo a menor média, quando relacionado aos demais tratamentos (Tabela 1), com dados semelhantes obtidos no tratamento de recuperação (Tabela 2).

Possivelmente, esses resultados podem estar atrelados a queda de folhas registrada no decorrer do tratamento de suspensão hídrica (Figura 5C), interferindo diretamente na produção de biomassa (Stallmann, 2020). A redução na biomassa ocasionada por esse evento é promovida pela redução na turgescência celular e que ocorre concomitante à diminuição do potencial hídrico da planta (Todaka, 2017), afetando a funcionalidade do aparato foliar com a redução da área de transpiração incorrendo na abscisão foliar.

Em relação à biomassa seca da raiz, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1), o que pode estar relacionado com a elevada ramificação das raízes observadas em todos os tratamentos (Figura 6). O crescimento radicular e a arquitetura hidráulica são altamente plásticos e continuamente se ajustam inicialmente como resposta a uma grande variedade de sinais do solo, com efeitos que podem ser antagônicos ou sinérgicos (Maurel e Nacry, 2020).

No tratamento de recuperação ocorreram dados distintos em relação à biomassa seca da raiz, em que o pós-alagamento e o pós-suspensão hídrica se diferenciaram do controle (Tabela 2). Estes resultados podem indicar que a variação nos períodos de estresse hídrico podem ocasionar respostas distintas com o passar do tempo, como, por exemplo, afetar o crescimento das plantas, mesmo estas apresentando respostas tolerantes

(Silva et al, 2019).

A privação de O<sub>2</sub> mais severa pode resultar na interrupção do crescimento tanto na formação quanto no alongamento das raízes laterais (Shukla et al., 2019), sendo respostas impulsionadas pela sinalização de etileno (Yamauchi et al., 2018; Lamers et al., 2020). Nesse caso, o surgimento de lenticelas hipertrofiadas em *P. dubium* (Figura 5), pode ter suprimido inicialmente a redução de oxigênio com o alagamento, contudo com a continuidade do estresse as raízes podem ter sido afetadas reduzindo sua biomassa.

A suspensão hídrica, exerce efeitos inibitórios, variando as respostas entre raiz primária e raízes laterais de diferentes ordens ou, ainda, entre segmentos de uma mesma raiz axial (Rosales et al, 2019). A suspensão hídrica dificulta o crescimento e o desenvolvimento das raízes (Gupta et al., 2020), contendo menos raízes axiais/laterais e uma estrutura radicular geralmente mais profunda (Dinneney, 2019). Conseqüentemente, a baixa absorção de água pelas raízes coloca uma tensão extra no tecido do xilema, podendo causar embolia do xilema resultando em falha hidráulica (Levionnois et al., 2020 ; Li et al., 2021). Ademais, a reidratação pós-seca das plantas pode provocar estresse oxidativo adicional (Bian e Jiang, 2009).

Com relação ao diâmetro do caule de *P. dubium*, o tratamento controle obteve a maior média dentre os tratamentos, se diferenciando significativamente dos demais tratamentos, não ocorrendo essa diferença entre os tratamentos de alagamento e suspensão hídrica (Tabela 1), sendo observado dados semelhantes no tratamento de recuperação (Tabela 2). Essa diferença entre as plantas do controle e alagamento, pode estar relacionado ao alongamento da parte aérea da planta, ocasionada pelo etileno, para mitigar o efeito do estresse (Das et al., 2005), como registrado nesse estudo (Tabela 1), além da redução do crescimento secundário, devido a redução na quantidade de energia disponível devido a hipóxia (Weits et al., 2021), permitindo, com isso, um crescimento secundário reduzido (Marcílio et al., 2019).

Em relação a diferença entre o controle e a suspensão hídrica, a redução na disponibilidade hídrica pode ter afetado o acúmulo de biomassa do caule (Hamoud et al., 2019), como constatado na quantificação de biomassa realizada nesse estudo (Tabela 1 e 2). Isso pode estar atrelado ao conjunto de fatores, como: a perda da turgescência foliar e redução da atividade fotossintética, associado à redução na capacidade de translocação de substâncias essenciais pelos vasos condutores (Scalon et al., 2011, Alhathloul, 2019; Barros, 2020), assim como o aumento do ABA, comumente registrado em plantas estressadas e que pode afetar o crescimento das plantas (Singh et al., 2022).

Nossos resultados diferem dos dados obtidos em plantas jovens alagadas da mesma espécie, em que durante 70 dias apresentaram um incremento significativo na espessura do caule, comparado ao tratamento controle (Medri et al., 1998). Nesse caso, o aumento no caule pode estar relacionado a sua hipertrofia devido ao crescimento radial de células do córtex, geralmente acompanhado por forte esquizogenia e, também, por lisogenia celular, onde desenvolve-se o aerênquima (Moriconi et al., 2019; Abiko et al., 2020).

As avaliações do teor de clorofila ajudam a analisar o nível de estresse induzido por danos às estruturas fotossintéticas (Lamaoui et al., 2018) Ao analisar os teores de clorofila de *P. dubium*, constatou-se que apenas a relação clorofila *a/b* apresentou diferenças significativas entre o tratamento de suspensão hídrica e os demais, sendo este com a menor média registrada (Figura 10). Os tratamentos de controle e alagamento não apresentaram diferenças significativas quando relacionados, assemelhando-se aos dados obtidos em plantas jovens de *P. dubium* mantidas em alagamento por 60 dias (Carvalho, 2016).

