

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO**

**RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Inga
cylindrica* (VELL.) MART. A INUNDAÇÕES SIMULADAS**

Autora: Thaís Cristina Sousa de Oliveira

Orientador: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Coorientadores: Dr. Arthur Almeida Rodrigues e Dr. Leandro Carlos

**RIO VERDE - GO
Fevereiro 2020**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO**

**RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Inga
cylindrica* (VELL.) MART. A INUNDAÇÕES SIMULADAS**

Autora: Thaís Cristina Sousa de Oliveira

Orientador: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

Coorientadores: Dr. Arthur Almeida Rodrigues e Dr. Leandro Carlos

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde -Área de Concentração: Conservação dos Recursos Naturais.

RIO VERDE - GO

Fevereiro – 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

0048r Oliveira, Thais Cristina Sousa de
Respostas Morfoanatômicas e Fisiológicas de *Inga
cylindrica* (Vell.) Mart. a Inundações Simuladas /
Thais Cristina Sousa de Oliveira; orientador Sebastião
Carvalho Vasconcelos Filho; co-orientador Arthur
Almeida Rodrigues. -- Rio Verde, 2020.
50 p.

Dissertação (em Mestrado em Biodiversidade e
Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2020.

1. fisiologia Vegetal. 2. características
anatômicas. 3. fluorescência da clorofila a. 4.
trocas gasosas. I. Filho, Sebastião Carvalho
Vasconcelos , orient. II. Rodrigues, Arthur Almeida,
co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Thaís Cristina Sousa de Oliveira

Matrícula: 2018102310840089

Título do Trabalho: RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Inga cylindrica* (VELL.) MART. A INUNDAÇÕES SIMULADAS

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 15/06/2020

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

RIO VERDE, 16/06/2020

Local Data

Thaís Cristina Sousa de Oliveira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo

Sebastião C. V. Filho

Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho
 Assinatura do Orientador

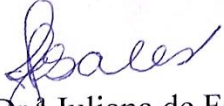
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO


RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE
Inga cylindrica (VELL.) MART. A INUNDAÇÕES SIMULADAS


Autora: Thaís Cristina Sousa de Oliveira
Orientador: Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho

TITULAÇÃO: Mestre em Biodiversidade e Conservação – Área de
concentração Conservação dos Recursos Naturais.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2020.


Prof.^a Dr.^a Juliana de Fátima Sales
Avaliadora externa
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Wilker Alves Morais
Avaliador externo
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

DEDICO ESTE TRABALHO

Dedico a Deus pela oportunidade. Á minha família primeiramente por todo apoio e incentivo durante minha jornada em especial meus pais que me ajudaram em todos os momentos. Ao meu orientador e coorientadores que transmitiram seus conhecimentos e me guiaram na direção correta. E a todos que esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

“Agradeço a Deus em primeiro lugar pela proteção, por me sustentar, por sempre estar comigo me trazendo paz e demonstrar que está no controle de todas as situações, pelas bençãos e por ter me permitido viver esta experiência.”

“Agradeço minha mãe Francisca por ter me apoiado, me incentivado todos os dias desde sempre, por me mostrar que eu poderia fazer qualquer coisa que quisesse, pelas orações e por todo esforço que fez por mim.”

“Agradeço meu pai Jucimar pelos conselhos, pela ajuda cujo sempre fez o possível e o impossível para me levar à faculdade todas as vezes que precisei e por todo apoio desde o início da minha vida acadêmica.”

“Agradeço todos os meus familiares e amigos que contribuíram para minha formação de forma direta e indiretamente, que sempre me ouviram quando foi preciso me acalmando nos meus momentos de aflição. Em especial a minha tia Cleonice e meus amigos Ana Paula e André.”

“Agradeço meu noivo Lucas que me acompanha desde a graduação, que sempre me apoiou e me incentivou a iniciar o mestrado, que foi minha base e terapeuta nos momentos difíceis que não me deixou desistir, que sempre me dizia constantemente “Você pode fazer tudo que os outros fazem e ainda pode fazer melhor!” agradeço imensamente por todas as palavras vou sempre me lembrar.”

