

Efeito do alagamento e da seca sobre o crescimento e fisiologia de *Peltophorum dubium* (Fabaceae)

Effect of flooding and drought on the growth and physiology of Peltophorum dubium (Fabaceae)

Luiz Fernando Gonçalves Lourenço¹, Renata Gomes de Oliveira Guerreiro², Mariza Barion Romagnolo³, Lindamir Pastorini⁴, Luiz Antonio de Souza⁵

RESUMO: Zonas ripárias estão sujeitas a variações hídricas, ocasionando alterações morfológicas e fisiológicas em plantas, em resposta ao estresse. Este estudo objetivou analisar as respostas de plantas jovens de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert, mantidas em capacidade de campo (controle), alagamento e seca, durante 15 dias. Ao final, avaliaram-se o crescimento, teor de pigmentos fotossintéticos e de carboidratos solúveis totais. A recuperação foi avaliada, através de variáveis de crescimento e sobrevivência. O alagamento ocasionou o amarelecimento das folhas e o surgimento de lenticelas hipertrofiadas. As plantas sob seca apresentaram murcha e abscisão foliar, além de redução da biomassa fresca e seca das folhas, caule e raiz, menor número de folhas e do diâmetro do caule. As plantas mantidas em condição de alagamento não diferiram das plantas controle na maior parte das variáveis. As plantas sob seca apresentaram menor razão clorofila *a/b* e menor teor de carboidratos solúveis na raiz. Maior teor de carboidratos foi observado nas folhas de plantas sob estresse hídrico. Todas as plantas do pós-alagamento sobreviveram, enquanto as do pós-seca não apresentaram recuperação. Os resultados indicam que a espécie investigada teve maior tolerância ao alagamento, enquanto a condição de seca afetou o crescimento e a capacidade de recuperação.

Palavras-chave: Carboidratos; Clorofila; Estresse hídrico; Lenticelas.

ABSTRACT: Riparian zones are subject to water variations, causing morphological and physiological changes in plants in response to stress. This study aimed to analyze the responses of young plants of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert, maintained in field capacity (control), flooding and drought, for 15 days. At the end, growth, photosynthetic pigment content and total soluble carbohydrates were evaluated. Recovery was assessed using growth and survival variables. Flooding caused the leaves presented yellowish color and the appearance of hypertrophied lenticels. Plants under drought showed wilting and leaf abscission, in addition to a reduction in the fresh and dry biomass of leaves, stems and roots, a smaller number of leaves and stem diameter. Plants maintained under flooded conditions did not differ from control plants in most variables. Plants under drought had a lower chlorophyll *a/b* ratio and a lower content of soluble carbohydrates in the roots. Higher carbohydrate content was observed in the leaves of plants under drought stress. All post-flooding plants survived, while post-drought plants did not recover. The results indicate that the investigated species had greater tolerance to flooding, while the drought condition affected growth and recovery capacity.

Keywords: Carbohydrates; Chlorophyll; Lenticels; Water stress.

¹ Doutorando em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), PR.

² Doutora em Biologia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), PR.

³ Doutora em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Docente do Programa de Pós Graduação em Biologia Comparada (UEM), PR.

⁴ Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Docente do Programa de Pós Graduação em Biologia Comparada (UEM), PR.

⁵ Doutor em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (USP). Docente nos programas de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais e em Biologia Comparada na Universidade Estadual de Maringá (UEM), PR.

1 INTRODUÇÃO

As zonas ripárias são áreas ecotonais que possuem interfaces entre os ambientes aquáticos e terrestres (Rood *et al.*, 2020; Janssen *et al.*, 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). No entanto, tem se observado que essas áreas podem estar sujeitas a períodos de seca, em função da redução da frequência de chuvas. Além disso, com as mudanças climáticas, fatores ambientais têm sofrido alterações (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).

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 (Seymen *et al.*, 2019), e aos processos reprodutivos das plantas (Greet; Fischer; Russell, 2020). Para suportar o período de inundação e seus efeitos, as espécies vegetais podem expressar caracteres aclimatativos (Jia *et al.*, 2021), de origem morfológica ou fisiológica (Bejarno *et al.*, 2018). 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).

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 (Duarte *et al.*, 2012). 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; 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 seca, 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; Song; Xie, 2008), pois a tolerância a estresses abióticos é muito complexa devido às 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 *et al.*, 2022; Shikha; Jakhar; Satbhai, 2023).

A espécie *Peltophorum dubium* (Spreng) Taubert, popularmente chamada de canafístula, é uma árvore com altura de aproximadamente de 5-15 m, com folhas bipinadas

alternas e folíolos e foliólulos opostos (Silva; Rando; Carvalho, 2024), caducifólia, heliófita, classificada no grupo sucessional como pioneira ou secundária inicial, com rápido crescimento (Dutra *et al.*, 2013; Carvalho, 2014), ocorrendo em toda a extensão da Floresta Estacional Semidecidual (Carvalho, 2014), além de ser possível a utilização da espécie para a recuperação de áreas alagadas degradadas (Carvalho *et al.*, 2016).