O teor de clorofila *a/b* está relacionado à concentração e a proporção de pigmentos fotossintéticos foliares, que variam dependendo do meio estressante no qual se encontra a planta. Assim, quando a planta é submetida a uma condição de estresse, em que ocorrem alterações nos teores de clorofilas *a* e *b*, fazendo com que estes não sejam proporcionais (Kramer e Koslowski, 1979; Popma e Bongers, 1991).

No tratamento de suspensão hídrica, os teores de clorofila *a* podem ter reduzidos devido à formação e, conseqüentemente, ação de espécies reativas de oxigênio (EROS), que promovem danos gradativos nas moléculas de clorofila (Anjum et al., 2017; Woo et.al, 2019). A redução dos teores de clorofila *b*, provavelmente, está relacionada à degradação dos cloroplastos. Ademais, é possível que essa redução possa ser interpretada como uma resposta de aclimação à atuação dos agentes estressantes, adotada por determinados vegetais, buscando conservar energia e, conseqüentemente, reduzir a captação de energia luminosa, evitando, dessa forma, eventuais estresses foto-oxidativos (Tabot e Adams, 2013).

Enfatiza-se que a clorofila *b* exerce um papel protetor ao aparato fotossintético sob estresse hídrico, como citado na literatura (Abd Elbar et al., 2019). Respostas semelhantes podem ter ocorrido neste estudo, pois os demais teores de clorofila analisados não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 10). Ademais, os teores de carboidratos solúveis apresentados nas folhas (Figura 9),

demonstraram maior concentração na suspensão hídrica como, possivelmente, uma resposta para mitigar o estresse nas folhas e manter suas atividades fotossintéticas normalizadas.

A quantificação de carboidratos solúveis demonstrou que as raízes e folhas das plantas jovens de *P. dubium* no tratamento de suspensão hídrica se diferenciam significativamente dos tratamentos de controle e alagamento, contendo a maior média nas folhas e a menor média nas raízes (Figuras 8 e 9). Essa diferença nos resultados da concentração de carboidratos solúveis entre raízes e folhas no tratamento de suspensão hídrica parece estar relacionada ao fato dessa condição ocasionar o acúmulo de açúcares osmoticamente ativos (Blum, 2017) e alterar o transporte de fotoassimilados para os órgãos drenos como resposta a estresses abióticos (Hummel et al., 2010; Rodrigues et al., 2020).

Atrelado a isso, o balanço de carbono nas plantas, assim como as reservas de carbono móvel das folhas para as raízes é afetado, podendo aumentar o consumo e, posteriormente, causar sua carência (Matos-Filho e Carvalho, 2020). Essa resposta a suspensão hídrica, pode ocorrer devido à deficiência hídrica promover uma redução no potencial de pressão positiva no floema, ocasionando a suspensão e paralelamente o consumo dos carboidratos presentes nas raízes para a manutenção do turgor celular; isso deve inibir qualquer possibilidade de armazenamento de reserva desses açúcares nas raízes e, conseqüentemente, pode causar senescência na planta com a continuidade do estresse.

O acúmulo de carboidratos auxilia na diminuição do potencial osmótico, permitindo maior absorção de água pela célula, favorecendo um potencial de pressão adequado, reduzindo danos causados pela escassez hídrica através da manutenção de água no interior da célula (Mechri et al, 2020). O acúmulo de compostos orgânicos em resposta ao estresse, seja oriundo de síntese ou degradação, fornece carbono para a manutenção dos processos celulares em plantas situadas em ambientes sujeitos a períodos sazonais de suspensão hídrica (Sharma et al., 2019), sendo que para as raízes os carboidratos solúveis utilizados no metabolismo, sua disponibilidade e consumo, podem ser cruciais para a manutenção das atividades metabólicas vitais nessas condições (Xu et al., 2015).

Os dados obtidos nesse estudo indicam que os teores de carboidratos solúveis no tratamento de alagamento não se diferenciam significativamente do controle (Figuras 8 e 9). Com isso, é possível concluir que as plantas mesmo sob as condições de alagamento,

mantiveram o fluxo normal de carboidratos solúveis nos sistemas. Geralmente, espécies que apresentam menor concentração de carboidratos nas raízes mostram menor tolerância para suportar a deficiência de oxigênio no solo (Sairam et al., 2009; Zanandrea et al., 2010; Araki et al., 2012).

O acúmulo de açúcares solúveis nas raízes das plantas quando expostas ao alagamento do solo, tem sido relatado como um mecanismo de tolerância a esse estresse (Liao e Lin, 2001; Qin et al., 2013), modulando a expressão de importantes genes responsáveis por fornecer tolerância ao estresse abiótico para a planta (Gangola e Ramadoss, 2018).

A sobrevivência das plantas de *P. dubium* submetidas ao alagamento, também pode indicar adaptabilidade e tolerância da espécie a períodos com saturação hídrica no solo, pois características morfológicas como lenticelas hipertrofiadas, compõem mecanismos que respondem ao estresse causado pelo alagamento, mais especificamente a hipoxia ou anoxia ocasionada por esse evento (Zhang et al., 2018). Ademais, também, foi possível observar o desenvolvimento de novas folhas

A diferença na sobrevivência entre os tratamentos de alagamento e suspensão hídrica de *P. dubium*, assim como as alterações nas características morfológicas e nos parâmetros de crescimento descritos induzido pelo estresse, pode estar atrelado aos teores de carboidratos obtidos ao final do tratamento (Figuras 8 e 9). O estresse hídrico causa o aumento na taxa de translocação de carboidratos das folhas para as raízes, levando ao aumento na produção desses açúcares nas folhas e das atividades metabólicas das raízes, que, por sua vez, passam a demandar por maiores quantidades (Silva et al., 2009), como foi possível observar nos dados obtidos neste estudo (Figuras 8 e 9).