“Agradeço meu orientador Sebastião Carvalho, por toda ajuda, por ter me orientado, me ensinado, por transmitir sua sabedoria e por sempre estar disponível para retirar minhas dúvidas todas as vezes que precisei. Meu muito obrigado professor!”

“Agradeço o pessoal do Laboratório de Anatomia Vegetal que fizeram parte da minha trajetória, Taline, Thais Andrade, Douglas e Bethânia. Estendo meu agradecimento ao Dr. Arthur Almeida e o professor Dr. Leandro Carlos por terem sido meus coorientadores, por me ajudar sempre que precisei e principalmente me auxiliado com meu experimento. Obrigado a todos!”

“Agradeço às Dr^a Gisele Menino, Dr^a. Patrícia Oliveira e Dr^a. Kelly por terem me incentivado durante a graduação a iniciar o mestrado sem vocês isso não teria sido possível.”

“Agradeço todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação pela disponibilidade, ajuda e compreensão durante a minha jornada acadêmica. Estendo meus agradecimentos aos professores do curso de Ciências Biológicas do Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, pela sabedoria,

competência, dedicação e transmissão de ensinamentos fornecidos na época que cursei minha graduação.”

“Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa de estudos concedida.”

“Enfim gratidão a todos por ter feito parte da minha trajetória, pela contribuição que fizeram para que eu pudesse chegar até aqui. Gratidão a cada um de vocês!”

MUITO OBRIGADA!

BIOGRAFIA DA AUTORA

Thaís Cristina Sousa de Oliveira filha de Jucimar de Oliveira e Francisca Sousa de Oliveira. Natural da cidade de Rio Verde, nascida em 16 de janeiro de 1996 no estado de Goiás.

Sua formação iniciou no ano de 2014, no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, e graduou-se em fevereiro de 2018. Ingressou no curso de mestrado no programa de pós-graduação em Biodiversidade e Conservação também no Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde em março de 2018.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABELAS | x |
| RESUMO | i |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 Plantas submetidas à inundação | 2 |
| 2.2 Adaptações anatômicas de plantas | 4 |
| 2.3 Fisiologias das plantas em ambientes alagados | 6 |
| 2.4 <i>Inga Cylindrica</i> (Vell.) MART. | 7 |
| 3. OBJETIVOS | 9 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 9 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 9 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 9 |
| 4.1. Caracterização morfoanatômica e histoquímica | 11 |
| 4.2 Avaliação da fluorescência da clorofila a e trocas gasosas | 12 |
| 4.3. Análises com Dualex | 12 |
| 4.4. Análise estatística | 13 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 13 |
| 5.1 Caracterização Morfoanatômica e Histoquímica | 13 |
| 5.2. Análises com Dualex | 23 |
| 5.3 Fluorescência da clorofila a e trocas gasosas | 24 |
| 7. CONCLUSÃO | 27 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 27 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Simulação do alagamento em plantas de *Inga cylindrica* por 21 dias. Germinação de *I. cylindrica* em areia lavada (A). Plantas em vaso de 1,5 L com solo adubado antes da imposição dos tratamentos (B), plantas na condição de alagamento simulado parcial e total (C). 11
- Figura 2. Caule de *Inga cylindrica*, após 21 dias de exposição. Plantas controle (A). Tratamento parcialmente alagada com a presença de lenticelas hipertrofiadas (B). Caule tratamento totalmente alagado sem a presença de lenticelas (C). 14
- Figura 3. Teste histoquímico nas folhas de *Inga cylindrica*, coradas com lugol, xylidine ponceau (XP) e sulfato ferroso após 21 dias de exposição à inundação simulada. Cortes corados com lugol: controle (A), alagamento parcial (D), alagamento total (G). XP, controle (B), alagamento parcial (E), alagamento total (H). Sulfato ferroso, controle (C), alagamento parcial(F), alagamento total (I). Setas indicam a coloração pelos reagentes. 15
- Figura 4. Teste histoquímico no mesofilo foliar de *Inga cylindrica*, após 21 dias de exposição à inundação. (A-D) controle, (E-H) alagamento parcial (I-L) alagamento total. Cortes corados com Azul de Toluidina (A, E, I), Xylidine Ponceau (B, F, J), Lugol (C, G, K), Sulfato Ferroso (D, H, L). Setas indicam a coloração pelos reagentes. 18
- Figura 5. Raiz de *Inga cylindrica*, após 21 dias de exposição à inundação. Azul de toluidina, controle (A), alagamento parcial (E), alagamento total (I). XP, controle (B), alagamento parcial (F), alagamento total (J). Lugol (C), alagamento parcial (G), alagamento total (K). Sulfato ferroso controle (D), alagamento parcial (H), alagamento total (L). Setas indicam a coloração pelos reagentes. 21
- Figura 6. Caracterização anatomia da raiz de *Inga cylindrica* coradas com azul de toluidina após 21 dias de exposição à inundação. (A-C) controle, (D-F) alagamento parcial (G-I) alagamento total. Setas pretas indicam espaços entre as células e setas vermelhas indicam células colapsadas. Barra de escala 100µm. 22