Considerando que *P. dubium*, coloniza tanto locais passíveis de inundação, assim como áreas sujeitas à 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), pode-se considerar essa espécie de interesse ecológico para estudos relacionados à aclimação morfológica e fisiológica induzida 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 PREPARAÇÃO E DELINEAMENTO AMOSTRAL

Para o desenvolvimento desse estudo, foram coletados frutos de árvores de *Peltophorum dubium* presentes em remanescentes florestais adjacentes ao Rio Paraná, no município de Porto Rico, Estado do Paraná, Brasil. Os frutos foram levados ao laboratório, onde ocorreu a abertura manual dos frutos secos e a obtenção das sementes.

As sementes foram distribuídas de maneira uniforme em sementeiras de isopor contendo areia e substrato comercial Fertilizare® na proporção de 2:1, respectivamente, para germinação. Antes da semeadura, foi realizada a escarificação mecânica das sementes, com o uso de lixa n° 80, para facilitar sua germinação. Após a emergência e apresentação de eofilos, as plântulas foram transferidas para sacos 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 seca foram conduzidos em casa de vegetação.

2.2 EXPERIMENTO E AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA

2.2.1 Ensaio em vasos e avaliação morfológica

Antes do início do tratamento hídrico, as plantas foram mantidas em capacidade de campo (aclimação) por 90 dias. 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.
- Seca: o tratamento consistiu na suspensão total da irrigação das plantas durante 15 dias.
- Alagamento: para simular o alagamento, cada saco plástico, contendo uma planta, foi colocado em baldes plásticos e mantida lâmina d'água com três centímetros acima do solo por 15 dias. Cada balde continha 3 plantas, totalizando 15 réplicas.
- Recuperação: ao final dos tratamentos, as plantas retornaram de forma imediata a capacidade de campo durante 25 dias. Nessa etapa, os tratamentos passaram a ser denominados como pós-alagamento e pós-seca.

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.

2.3 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E FISIOLÓGICOS

2.3.1 Variáveis de crescimento

As plantas mantidas em cada tratamento foram avaliadas quanto às seguintes variáveis: altura da parte aérea (H), comprimento da raiz principal (CR) e biomassa fresca e seca de folhas, caule e 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). As plantas foram separadas em raízes, caules e folhas, e obtida a massa fresca. Após o material vegetal, por órgão e tratamento, foram inseridas em embalagens de papel com respectiva identificação, e, 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 de precisão (g). O número de folhas totalmente expandidas de cada planta foi obtido por contagem direta.

2.3.2 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.

2.3.3 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 e folhas, 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. Após reação com antrona, a quantificação dos carboidratos solúveis totais ocorreu por reação com antrona e a leitura da absorbância em 620 nm em espectrofotômetro Shimadzu UV-1201, utilizando solução de glicose como padrão.

2.4. RECUPERAÇÃO (REIDRATAÇÃO DAS PLANTAS)

Após 15 dias de alagamento e suspensão hídrica, as plantas foram submetidas à condição de 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 através 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).

2.5 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 E DISCUSSÃO

3.1 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA

As plantas de *P. dubium* apresentaram diferentes respostas quando mantidas nos tratamentos controle, alagamento e seca. As plantas mantidas sob alagamento, apresentaram fechamento dos folíolos após o quinto dia, com alguns folíolos amarelados. Outra alteração observada na parte aérea das plantas refere-se ao surgimento de lenticelas hipertrofiadas na região caulinar (Figura 1), sendo registradas a partir do sétimo dia de submissão. Estas lenticelas perduraram até o final do tratamento, mesmo após recuperação. Em relação ao sistema radicular, ao final dos tratamentos, houve o registro de necroses nos ápices radiculares, contudo não ocorreu o surgimento de raízes adventícias. A seca reduziu o volume de raiz, murcha e queda foliar. Os sinais de murcha foram observados após cinco dias de tratamento de seca.