O acúmulo de solutos, como carboidratos solúveis, atua como compostos osmoticamente ativos (Ivanov, 2019), aumentando a concentração nas células, potencializando a retenção e a absorção de água, mantendo assim a turgescência celular (Khan et al., 2019). Com isso, é possível inferir que a mortalidade de todos os indivíduos do tratamento de suspensão hídrica, atrelado as menores médias nos parâmetros de crescimento e aos dados de teor de carboidratos solúveis nas folhas e raízes, indica um estresse mais severo no tratamento de suspensão hídrica em comparação ao alagamento. Ademais, o tratamento de alagamento não se diferenciou significativamente do tratamento controle, em relação a maioria dos parâmetros analisados de crescimento (Tabela 1 e 2) e os parâmetros de clorofila e carboidratos solúveis totais (Figura 8, 9 e 10).

Outro fator relacionado à sobrevivência das plantas submetidas a estresses hídricos refere-se ao fator do surgimento de espécies reativas de oxigênio (EROS), formadas através da excitação ou redução incompleta do oxigênio molecular, sendo subprodutos do metabolismo celular básico em organismos (Singh et al., 2019). Esse mecanismo funciona como defesa da planta a uma série de combinação de estresses bióticos e abióticos, induzindo respostas de aclimatação das plantas às alterações do ambiente (Hasanuzzaman et al., 2020; Zhang et al., 2022 ). Entretanto, quando o equilíbrio da sua formação e detoxificação não pode ser mantido, a ocorrência do estresse oxidativo pode interferir na manutenção da homeostase celular, por lesionar seriamente vários componentes celulares, dentre eles, os lipídios, as proteínas, os carboidratos e os ácidos nucleicos (Naing e Kim, 2021).

Estresses que limitam a fixação de CO<sub>2</sub>, como a suspensão hídrica, provocam o excesso de energia disponível nos fotossistemas dos tilacoides, fazendo com que as reações fotoquímicas da fotossíntese promovam maiores níveis de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem causar estresse oxidativo através da oxidação de proteínas, moléculas de RNA, DNA, lipídios e pigmentos fotossintéticos, induzindo, também, a ativação da morte celular programada (Pyngrope et al., 2013; Chen et al., 2022).

O mesmo pode ocorrer com as plantas expostas ao alagamento, devido às condições de hipóxia e, especialmente, a reoxigenação das células, promovendo um desbalanço no estado redox nos componentes da mitocôndria e do cloroplasto, levando à uma super redução dos carreadores de elétrons e vazamento de elétrons; isso permite que os mesmos reajam com o oxigênio e produzam as espécies reativas de oxigênio (EROs), o que pode resultar em estresse oxidativo (Yeung et al., 2019).

A partir das análises morfológicas e fisiológicas realizadas, é possível inferir que o estresse gerado pela condição de suspensão hídrica ocasiona danos severos às estruturas das plantas jovens de *P. dubium*. Os dados registrados demonstram as menores médias nos parâmetros de crescimento (Tabela 1 e 2), assim como as produções de teores de carboidratos solúveis registradas nas folhas e raízes que se diferenciam do tratamento controle (Figura 8 e 9), indicando estar respondendo de forma negativa ao estresse; ademais, não houve alterações morfológicas após a reidratação que demonstrassem sinais reversivos nessa condição, confirmando a senescência de todos os indivíduos.

As plantas jovens de *Peltophorum dubium* submetidas ao tratamento de alagamento, mostraram maior efetividade em responder ao estresse provocado por esse tratamento, apesar de exibirem danos morfológicos, como o amarelecimento e posterior

abscisão foliar de foliólulos (Figuras 3B, 5B, 7B ), necrose nas raízes, principalmente nos ápices, e também menores médias quando comparado ao tratamento controle para biomassa fresca da raiz e o diâmetro do caule (Tabela 1). Outro caractere verificado nessas plantas sob estresse foi a presença de lenticelas hipertrofiadas, que é considerado resposta comum em espécies tolerantes ao estresse ocasionado pelo alagamento.

Acrescenta-se ainda, que não se constataram nas plantas de *Peltophorum dubium* diferenças significativas nos parâmetros de biomassa seca (Tabela 1 e 2), teores de clorofila (Figura 10) e carboidratos solúveis de folhas e raízes (Figura 8 e 9) quando relacionados ao tratamento controle. Um dado que merece atenção é que 100% dos indivíduos de *P. dubium* sobreviveram após o tratamento de alagamento e também na recuperação.

Nossos resultados revelam que as plantas jovens de *Peltophorum dubium* demonstram capacidade de tolerância ao estresse induzido por alagamento, que se assemelham aos estudos realizados em *P. dubium* submetida ao alagamento durante 60 e 70 dias (Medri et al., 1998; Carvalho, 2016). Nossos dados confirmam os resultados obtidos por outras espécies consideradas tolerantes a inundações, que apresentam alterações fisiológicas em caules, folhas e raízes (Liu et al., 2015; Yan et al., 2015) e em sua biomassa (Oliveira e Joly, 2010; Yan et al., 2015), mantendo suas reservas energéticas e, com isso, promover a sobrevivência durante essa condição (Chen et al., 2005).