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Micromorfometria da Folha e da Raiz, Epiderme Adaxial (EpAd), Epiderme Abaxial (EpAb), Parênquima Paliçádico (PP), Parênquima Esponjoso (PE), Mesofilo (ME), Grãos de Amido (GA), Espessura da Folha (EspF)..... 19

Tabela 2. Índice de nitrogênio (NBI), clorofilas, flavonoides e antocianinas em plantas de *Inga cylindrica* após 21 dias de exposição a inundação simulada. 19

Tabela 3. Taxa fotossintética (E), taxa fotossintética líquida (A), concentração externa de CO₂ (Ca), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca), relação entre a taxa fotossintética e a concentração de CO₂ (A/Ci), Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ_{PSII}), coeficiente de extinção fotoquímica (qp) e extinção da eficiência não fotoquímica (qN) em plantas de *Inga cylindrica* após 21 dias de inundação..... 25

RESUMO

OLIVEIRA, THAÍS CRISTINA SOUSA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Fevereiro 2020. **RESPOSTAS MORFOANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Inga cylindrica* (VELL.) MART. A INUNDAÇÕES SIMULADAS.** Orientador: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho. Coorientadores: Dr. Arthur Almeida Rodrigues e Dr. Leandro Carlos.

Na era das mudanças climáticas globais, o risco de desastres em grande escala tem aumentado. Nesse cenário as inundações se tornam frequentes em ambiente comumente não alagado, alterando as condições locais e afetando o estabelecimento das plantas. Dessa forma, a estrutura anatômica e fisiológica das plantas pode ser considerada um relevante indicador ecológico das adaptações das espécies vegetais nas áreas inundadas. Assim, objetivou-se avaliar as características morfoanatômicas e fisiológicas de *Inga cylindrica* após o alagamento parcial e total, a fim de verificar o potencial de tolerância dessa espécie a condições de inundação. Foram utilizadas plantas jovens de *I. cylindrica* com aproximadamente 20 cm de altura submetidas ao alagamento parcial e total, por um período de 21 dias consecutivos. Posteriormente, foram avaliadas as características morfoanatômicas no qual os indivíduos do tratamento parcial desenvolveram lenticelas e os dois tratamentos ocorreram o surgimento de aerênquima. As análises histoquímica para ambos os tratamentos parcial e total demonstraram nas folhas e raízes a presença de compostos fenólicos, para os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas ocorreu um aumento de 9% na trocas gasosas, a taxa fotossintética diminuiu 72%. Mediante os resultados obtidos a espécie *I. cylindrica* demonstrou ser tolerante as condições de inundação parcial e total.

Palavras-chaves: Fisiologia Vegetal; características anatômicas; fluorescência da clorofila *a*; trocas gasosas.

ABSTRATC

OLIVEIRA, THAÍS CRISTINA SOUSA. Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, February 2020. **MORPHOANATOMIC AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF *Inga cylindrica* (VELL.) MART. SIMULATED FLOODING.**

Advicer: Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho. Co-Advicer: Dr. Arthur Almeida Rodrigues e Dr. Leandro Carlos.