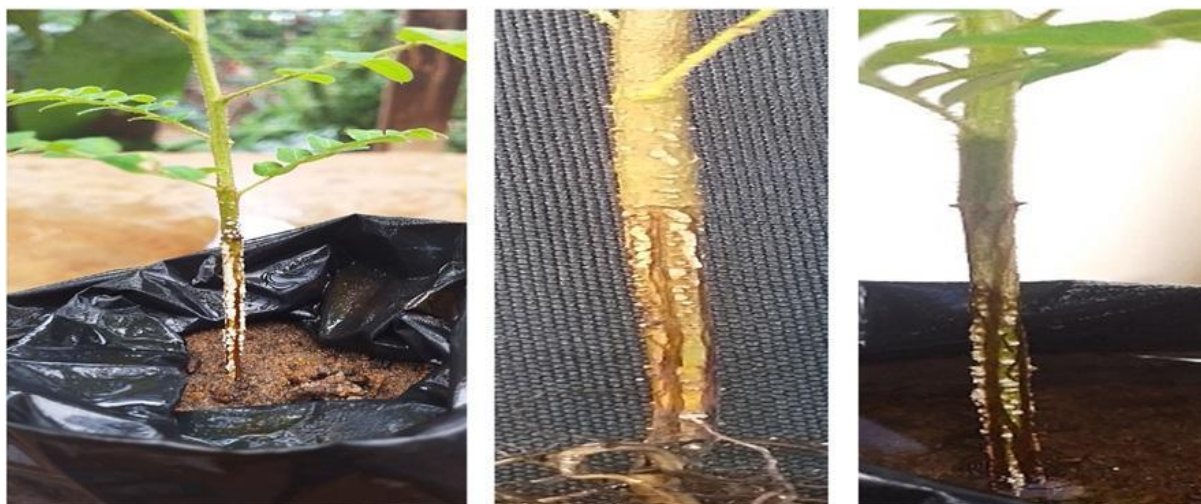


Figura 1. Plantas jovens de *Peltophorum dubium* pertencentes ao tratamento de alagamento, exibindo lenticelas hipertrofiadas na porção aérea basal

Em relação à morfologia das plantas submetidas ao tratamento de recuperação, as plantas do pós-alagamento registraram abscisão foliar em duas plantas, mas no geral mostraram-se semelhantes às plantas controle (Figura 2A e 2B). No entanto, nas plantas pós-seca não foi possível observar o aparecimento de novas folhas ou brotações, indicando que não houve recuperação das plantas após 25 dias de irrigação (Figura 2C). Assim, as plantas do tratamento seca apresentaram senescência de 100% dos indivíduos mesmo após a reidratação.

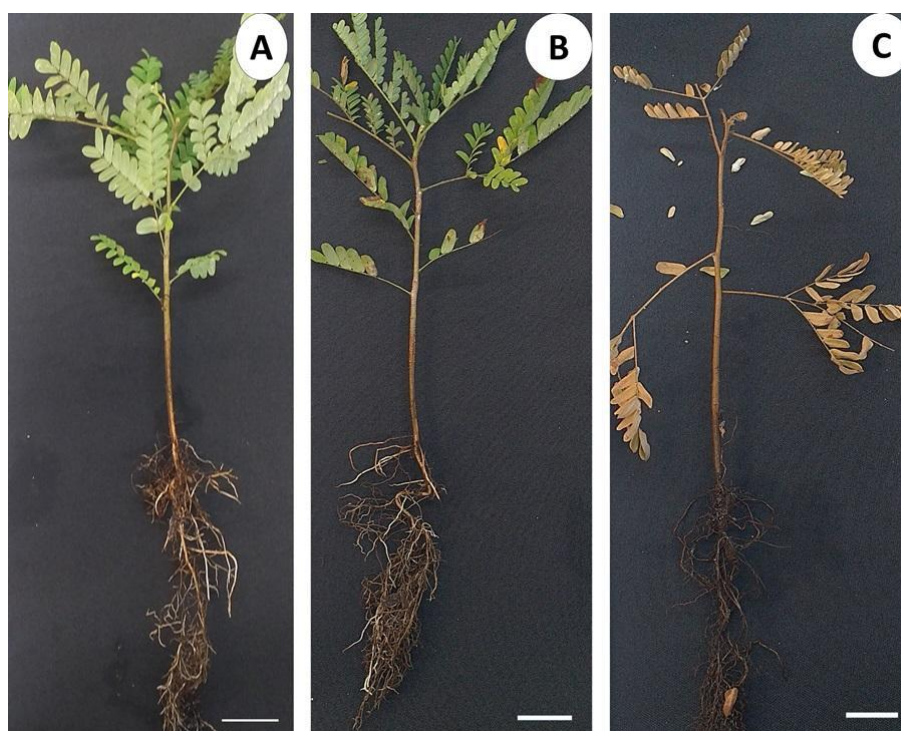


Figura 2. Aspectos morfológicos de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, A) Controle, B) Pós-alagamento, C) Pós-suspensão hídrica, após 25 dias do tratamento de recuperação. As escalas indicam 2 centímetros

3.2 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO

Plantas de *P. dubium* apresentaram alterações no crescimento quando mantidas sob estresse hídrico. Plantas sob alagamento se mostraram semelhantes às plantas controle, não se observando diferença significativa em relação às variáveis comprimento da raiz, número de folhas e biomassa fresca e seca das folhas e do caule. No entanto, as plantas sob alagamento apresentaram maior altura em relação aos demais tratamentos (Tab. 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

Variáveis/Tratamentos	Controle	Alagamento	Seca
Altura (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	6.6 ± 0.4 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 da raiz (g)	2.2 ± 0.3 a	1.21 ± 0.16 b	0.25 ± 0.05 c
Biomassa seca da 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; as demais variáveis foram analisados via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

A condição de seca ocasionou redução significativa do número de folhas, da biomassa fresca e seca das folhas e do caule, e biomassa fresca da raiz (Tabela 1). A biomassa seca da raiz apresentou diferenças significativas entre todos os tratamentos analisados.