## 5 CONCLUSÃO

Plantas jovens de *Peltophorum dubium* podem estar distribuídas em áreas sujeitas a variação hídrica, seja ela suspensão hídrica ou alagamento, que atrelado às variações climáticas podem ter sua periodicidade, intensidade e duração alteradas, submetendo a espécie ao estresse hídrico oriundo desses eventos. A partir dos resultados obtidos nas características morfológicas e fisiológicas avaliadas nesse estudo, é possível inferir que o estresse hídrico induzido pela suspensão da irrigação é severo e seus danos tendem a aumentar com o passar do período de exposição. Reduzindo os parâmetros de crescimento e geraram diferença na relação de clorofila *a/b* e em seus níveis de carboidratos solúveis de folhas e raízes, que demonstram, com isso, respostas estressantes, que ao persistirem, culminaram na senescência das plantas. Por outra perspectiva, as plantas do tratamento de alagamento, apesar dos danos constatados na morfologia, como amarelecimento e abscisão das folhas, apresentaram respostas tolerantes ao alagamento, como, por exemplo, o surgimento de lenticelas hipertrofiadas, por exemplo. Ademais, os parâmetros de crescimento, como a biomassa seca, e produção de carboidratos solúveis assemelham aos resultados obtidos nas plantas-controle, assim como não apresentaram mortalidade ao final dos tratamentos. Indicando melhor adaptação aos efeitos ocasionados pelo alagamento quando comparados aos da suspensão hídrica dentro do período avaliado.

## REFERÊNCIAS

ABD ELBAR, O. H et al. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, n. 2, p. 129-137, 2019.

ABIKO, Tomomi; MIYASAKA, Susan C. Aerenchyma and barrier to radial oxygen loss are formed in roots of Taro (*Colocasia esculenta*) propagules under flooded conditions. **Journal of Plant Research**, v. 133, p. 49-56, 2020.

AKMAN, Melis et al. Wait or escape? Contrasting submergence tolerance strategies of *Rorippa amphibia*, *Rorippa sylvestris* and their hybrid. **Annals of Botany**, v. 109, n. 7, p. 1263-1276, 2012.

ALEXANDRE, P. M. et al. The relative impacts of vegetation, topography and spatial arrangement on building loss to wildfires in case studies of California and Colorado. **Landscape ecology**, v. 31, p. 415-430, 2016.

ALHAITHLOUL, H. A. et al. Changes in ecophysiology, osmolytes, and secondary metabolites of the medicinal plants of *Mentha piperita* and *Catharanthus roseus* subjected to drought and heat stress. **Biomolecules**, v. 10, n. 1, p. 43, 2019.

ANDRADE, W. L. et al. Bradyrhizobium inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 656-667, 2021.

ANJUM, S. A. et al. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 69, 2017.

ARAKI, H. et al. Waterlogging and hypoxia have permanent effects on wheat root growth and respiration. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 4, p. 264-275, 2012.

AROCA, R. et al. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

ATKINSON, C. J. et al. Rapid flood-induced stomatal closure accompanies xylem sap transportation of root-derived acetaldehyde and ethanol in *Forsythia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, n. 2, p. 196-205, 2008.

BARROS, J. R. A. et al. Water restriction in different phenological stages and increased temperature affect cowpea production. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, 2020.

BELLO, Zaid Adekunle et al. Characterization and effects of different levels of water stress at different growth stages in malt barley under water-limited conditions. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 578, 2022.

BIAN, Shaomin; JIANG, Yiwei. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. **Scientia Horticulturae**, v. 120, n. 2, p. 264-270, 2009.

BLUM, Abraham. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell & Environment**, v. 40, n. 1, p. 4-10, 2017.

CAPON, S. J. (2020). Riparian Ecosystems. In M. I. Goldstein & D. A. DellaSala (Eds.), *Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 170-176). Oxford: Elsevier.

CARDOSO-LEITE, E.; RODRIGUES, R. R. Fitossociologia e caracterização sucessional de um fragmento de Floresta Estacional no Sudeste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.32, n.3, p.583-595, 2008.

CARVALHO, L. S. O. et al. Resistance mechanisms of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert submitted to flood conditions. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 582-588, 2016.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 5. ed. Brasília: Embrapa Florestas, 2014.

CHEN, H. et al. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. **Aquatic Botany**, v. 82, n. 4, p. 250-268, 2005.

CHEN, Qiong et al. Alleviation role of functional carbon nanodots for tomato growth and soil environment under drought stress. **Journal of Hazardous Materials**, v. 423, p. 127260, 2022.

CLEGG, K. M. The application of the anthrone reagent to the estimation of starch in cereals. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 40-44, 1956.

COLMER, T. D.; PEDERSEN, Ole. Underwater photosynthesis and respiration in leaves of submerged wetland plants: gas films improve CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> exchange. **New Phytologist**, v. 177, n. 4, p. 918-926, 2008.

COMITA, L. S.; ENGELBRECHT, B. M. Drought as a driver of tropical tree species regeneration dynamics and distribution patterns. **Forests and Global Change**, p. 261-308, 2014.