In the era of global climate change, the risk of large-scale disasters has increased. In this scenario, floods become frequent in a commonly un flooded environment, changing local conditions and affecting plant establishment. Thus, the anatomical and physiological structure of plants can be considered a relevant ecological indicator of the adaptations of plant species in the flooded areas. Thus, the objective was to evaluate the morphoanatomical and physiological characteristics of *Inga cylindrica* after partial and total flooding, in order to verify the potential for tolerance of this species to flood conditions. Young plants of *I. cylindrica* with approximately 20 cm were used submitted to partial and total flooding for a period of 21 consecutive days. Subsequently, the characteristics morphoanatomical in which the partial treatment subjects developed lenticelas and the two treatments were evaluated the appearance of aerenchyma occurred. The histochemical analysis for both partial and total treatments demonstrated in the leaves and roots the presence of phenolic compounds, for the physiological parameters of gas exchanges occurred a score of 9% in the gas exchanges, the photosynthetic rate decreased 72%. With the results obtained, the species *I. cylindrica* proved to be tolerant of total flooding conditions.

KEYWORDS: Plant physiology; anatomical characteristics; chlorophyll a fluorescence; gas exchanges.

1. INTRODUÇÃO

As matas ciliares possuem grande importância para a manutenção, proteção, controle de nutrientes, sedimentos e erosões que chegam aos cursos d'água (Cardoso et al., 2004). Estudos demonstram que as matas ciliares sofrem frequentes inundações, e possuem uma grande biodiversidade de espécies em seus leitos de fauna e flora (Yu, 2020). Evento constante de inundações nesse ecossistema implica em impactos nos vegetais que estão próximos a esta região, onde as espécies que não estão adaptadas a esse evento morrem rapidamente quando seu solo é alagado, isto ocorre devido não serem capazes de se adaptar para sobreviver a estas condições (Silva et al., 2010).

As inundações têm sido um dos fatores de estresse ambiental em todo o mundo e vêm aumentando com frequência devido às alterações climáticas globais (Ye et al., 2020). As espécies de plantas submetidas a esse fator podem reduzir significativamente o crescimento e o desenvolvimento (Ezin e Pena, 2010). A água das inundações transitórias desloca gases nos poros do solo e induz hipóxia em plantas cultivadas em solo com pouca drenagem. A inundação em diferentes períodos e intensidades variadas afeta o ambiente ecológico e o crescimento das plantas de maneira adversa (Du et al., 2012). As espécies diferem amplamente nas respostas às condições anaeróbicas e o efeito pode mudar dependendo da idade da planta e da natureza do ambiente (Liu, 2014).

As plantas tolerantes as inundações geralmente apresentam características morfológicas e anatômicas ou vias metabólicas alternativas para superar a depleção de oxigênio (Martinez et al., 2011). Algumas espécies podem desenvolver adaptações morfoanatômicas com a formação de raízes adventícias, aerênquima e lenticelas hipertrofiadas (Dalmolin et al., 2018; Yin et al., 2013). Além de algumas conseguirem preservar o aparato fotossintético, com manutenção da condutância estomática (Mollard et al., 2008). No entanto, algumas espécies lenhosas diminuem sua taxa de crescimento para reduzir o consumo de energia e retomar o crescimento normal no final do período de estresse (Medri et al. 2007).

Com a finalidade de entender o comportamento das plantas sob inundação, as avaliações das estruturas morfoanatômicas e fisiológicas são indicadores ecológicos das adaptações das plantas (Wei et al., 2018). As adaptações em resposta à disponibilidade de água em ambientes que apresentam condições de estresse em relação a este recurso, apresentando uma influência direta sobre a caracterização estrutural das espécies

lenhosas. Assim, compreender esses processos ecológicos pode contribuir em programas de preservação, manejo e restauração de populações vegetais (Peng et al., 2013).