Após o período de recuperação, as plantas pós-alagamento não apresentaram diferença significativa com as plantas controle para a maioria das variáveis de crescimento analisado, com exceção da biomassa seca da raiz e do diâmetro do caule (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

Variáveis/Tratamentos	Controle	Pós-Alagamento	Pós-Seca
Altura (cm)	12.4 ± 1.43 a	13.2 ± 0.37 a	12.1 ± 1.61 a
Comprimento da 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. Todas as variáveis de crescimento foram analisados via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

As plantas pós-seca apresentaram menor número de folhas e menor massa seca em relação aos demais tratamentos. O diâmetro do caule não diferiu entre as plantas do pós-alagamento e pós-seca.

3.3 CARBOIDRATOS SOLÚVEIS TOTAIS

Ao analisar os teores de carboidratos solúveis totais da raiz, observou-se menor teor nas raízes das plantas sob seca, não se verificando diferença significativa nos teores de carboidratos solúveis totais nas raízes das plantas do tratamento controle e alagamento (Figura 3A).

Com relação ao teor de carboidratos solúveis nas folhas, foi evidenciado que as folhas das plantas jovens de *P. dubium*, sob seca, apresentaram maior teor de carboidratos solúveis comparado aos demais tratamentos (Figura 3B). Contudo, não se observou diferença significativa nos teores de carboidratos solúveis totais das folhas de plantas mantidas na condição controle e alagamento (Figura 3B).

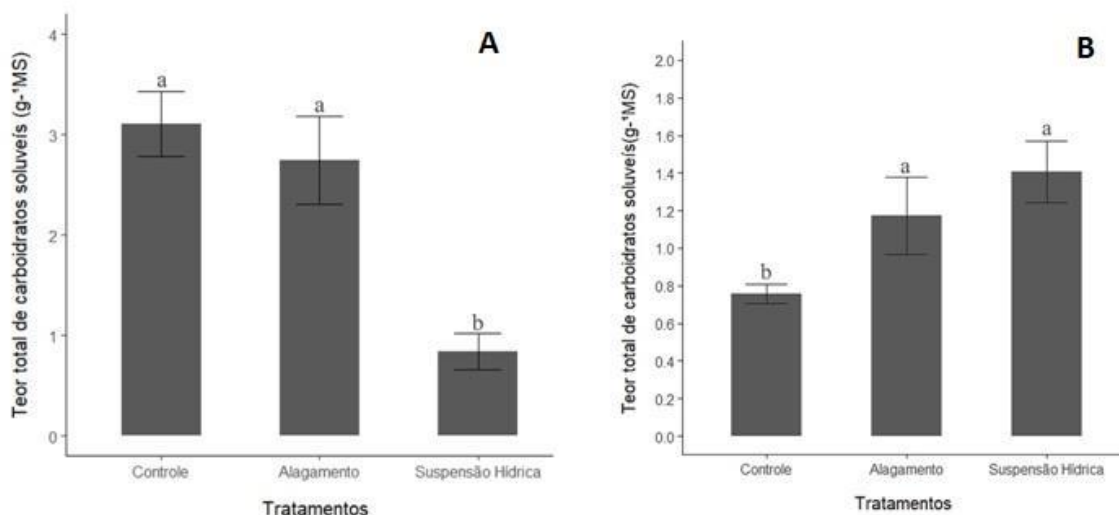


Figura 3. Teor de carboidratos solúveis totais das raízes (A) e nas folhas (B) de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, mantidas em capacidade de campo (controle), alagamento e suspensão hídrica (n=5). As barras representam \pm erro padrão. As letras diferentes indicam diferença significativa. As análises foram realizadas via análise de variância (ANOVA) e com o Teste de Tukey como post-hoc.

3.4 TEOR DE CLOROFILA

A maioria dos teores de pigmentos fotossintetizantes analisados não apresentaram diferenças significativas quando comparados os tratamentos entre si (Figura 4 A, B, C), mantendo-se, assim, na análise da clorofila total e carotenoide/clorofila total (Figura 4 E, F). Contudo, a relação clorofila *a/b* nas plantas sob seca 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 4D).

As variações hídricas podem ocasionar condições estressantes, devido ao alagamento e à seca, durante os estágios de crescimento e desenvolvimento das plantas (Bello *et al.*, 2022). O fechamento dos folíolos e abscisão como o observado nas plantas sob alagamento (Figura 5) pode ser uma resposta ao estresse. 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 (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, tornando as folhas cloróticas (Ouyang *et al.*, 2017).