DALMOLIN, A. C. et al. Physiological adjustments of an invasive tree species to extreme hydrological events in a tropical seasonal wetland. **Trees**, v. 32, p. 1365-1375, 2018.

DAS, Krishna Kaveri; SARKAR, Ramani Kumar; ISMAIL, Abdelbagi M. Elongation ability and non-structural carbohydrate levels in relation to submergence tolerance in rice. **Plant Science**, v. 168, n. 1, p. 131-136, 2005.

DINNENY, José R. Developmental responses to water and salinity in root systems. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, v. 35, p. 239-257, 2019.

DGHIM, F. et al. Physiological and biochemical changes in *Periploca angustifolia* plants under withholding irrigation and rewatering conditions. **South African Journal of Botany**, v. 114, p. 241-249, 2018.

DREW, M. C.; LYNCH, J. M. Soil anaerobiosis, microorganisms, and root function. **Annual Review of Phytopathology**, v. 18, n. 1, p. 37-66, 1980.

DUARTE, Caroline Igansi et al. Seed germination, growth and chlorophyll a fluorescence in young plants of *Allophylus edulis* in different periods of flooding. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, p. 1-11, 2020.

DUARTE, J. M. et al. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helliantus annuus* L.), sob suspensão hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 6, n. 3, 2013.

DURBIN, R. D. Abiotic diseases induced by unfavorable water relations. In: **Water and Plant Disease**. Academic Press, 1978. p. 101-117.

DUTRA, Tiago Reis et al. Substratos alternativos e métodos de quebra de dormência para produção de mudas de canafístula. **Revista Ceres**, v. 60, p. 72-78, 2013.

ELSE, Mark A. et al. Root signals and stomatal closure in relation to photosynthesis, chlorophyll a fluorescence and adventitious rooting of flooded tomato plants. **Annals of Botany**, v. 103, n. 2, p. 313-323, 2009.

FAN, Ying et al. Hillslope hydrology in global change research and earth system modeling. **Water Resources Research**, v. 55, n. 2, p. 1737-1772, 2019.

FANG, Yujie; XIONG, Lizhong. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, p. 673-689, 2015.

FERNANDES, Luiz Antonio Frazatto et al. Estrutura da vegetação e relação com os processos geomorfológicos e regime fluvial no Arquipélago Três Ilhas, Alto Rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 1, 2023.

FOLZER, Hélène et al. Response of sessile oak seedlings (*Quercus petraea*) to flooding: an integrated study. **Tree Physiology**, v. 26, n. 6, p. 759-766, 2006.

GANGOLA, Manu P.; RAMADOSS, Bharathi R. Sugars play a critical role in abiotic stress tolerance in plants. In: **Biochemical, physiological and molecular avenues for combating abiotic stress tolerance in plants**. Academic Press, 2018. p. 17-38.

GARWOOD, N. C. Functional morphology of tropical tree seedlings. In: SWAINE, M D. (Ed.) **The ecology of tropical forest tree seedlings**. New York: The Parthenon Publishing Group, 1996. Pp.59-130.

GIL, Pilar M. et al. Effect of waterlogging on plant water status, leaf gas exchange and biomass of avocado. In: **Proc. VIth World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile**. 2007. p. 12-16.

GREET, J.; et al. Longer duration flooding reduces the growth and sexual reproductive efforts of a keystone wetland tree species. **Wetlands Ecology and Management**, v. 28, n. 4, p. 655-666, 2020.

GUPTA, Aditi; RICO-MEDINA, Andrés; CAÑO-DELGADO, Ana I. The physiology of plant responses to drought. **Science**, v. 368, n. 6488, p. 266-269, 2020.

HAMOUD, Yousef Alhaj et al. Effects of irrigation regime and soil clay content and their interaction on the biological yield, nitrogen uptake and nitrogen-use efficiency of rice grown in southern China. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 934-946, 2019.

HASANUZZAMAN, M. et al. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. **Antioxidants**, v. 9, n. 8, p. 681, 2020.

HILLE, Sandra et al. Structural and functional characteristics of buffer strip vegetation in an agricultural landscape—high potential for nutrient removal but low potential for plant biodiversity. **Science of the Total Environment**, v. 628, p. 805-814, 2018.

HUANG, Jinliang et al. Detecting the dynamic linkage between landscape characteristics and water quality in a subtropical coastal watershed, Southeast China. **Environmental Management**, v. 51, p. 32-44, 2013.

HUMMEL, Irene et al. Arabidopsis plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. **Plant Physiology**, v. 154, n. 1, p. 357-372, 2010.

IAPAR-INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Curitiba. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: Iapar, 1994.

IVANOV, Y. V. et al. Water deficit-dependent changes in non-structural carbohydrate profiles, growth and mortality of pine and spruce seedlings in hydroculture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 151-160, 2019.

JANSSEN, Philippe et al. How maintenance and restoration measures mediate the response of riparian plant functional composition to environmental gradients on channel margins: Insights from a highly degraded large river. **Science of the Total Environment**, v. 656, p. 1312-1325, 2019.

JIA, Weitao et al. Plant morphological, physiological and anatomical adaption to flooding stress and the underlying molecular mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 3, p. 1088, 2021.

JUNGLOS, F. S. et al. Morphophysiological responses of *Ormosia arborea* (Fabaceae) seedlings under flooding and post-flooding conditions. **Australian Journal of Botany**, v. 66, n. 7, p. 489-499, 2018.