A espécie *Inga cylindrica*, popularmente conhecida por Anga ou Ingá, é encontrada em matas ciliar, mata de galeria e cerradão, ocorrendo na Bolívia, Colômbia, Equador, Guianas, Peru e Brasil (Castro et al, 2014). Algumas espécies do gênero *Inga* possuem importância farmacológica, e são usadas para tratamento de doenças por tribos indígenas e também na medicina popular (Verdam, 2010). Pesquisas demonstram ainda que as espécies de *Inga* possuem potenciais e são indicadas para recuperar matas ciliares e áreas degradadas sendo consideradas como tolerantes a inundação (Aguiar et al., 2020). Em relação a *Inga cylindrica*, no entanto, ainda não existem estudos sobre as repostas anatômicas e fisiológicas da planta ao alagamento, apesar do seu gênero demonstrar potencial de tolerância (Silva, 2013). Assim, objetivou-se avaliar o comportamento da espécie *Inga cylindrica* quando submetidas à inundação em condições experimentais visando observar as características morfoanatômicas e fisiológicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Plantas submetidas à inundação

A inundação é o principal fator abiótico que influencia a distribuição e a ocorrência de espécies arbóreas em regiões com ocorrência de alagamento (Maurenza et al., 2012). Conveniente à variação sazonal da precipitação em florestas ribeirinhas, mudanças no nível da água podem atingir amplitudes de alagamento em algumas partes de todos os territórios costeiros (Zhang et al., 2020). No Brasil as matas ciliares são caracterizadas pela frequente inundação, e as espécies que circulam nessa região será determinada pela sua tolerância a esses eventos, pois nestas regiões ocorrem períodos com submersão completa de árvores (Resende et al., 2019).

Espécies que são encontradas mais comumente em áreas nas proximidades de rios, bacias hidrográficas têm que lidar com períodos de encharcamentos frequentes durante vários dias ou meses (Costa, 2006). Durante essa fase, a germinação e o crescimento dessas espécies são comprometidos, uma vez que elas precisam desenvolver mecanismos eficazes para sua sobrevivência (Loreti, 2016). Esses períodos de inundação irão provocar diferentes impactos nas plantas, isto ocorre devido cada

indivíduo possuir sua capacidade de adaptação, uma vez que espécies tolerantes a deficiência de oxigênio no solo inundado estarão desenvolvendo mecanismos adaptativos nas raízes, tais como capacidade de locomover oxigênio através do surgimento de aerênquimas, produção de raízes adventícias para facilitar a transferência de oxigênio e ainda a presença de lenticelas no decorrer do seu caule (Silva, 2013).

De acordo com Zhang (2020) o aumento de água no solo, seja ele em períodos curtos ou longos, ocorre a necessidade de uma recomposição florestal específica, pois para essas áreas é necessário utilizar espécies resistentes a estes fatores ambientais, uma vez que a recuperação de áreas degradadas das matas ciliares inicia-se com espécies que consigam se adaptar às condições de estresse hídrico.

Em circunstância do alagamento, as características morfológicas das plantas são modificadas, exemplo disso são as adaptações em resposta à disponibilidade de água em ambientes que apresentam condições de estresse em relação a este recurso, apresentando uma influência direta sobre a caracterização estrutural das espécies lenhosas se tornando resistentes a este tipo de estresse (Medri et al., 2011). Além disso, a inundação e a submersão das plantas induzem uma redução significativa na fotossíntese (Armbruster et al., 2004), reduzindo as taxas de respiração e alterando o metabolismo, isto ocorre para que as plantas possam combinar vários fatores que auxiliam na redução do seu crescimento afim de sobreviver durante este período (Arruda et al., 2004).

O índice de inundação aumentou em regiões com declínio da área florestal, pois as plantas formavam barreiras, evitando riscos de alagamento (Rood, 2010). Pesquisas comprovam que a presença da flora em locais com a passagem constante de água, reduz a taxa de alagamento, visto que elas ajudam a reter e auxiliam como obstáculo à água das enxurradas provenientes de chuvas fortes (Peng et al, 2013). Davanso-Fabro (2000) argumenta que as matas ciliares tem sido constantemente alvo de fortes impactos ambientais, principalmente quando este está mais próximo de centros urbanos ou de culturas agrícolas, pois em função do desmatamento, acúmulo de lixo, liberação de esgoto, desvio de rios e acentuado movimento dos solos, corrobora para o aumento de escoamento e taxas elevadas de alagamentos.