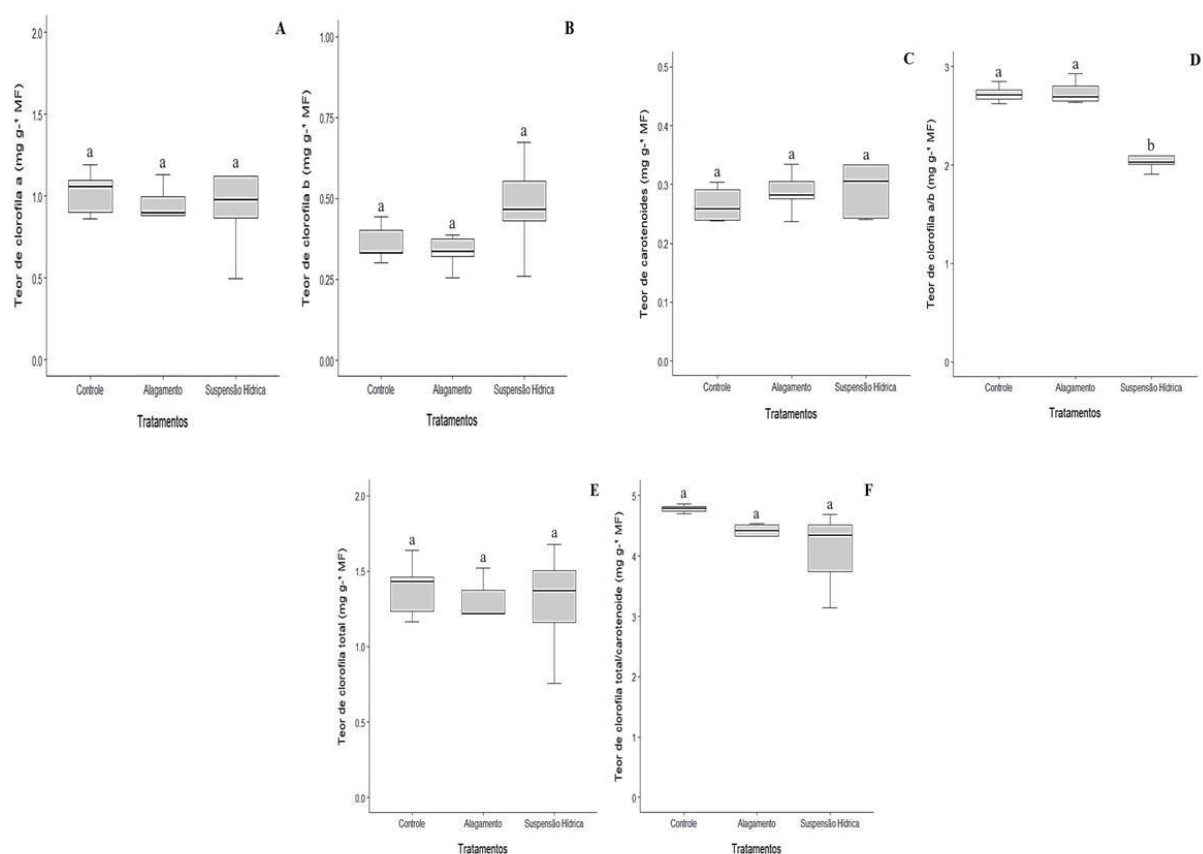


Figura 4. A) Teor de Clorofila *a*, B) Teor de Clorofila *b*, C) Teor de Carotenoide, D) Clorofila *a/b*, E) Clorofila Total, F) Relação carotenoides/clorofila total em folhas de plantas jovens de *Peltophorum dubium*, considerando controle, tratamento de alagamento e o tratamento de suspensão hídrica 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).

A presença de lenticelas hipertrofiadas foi registrada nas plantas jovens submetidas ao tratamento de alagamento (Figura 4). Essas estruturas podem indicar uma resposta induzida pelo baixo aporte de oxigênio, pois a presença de lenticelas possibilita maior captação de oxigênio (Junglos *et al.*, 2018) e, com isso, atenua os efeitos negativos causados à respiração celular (Van Dongen; 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 que a aeração estava sendo retomada pela demanda de oxigênio nas plantas (Figura 7B).

O sistema radicular, devido ao período de exposição ao alagamento, principalmente em seus ápices, apresentou 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. A produção excedente de etanol pode tornar-se tóxico às células vegetais e conseqüentemente, 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 Wit (1978), é uma das

principais tendências na formação de raízes em condições de excesso de água e, geralmente, o aumento na ramificação com muitas raízes curtas.

Nas plantas submetidas à seca, as folhas se 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 para, com isso, reduzir a transpiração (Fang; Xiong 2015; Munemasa *et al.*, 2015), sendo uma resposta mediada pelo aumento na biossíntese de ABA (ácido abscísico) que age como um sinalizador de estresse (Xiong; Zhu, 2003). O estresse ocasionado pelas condições hídricas de alagamento e seca 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 as variáveis de crescimento avaliadas de *P. dubium* houve diferença significativa da altura da parte aérea entre o tratamento de alagamento quando relacionado ao tratamento controle e seca (Tabela 1). Esse aumento na parte aérea pode indicar acúmulo de etileno na parte aérea das plantas (Nagai *et al.*, 2014; Xiang *et al.*, 2017). Essa condição morfológica pode demonstrar tolerância às condições de alagamento (Parent *et al.*, 2008). As plantas do tratamento de recuperação, pós-alagado, não apresentaram diferença significativa com os demais tratamentos analisados (Tabela 2), evidenciando que a elevação da altura das plantas sob alagamento se deve ao estresse hídrico.