JUNK, Wolfgang J. (Ed.). **The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system**. Springer Science & Business Media, 2013.

KARLOVA, Romyana et al. Root plasticity under abiotic stress. **Plant Physiology**, v. 187, n. 3, p. 1057-1070, 2021.

KHAN, Naeem et al. UPLC-HRMS-based untargeted metabolic profiling reveals changes

in chickpea (*Cicer arietinum*) metabolome following long-term drought stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, n. 1, p. 115-132, 2019.

KOLB, R. M.; JOLY, C. A. . Flooding tolerance of *Tabebuia cassinoides*: metabolic, morphological and growth responses. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 204, n. 7, p. 528-535, 2009.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of woody plants** Academic Press. New York, v. 811, 1979.

KRONKA, F. J. et al. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal; Imprensa Oficial, 2005. 200p.

LAMAOU, M. et al. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 26, 2018.

LENHARD, N. R. et al. Crescimento inicial de mudas de pau ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *leiostachya* Benth.) sob diferentes regimes hídricos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 870-877, 2010.

LEVIONNOIS, Sébastien et al. Linking drought-induced xylem embolism resistance to wood anatomical traits in Neotropical trees. **New Phytologist**, v. 229, n. 3, p. 1453-1466, 2021.

LI, Hongfei; TESTERINK, Christa; ZHANG, Yanxia. How roots and shoots communicate through stressful times. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 9, p. 940-952, 2021.

LI, Xiao-Yan et al. Significant winter CO<sub>2</sub> uptake by saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau. **Global Change Biology**, v. 28, n. 6, p. 2041-2052, 2022.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. Proceeding **National Science Council**, Taipei, v. 25, n. 3, p. 148-157, 2001.

LICHTENTHALER, Hartmut K. [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: **Methods in enzymology**. Academic Press, 1987. p. 350-382.

LIEBSCH, D. Et al. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1717-1725, 2008.

LIMA, A. L. A; et al. Phenology of high-and low-density wood deciduous species responds differently to water supply in tropical semiarid regions. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104594, 2021.

LIU, Z. et al. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, non-structural carbohydrate content and growth responses of *Distylium chinense* during complete submergence and subaerial re-emergence. **Aquatic Botany**, v. 124, p. 70-77, 2015.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarium, v. 1, 5ª edição, 2008.

LOZANO-GARCÍA, B; PARRAS-ALCÁNTARA, L; BREVIK, E. C. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. **Science of the Total Environment**, v. 544, p. 963-970, 2016.

LUO, Qiaoyu et al. Morphology, photosynthetic physiology and biochemistry of nine herbaceous plants under water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1147208, 2023.

LUO, W; SONG, F; XIE, Y. Trade-off between tolerance to drought and tolerance to flooding in three wetland plants. **Wetlands**, v. 28, p. 866-873, 2008.

MAACK, R. **Geografia do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, Livraria José Olympio, 1981.

MANZUR, M. E. et al. Escape from water or remain quiescent? Lotus tenuis changes its strategy depending on depth of submergence. **Annals of Botany**, v. 104, n. 6, p. 1163-1169, 2009.

MARCÍLIO, T. et al. Flooding and submersion-induced morphological and physiological adaptive strategies in Lonchocarpus cultratus. **Aquatic Botany**, v. 159, p. 103146, 2019.

MATOS-FILHO, H. A; CARVALHO, R. C. M. Análise de carboidratos solúveis em plantas de arroz. **Cientific@-Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-8, 2020.

MECHRI, Beligh et al. Drought stress improved the capacity of Rhizophagus irregularis for inducing the accumulation of oleuropein and mannitol in olive (Olea europaea) roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 178-191, 2020.

MEDRI, MOACYR E. et al. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de Peltophorum dubium (Spr.) Taub. submetida ao alagamento e à aplicação de etrel. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, p. 261-267, 1998.

MELLO, K. et al. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. **Ecological Engineering**, v. 108, p.514-524, nov. 2017.

MOMMER, Liesje; VISSER, Eric JW. Underwater photosynthesis in flooded terrestrial plants: a matter of leaf plasticity. **Annals of Botany**, v. 96, n. 4, p. 581-589, 2005.

MORICONI, Jorge I. et al. Root phenotypes of dwarf and “overgrowth” SLN1 barley mutants, and implications for hypoxic stress tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v. 234, p. 60-70, 2019.

MOXHAM, Claire et al. Large-scale environmental flow results in mixed outcomes with short-term benefits for a semi-arid floodplain plant community. **Freshwater Biology**, v. 64, n. 1, p. 24-36, 2019.

MÜLLER, Jana T. et al. Keeping the shoot above water—submergence triggers antithetical growth responses in stems and petioles of watercress (*Nasturtium officinale*). **New Phytologist**, v. 229, n. 1, p. 140-155, 2021.

MUNEMASA, S. et al. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 28, p. 154-162, 2015.

MUSTROPH, A. Flooding stress in plants. **eLS**, p. 1-8, 2018.

NAGAI, Keisuke et al. QTL analysis of internode elongation in response to gibberellin in deepwater rice. **AoB Plants**, v. 6, p. plu028, 2014.

NAGY, R. C. et al. Structure and composition of altered riparian forests in an agricultural Amazonian landscape. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1725-1738, 2015.

NAING, A. H; KIM, C. K. Abiotic stress-induced anthocyanins in plants: Their role in tolerance to abiotic stresses. **Physiologia Plantarum**, v. 172, n. 3, p. 1711-1723, 2021.