A limitação de água no solo interferiu no acúmulo de biomassa seca nas plantas sob seca, verificando-se pelo menor acúmulo de biomassa foliar e do caule, o que se manteve no período de recuperação. Possivelmente, esses resultados podem estar atrelados a queda de folhas registrada no decorrer do tratamento de seca (Figura 5C), interferindo diretamente na produção de biomassa (Stallmann *et al.*, 2020). A redução na biomassa ocasionada pela seca é promovida pela redução na turgescência celular e que ocorre concomitante à diminuição do potencial hídrico da planta (Todaka *et al.*, 2017).

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* foi menor nas plantas mantidas sob seca (Figura 10). O teor de clorofila *a/b* está relacionado à concentração e a proporção de pigmentos fotossintéticos foliares, indicando aumento no teor de clorofila *b*. De acordo com Abd Elbar *et al.* (2019), a clorofila *b* exerce um papel protetor ao aparato fotossintético sob estresse hídrico, o que pode estar associado a tendência de um maior teor de clorofila *b* nas plantas sob seca.

A quantificação de carboidratos solúveis demonstrou que as raízes e folhas das plantas jovens de *P. dubium* mantidas sob seca 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 na concentração de carboidratos solúveis entre raízes e folhas no tratamento de seca 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). A seca promove 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; diminuindo o armazenamento de reserva desses açúcares nas raízes e, conseqüentemente, causa 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). 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 de carboidratos solúveis no floema. Geralmente, espécies que apresentam menor concentração de carboidratos nas raízes mostram menor tolerância para suportar a deficiência de oxigênio no solo (Araki; Hossain; Takahashi, 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 (Qin *et al.*, 2013), modulando a expressão de importantes genes responsáveis por fornecer tolerância ao estresse abiótico para a planta (Gangola; 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 Yang, C.; Seago Jr, 2018). Ademais, também, foi possível observar o desenvolvimento de novas folhas.

Nossos resultados confirmam os dados 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, promovendo a sobrevivência durante o alagamento (Chen *et al.*, 2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Plantas jovens de *P. dubium* podem estar distribuídas em áreas sujeitas à variação hídrica, seja por seca ou alagamento, que associado 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 por seca é severo e seus danos tendem a aumentar com o passar do período de exposição, reduzindo as variáveis de crescimento e alterações fisiológicas, que culminaram na senescência das plantas. Por outro lado, as plantas do tratamento de alagamento, apesar de alguns danos constatados na morfologia, como amarelecimento e abscisão das folhas, apresentaram respostas tolerantes ao alagamento, como, por exemplo, o surgimento de lenticelas hipertrofiadas. Ademais, as variáveis 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. Os resultados indicam melhor aclimação aos efeitos ocasionados pelo alagamento quando comparados aos da seca dentro do período avaliado.

AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos à CAPES pelo auxílio financeiro e ao Nupélia pelo suporte logístico para atividades de campo.

REFERÊNCIAS

- ABD ELBAR, O. H.; FARAG, R. E.; SHEHATA, S. A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.10.001>
- ARAKI, H.; HOSSAIN, M. A.; TAKAHASHI, T. 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. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00510.x>
- BELLO, Z. A.; VAN RENSBURG, L. D.; DLAMINI, P.; TFWALA, C. M.; TESFUHUNEY, W. Characterisation 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. <https://doi.org/10.3390/plants11050578>
- BLUM, A. 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. DOI: 10.1111/pce.12800.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: EMBRAPA - informação tecnológica, 2014.
- CARVALHO, L. S. O.; LIRA, J. M. S.; RODRIGUES, A. C.; LARA, T. S.; PACHECO, F. V.; ALVARENGA, A. A. Resistance Mechanisms of *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert Submitted to Flood Conditions. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p.582-588, 2016.
- CHEN, H.; QUALLS, R. G.; BLANK, R. R. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.02.013>

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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740070108>

COMITA, L. S.; ENGELBRECHT, B. M. 2014. Drought as a driver of tropical tree species regeneration dynamics and distribution patterns. *In*: Coomes DA, Burslem D, Simomson WD, editor (s). **Forests and global change**, Cambridge (UK): Cambridge University Press; p. 261-308.

DALMOLIN, A. C.; DE ALMEIDA, LOBO. F.; VOURLITIS, G. L.; DALMAGRO, H. J.; ANTUNES JUNIOR, M. Z.; RODRIGUEZ ORTIZ, C. E. Physiological adjustments of an invasive tree species to extreme hydrological events in a tropical seasonal wetland. **Trees**, v. 32, p. 1365-1375, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1718-8>

DGHIM, F.; ABDELLAOUI, R.; BOUKHRIS, M.; NEFFATI, M.; CHAIEB, M. 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. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.11.007>

DUARTE, C. I.; MARTINAZZO, E. G.; BACARIN, M. A.; COLARES, I. G. Seed germination, growth and chlorophyll a fluorescence in young plants of *Allophylus edulis* in different periods of flooding. **Actaphysiologiae Plantarum**, v. 42, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03063-7>

DUARTE, J. M. L.; LIMA, A. D.; NASCIMENTO, R. S.; DE ARAÚJO VIANA, T. V.; SARAIVA, K. R.; DE AZEVEDO, B. M. Eficiência do uso da água na produção de óleo do girassol (*Helianthus annuus L.*), sob suspensão hídrica water use efficiency in sunflower (*Helianthus annuus L.*) oil production under water suspension. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 6, n. 3, p. 166 – 175, 2012. <https://doi.org/10.7127/rbai.v6n300081>

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. D. Substratos alternativos e métodos de quebra de dormência para produção de mudas de canafístula **Revista ceres**, v. 60, p. 72-78, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000100011>

FANG, Y.; XIONG, L. 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. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0>

FERNANDES, L. A. F.; LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; KAWAKITA, K.; ROMAGNOLO, M. B. 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, p. e2166, 2023. <https://doi.org/10.20502/rbg.v24il.2166>

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

GREET, J.; FISCHER, S.; RUSSELL, K. Longer duration flooding reduces the growth and sexual reproductive efforts of a keystone wetland tree species. **Wetlands ecology and management**, v.28, p. 655-666, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09738-9>

GUPTA, A.; RICO-MEDINA, A.; CAÑO-DELGADO, A. I. The physiology of plant responses to drought. **Science**, v. 368, n. 6488, p. 266-269, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7614>

HUMMEL, I.; PANTIN, F.; SULPICE, R.; PIQUES, M.; ROLLAND, G.; DAUZAT, M.; MULLER, B. *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. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.110.157008>

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. The Sixth Assessment Report: The numbers behind the science. Geneva, Switzerland, 2022.

JANSSEN, P.; PIÉGAY, H.; PONT, B.; EVETTE, A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.434>

JIA, W.; MA, M.; CHEN, J.; WU, S. Plant morphological, physiological and anatomical adaptation to flooding stress and the underlying molecular mechanisms. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 3, p. 1088, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms22031088>

JUNGLOS, F. S.; JUNGLOS, M. S.; DRESCH, D. M.; BENTO, L. F.; SANTIAGO, E. F.; MUSSURY, R. M.; SCALON, S. D. P. Q. Morphophysiological responses of *Ormosia arborea* (Fabaceae) seedlings under flooding and post-flooding conditions. **Australian Journal of Botany**, v. 66, n. 7, p. 489-499, 2018. <https://doi.org/10.1071/BT17206>

LAMAQUI, M.; JEMO, M.; DATLA, R.; BEKKAQUI, F. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. **Frontiers in chemistry**, v. 6, n.26, p. 1-14, 2018. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026>

LI, X. Y.; SHI, F. Z.; MA, Y. J.; ZHAO, S. J.; WEI, J. Q. Significant winter CO₂ uptake by saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau. **Global change biology**, v. 28, n. 6, p. 2041-2052, 2022. <https://doi.org/10.1111/gcb.16054>

- LICHTENTHALER, H. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, v.148C, p. 350-382, 1987. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- LIU, Z.; CHENG, R.; XIAO, W.; GUO, Q.; WANG, Y.; WANG, N.; WANG, Y. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2015.04.003>
- 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. <https://doi.org/10.1672/07-225.1>
- MARCÍLIO, T.; BARBEIRO, C.; FIRMINO, T. P.; ROMAGNOLO, M. B.; SOUZA, L. A.; PASTORINI, L. H. Flooding and submersion-induced morphological and physiological adaptive strategies in *Lonchocarpus cultratus*. **Aquatic botany**, v. 159, p. 103-146, 2019. <https://doi.org/10.106/j.aquabot.2019103146>
- MECHRI, B.; TEKAYA, M.; HAMMAMI, M.; CHEHAB, H. Effects of drought stress on phenolic accumulation in greenhouse-grown olive trees (*Olea europaea*). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 92, p. 104112, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104112>
- MUNEMASA, S.; HAUSER, F.; PARK, J.; WAADT, R.; BRANDT, B.; SCHROEDER, J.I. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. **Current opinion in plant biology**, v. 28, p. 154-162, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.10.010>
- NAGAI, K.; KONDO, Y.; KITAOKA, T.; NODA, T.; KUROHA, T.; ANGELES-SHIM, R.B.; ASHIKARI, M. QTL analysis of internode elongation in response to gibberellin in deepwater rice. **AoB plants**, v. 6, plu028, p. 1-12, 2014. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu028>
- OUYANG, W.; STRUIK, P. C.; YIN, X.; YANG, J. 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. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx314>
- PAN, R.; BUITRAGO, S.; FENG, X.; HU, A.; ZHOU, M.; ZHANG, W. 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. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104826>

PARENT, C.; CAPELLI, N.; BERGER, A.; CRÈVECOEUR, M.; DAT, J.F. An overview of plant responses to soil waterlogging. **Plant stress**, v. 2, n. 1, p. 20-27, 2008. <https://doi.org/10.1017/S0266467400001516>

PENG, Y. Q.; ZHU, J.; LI, W.J.; GAO, W.; SHEN, R. Y.; MENG, L. J. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108977>

QIN, X.; LI, F.; CHEN, X.; XIE, Y. Growth responses and non-structural carbohydrates in three wetland macrophyte species following submergence and de-submergence. **Acta physiologiae plantarum**, v. 35, n. 7, p. 2069-2074, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1241-x>

R CORE TEAM R. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. URL <https://www.R-project.org/>.