OLGUIN, Flavia Y. et al. Morphological and physiological plasticity in seedlings of *Araucaria angustifolia* and *Cabralea canjerana* is related to plant establishment performance in the rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 460, p. 117867, 2020.

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

OUYANG, W. et al. Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 18, p. 5191-5205, 2017.

PAN, Rui et al. Ethylene regulates aerenchyma formation in cotton under hypoxia stress by inducing the accumulation of reactive oxygen species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 197, p. 104826, 2022.

PARENT, C. et al. An overview of plant responses to soil waterlogging. **Plant Stress**, v. 2, n. 1, p. 20-27, 2008.

PENG, Yu-Quan et al. Effects of grafting on root growth, anaerobic respiration enzyme activity and aerenchyma of bitter melon under waterlogging stress. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108977, 2020.

PEREIRA, Silvia Rahe; LAURA, Valdemir Antônio; SOUZA, Andréa Lúcia Teixeira de. Superação de dormência de sementes como estratégia para restauração florestal de pastagem tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 148-156, 2013.

PIERIK, R. v; VAN AKEN, J. M.; VOESENEK, L. A. C. J. Is elongation-induced leaf emergence beneficial for submerged *Rumex* species?. **Annals of Botany**, v. 103, n. 2, p. 353-357, 2009.

POPMA, J.; BONGERS, F. Acclimation of seedlings of three Mexican tropical rain forest tree species to a change in light availability. **Journal of Tropical Ecology**, v. 7, n. 1, p. 85-97, 1991.

PYNGROPE, et al. Reactive oxygen species, ascorbate–glutathione pool, and enzymes of their metabolism in drought-sensitive and tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) seedlings subjected to progressing levels of water deficit. **Protoplasma**, v. 250, p. 585-600, 2013.

QIN, X, et al. Growth responses and non-structural carbohydrates in three wetland macrophyte species following submergence and de-submergence. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 7, p. 2069, 2013.

QUEIROZ-ALVES, L. et al. Photosynthesis and survival of young *Carpotroche brasiliensis* Endl.(Achariaceae) plants subjected to flooding. **Forest Science**, v. 65, n. 6, p. 670-674, 2019.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <<https://www.R-project.org/>>

RODRIGUES, Cristina Martins et al. Vernalization alters sink and source identities and reverses phloem translocation from taproots to shoots in sugar beet. **Plant Cell**, v. 32, n. 10, p. 3206-3223, 2020.

RODRÍGUEZ, María E. et al. Variability in flooding tolerance, growth and leaf traits in a *Populus deltoides* intraspecific progeny. **Tree Physiology**, v. 40, n. 1, p. 19-29, 2020.

RODRÍGUEZ-GAMIR, Juan et al. Root signalling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 6, p. 636-645, 2011.

ROOD, Stewart B. et al. Ecological interfaces between land and flowing water: themes and trends in riparian research and management. **Wetlands**, v. 40, p. 1801-1811, 2020.

ROSALES, Miguel A.; MAUREL, Christophe; NACRY, Philippe. Abscisic acid coordinates dose-dependent developmental and hydraulic responses of roots to water deficit. **Plant Physiology**, v. 180, n. 4, p. 2198-2211, 2019.

SAIRAM, R. K. et al. Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 6, p. 602-616, 2009.

SASIDHARAN, Rashmi; VOESENEK, Laurentius ACJ. Ethylene-mediated acclimations to flooding stress. **Plant Physiology**, v. 169, n. 1, p. 3-12, 2015.

SCALON, Silvana de Paula Quintão et al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, p. 655-662, 2011.

SCHIESTL-AALTO, Pauliina et al. Analysis of the NSC storage dynamics in tree organs reveals the allocation to belowground symbionts in the framework of whole tree carbon balance. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 2, p. 17, 2019.

SEYMEN, Musa et al. Identification of drought-tolerant pumpkin (*Cucurbita pepo L.*) genotypes associated with certain fruit characteristics, seed yield, and quality. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 150-159, 2019.

SHARMA, Anket et al. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. **Molecules**, v. 24, n. 13, p. 2452, 2019.

SHIKHA, Deep; JAKHAR, Pooja; SATBHAI, Santosh B. Role of jasmonate signaling in the regulation of plant responses to nutrient deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 74, n. 4, p. 1221-1243, 2023.

SHUKLA, Vinay et al. Endogenous hypoxia in lateral root primordia controls root architecture by antagonizing auxin signaling in Arabidopsis. **Molecular Plant**, v. 12, n. 4, p. 538-551, 2019.

SILVA, D. C. et al. Estresse salino e diferentes temperaturas alteram a fisiologia em sementes de *Clitoria fairchildiana* Howard. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1129-1141, 2019.

SILVA, E. C. et al. Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*) genotypes under intermittent drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 43-53, 2009.

SINGH, Ankur; BANERJEE, Aditya; ROYCHOUDHURY, Aryadeep. Fluoride tolerance in rice is negatively regulated by the 'stress-phytohormone' abscisic acid (ABA), but promoted by ABA-antagonist growth regulators, melatonin, and gibberellic acid. **Protoplasma**, v. 259, n. 5, p. 1331-1350, 2022

SINGH, P. et al. Sheath blight of rice: a review and identification of priorities for future research. **Planta**, v. 250, p. 1387-1407, 2019.