RODRIGUES, C. M.; MÜDSAM, C.; KELLER, I.; ZIERER, W.; CZARNECKI, O.; CORRAL, J. M.; POMMERENIG, B. 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. <https://doi.org/10.1105/tpc.20.00072>

ROOD, S. B.; SCOTT, M. L.; DIXON, M.; GONZÁLEZ, E.; MARKS, C. O.; SHAFROTH, P. B.; VOLKE, M. A. Ecological interfaces between land and flowing water: themes and trends in riparian research and management. **Wetlands**, v. 40, p. 1801-1811, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01392-4>

SCHIELTL-AALTO, P.; RYHTI, K.; MÄKELÄ, A.; PELTONIEMI, M.; BÄCK, J.; KULMALA, L. 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, n. 17. P. 1-14, 2019. <https://doi.org/10.3389/ffgc/2019.00017>

SEYMEYEN, M.; YAVUZ, D.; DURSUN, A.; KURTAR, E. S.; TÜRKMEN, Ö. 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.009>

SHIKHA, D.; JAKHAR, P.; SATBHAI, S. 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. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac387>

SILVA, T. S.; RANDO, J. G.; CARVALHO, D. A. S. *Peltophorum* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

STALLMANN, J.; SCHWEIGER, R.; PONS, C. A.; MÜLLER, C. 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. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66812-1>

TIAN, L. X.; ZHANG, Y. C.; CHEN, P. L.; ZHANG, F. F.; LI, J.; YAN, F.; FENG, B. L. How does the waterlogging regime affect crop yield? A global meta-analysis. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 634898, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634898>

TODAKA, D.; ZHAO, Y.; YOSHIDA, T.; KUDO, M.; KIDOKORO, S.; MIZOI, J.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. 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. <https://doi.org/10.1111/tpj.13468>

TOMBESI, S.; NARDINI, A.; FRIONI, T.; SOCCOLINI, M.; ZADRA, C., FARINELLI, D.; PALLIOTTI, A. Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 12449. 2015. <https://doi.org/10.1038/srep12449>

WANG, H.; SONG, C.; FANG, S.; WANG, Z.; SONG, S.; JIAO, J.; BAI, T. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110683>

WIT, M. C. J. Morphology and function of roots and shoot growth of crop plants under oxygen deficiency. In: Hook DD, CrawfordRMM editor (s). **Plant life in anaerobic environments**, Minnesota (MN) Taylor & Francis; 1978. p.269-297.

WU, J.; WANG, J.; HUI, W.; ZHAO, F.; WANG, P.; SU, C.; GONG, W. Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 324-339, 2022. <https://doi.org/10.3390/f13020324>

XIANG, J.; WU, H.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; LI, Z.; ZHU, D. Transcriptomic analysis of gibberellin- and paclobutrazol-treated rice seedlings under submergence. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 10, p. 2225-2240, 2017. <https://doi.org/10.3390/ijms18102225>

XIONG, L.; WANG, R. G.; MAO, G.; KOCZAN, J. M. 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. <https://doi.org/10.1104/pp.106.084632>

XIONG, L.; ZHU, J. K. Regulation of abscisic acid biosynthesis. **Plant physiology**, v. 133, n. 1, p. 29-36, 2003. <https://doi.org/10.1104/pp.103.025395>

YAN, H.; LIU, R.; LIU, Z.; WANG, X.; LUO, W.; SHENG, L. Growth and physiological responses to water depths in *Carex schmidtii* Meinsh. **PloS One**, v.10, n. 5, p. e0128176, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128176>

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; JIANG, J. Ethylene promotes induction of aerenchyma formation and ethanolic fermentation in waterlogged roots of *Dendranthema* spp. **Molecular biology reports**, v. 40, p. 4581-4590, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11033-013-2550-2>

ZHAI, F. F.; LI, H. D.; ZHANG, S. W.; LI, Z. J.; LIU, J. X.; QIAN, Y. Q.; SUN, Z. Y. Male and female plants of *Salix viminalis* perform similarly to flooding in morphology, anatomy, and physiology. **Forests**, v. 11, n. 3, p. 321-336, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11030321>

ZHANG, X.; YANG, C.; SEAGO JR, J. 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. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.11.009>

ZHAO, Y.; WANG, D.; DUAN, H. Effects of drought and flooding on growth and physiology of *Cinnamomum camphora* seedlings. **Forests**, v. 14, n. 7, p. 1343-1358, 2023. <https://doi.org/10.3390/f14071343>