SOUZA, F. E. E.; STEVAUX, J. C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Corutuba, Ivinhema. **A Planície de inundação do alto rio Paraná: Aspectos Físico Biológicos e socioeconômicos**. EDUEM, Maringá, p. 3-43, 1997.

STALLMANN, Jana et al. Wheat growth, applied water use efficiency and flag leaf metabolome under continuous and pulsed deficit irrigation. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 10112, 2020.

STRIKER, G. G. et al. No escape? Costs and benefits of leaf de-submergence in the pasture grass *Chloris gayana* under different flooding regimes. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 9, p. 899-906, 2017.

TABOT, P. T.; ADAMS, J. B. Ecophysiology of salt marsh plants and predicted responses to climate change in South Africa. **Ocean & Coastal Management**, v. 80, p. 89-99, 2013.

TIAN, Li-xin et al. How does the waterlogging regime affect crop yield? A global meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 634898, 2021.

TODAKA, Daisuke et al. Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions. **The Plant Journal**, v. 90, n. 1, p. 61-78, 2017.

TOMBESI, Sergio et al. Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 12449, 2015.

TRABELSI, Lina et al. Impact of drought and salinity on olive water status and physiological performance in an arid climate. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 749-759, 2019.

TURUNEN, Jarno et al. Riparian forests mitigate harmful ecological effects of agricultural diffuse pollution in medium-sized streams. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 495-503, 2019.

VAN DEN BERG, Eduardo; OLIVEIRA-FILHO, Ary T. Spatial partitioning among tree species within an area of tropical montane gallery forest in south-eastern Brazil. **Flora**, v. 194, n. 3, p. 249-266, 1999.

VAN DONGEN, J. T.; LICAUSI, F. Oxygen Sensing and Signaling. **Annual Review of Plant Biology**, v. 115, n. 2, p. 239–247, 2015.

VOESENEK, L. A. C. J.; SASIDHARAN, R. Ethylene–and oxygen signalling–drive plant survival during flooding. **Plant Biology**, v. 15, n. 3, p. 426-435, 2013.

DE VOGEL, EF de et al. **Seedlings of dicotyledons**. Pudoc, 1982.

WANG, Hongtao et al. Genome-wide identification and expression analysis of the ASMT gene family reveals their role in abiotic stress tolerance in apple. **Scientia Horticulturae**, v. 293, p. 110683, 2022.

WEITS, Daan A.; VAN DONGEN, Joost T.; LICAUSI, Francesco. Molecular oxygen as a signaling component in plant development. **New Phytologist**, v. 229, n. 1, p. 24-35, 2021.

WOO, Hye Ryun et al. Leaf senescence: systems and dynamics aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, p. 347-376, 2019.

WU, Jiaojiao et al. Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 324, 2022.

XIANG, Jing et al. Transcriptomic analysis of gibberellin-and paclobutrazol-treated rice seedlings under submergence. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 10, p. 2225, 2017.

XIONG, Liming. et al. Identification of drought tolerance determinants by genetic

analysis of root response to drought stress and abscisic acid. **Plant Physiology**, v. 142, n. 3, p. 1065-1074, 2006.

XIONG, Liming; ZHU, Jian-Kang. Regulation of abscisic acid biosynthesis. **Plant physiology**, v. 133, n. 1, p. 29-36, 2003.

XU, Wei et al. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, p. 1-11, 2015.

YAN, Hong et al. Growth and physiological responses to water depths in *Carex schmidtii* Meinsh. **PloS One**, v. 10, n. 5, p. e0128176, 2015.

YETISIR, Halit et al. Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria siceraria* to flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, n. 1-3, p. 1-8, 2006.

YEUNG, Elaine; BAILEY-SERRES, Julia; SASIDHARAN, Rashmi. After the deluge: plant revival post-flooding. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 5, p. 443-454, 2019.

YIN, Dongmei et al. Ethylene promotes induction of aerenchyma formation and ethanolic fermentation in waterlogged roots of *Dendranthema* spp. **Molecular Biology Reports**, v. 40, p. 4581-4590, 2013.

ZANANDREA, Ilisandra et al. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. **Australian Journal of Botany**, v. 57, n. 8, p. 661-669, 2010.

ZHAI, Fei-fei et al. Male and female plants of *Salix viminalis* perform similarly to flooding in morphology, anatomy, and physiology. **Forests**, v. 11, n. 3, p. 321, 2020.

ZHANG, Dandan et al. Linkages between soil organic carbon fractions and carbon-hydrolyzing enzyme activities across riparian zones in the Three Gorges of China. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

ZHANG, Xia; YANG, Chaodong; SEAGO JR, James L. Anatomical and histochemical traits of roots and stems of *Artemisia lavandulaefolia* and *A. selengensis* (Asteraceae) in the Jiangnan Floodplain, China. **Flora**, v. 239, p. 87-97, 2018.

ZHANG, Yilin et al. Star polymers with designed reactive oxygen species scavenging and agent delivery functionality promote plant stress tolerance. **ACS Nano**, v. 16, n. 3, p. 4467-4478, 2022.

ZHAO, Yongju; WANG, Defu; DUAN, Honglang. Effects of Drought and Flooding on Growth and Physiology of *Cinnamomum camphora* Seedlings. **Forests**, v. 14, n. 7, p. 1343, 2023

ZHOU, Wenguan et al. Plant waterlogging/flooding stress responses: From seed germination to maturation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 148, p. 228-236, 2020.