Estudos associados a fim de observar a adaptação de espécies em áreas alagadas são de extrema importância para a implantação de projetos de recuperação de áreas degradadas, principalmente em matas ciliares (Maurenza et al., 2012). Essas pesquisas podem ajudar em processos de recomposição da mata nativa em locais propensos a inundações que possuem modificações na quantidade de oxigênio disponível no meio, exigindo das plantas alterações rápidas sob as novas modificações, uma vez que a

espécie que não se adapta acaba morrendo durante o período de alagamento (Santiago e Paoli, 2007). Contudo o crescimento da planta e a energia fotossintética são recuperados após período de recuperação que vai depender de cada indivíduo de acordo com sua aclimação e o seu eficiente aparelho fotossintético para o aumento de oxigênio (Pompeiano et al., 2019).

Em determinados ambientes frequentemente ocorrem áreas sujeitas à inundações como é o caso das matas ribeirinhas (Valladares, 2008) cuja possui características abióticas próprias, tais como, fertilidade do solo, presença de córregos próximos, alterações de temperatura, oxigenação tudo isso atuam como fatores de seleção para a vegetação, determinando sua distribuição. Assim, o solo aonde se encontra essas espécies torna-se hipóxico levando as raízes a uma situação de estresse, fazendo com que as plantas apresentem adaptações morfoanatômicas e fisiológicas que possibilitam a respiração eficiente (Zhang et al., 2018) permitindo assim distinção entre espécies tolerantes e intolerantes (Batista et al., 2008).

2.2 Adaptações anatômicas de plantas

Estudos demonstram que o padrão de resposta das plantas ao excesso de água no solo é determinado pela duração e intensidade do estresse uma vez que o grau de tolerância do indivíduo é determinado pelo genótipo do vegetal à inundações do solo, visto que está relacionada com sua capacidade de desenvolver respostas adaptativas fisiológicas, bioquímicas e morfoanatômicas (Peng et al, 2018).

Com a passagem evolutiva, espécies tolerante a estresses hídricos adquiriram uma gama de estratégias que as capacitaram a ocupar e se desenvolver em áreas inundadas, bem como estas adaptações trazem auxílio para aeração interna do indivíduo (Medri et al., 2012) e ainda desenvolvimento de alterações metabólicas com a diminuição do consumo de energia e baixo investimento do crescimento (Medri et al., 2012).

Para determinar se uma planta tem capacidade de adaptação ao estresse de hipóxia ela precisa passar por alguns processos tais como, observa se o indivíduo desenvolve rapidamente sinais de ativação metabólica, se ocorre a interrupção do crescimento para manter recursos e se estará produzindo alterações morfoanatômicas como à formação de espaços entre as células para passagem de ar também conhecido como aerênquima (Wei et al., 2013).

As espécies que estão inseridas em solos alagados ou encharcados desenvolveram o surgimento de aerênquima que é produzido através do acúmulo de etileno cujo aumenta a eficiência da transferência de oxigênio para os órgãos, garantindo assim a sobrevivência do vegetal (Sauter, 2013). O aerênquima é constituído por grandes espaços intercelulares a fim de facilitar a circulação dos gases, esta estrutura é desenvolvida sobre condições de estresse e as maiorias dos estudos demonstraram que esta adaptação está presente nas raízes, pois esse órgão tem capacidade para processos biológicos como a fotossíntese (Bona, 2018).

De acordo com Rhasmi (2018) o indivíduo que desenvolve esses espaços em suas raízes para sobreviver está demonstrando um caráter adaptativo, embasado na literatura encontra dois tipos de desenvolvimento de aerênquima são eles: aerênquima esquizógeno e lisígeno. O aerênquima lisígeno ocorre através da morte programada das células do córtex, por lise da parede celular em razão ao estresse abiótico, este fator não apenas resulta na formação de um espaço como corrobora diminuindo o índice de células que irão consumir oxigênio, visto que as células absorvidas estarão fornecendo nutrientes para as células restantes, já o aerênquima esquizógeno produz feixes delimitados sem morte celular apenas criando pequenos espaços entre as células (Sauter, 2013).

Kozlowski (1997) traz que as plantas sujeitas ao alagamento podem desenvolver senescência foliar, redução no crescimento, surgimento de raízes adventícias e formação de lenticelas. Em plantas alagadas, o fechamento estomático eleva a porcentagem de sobrevivência das plantas uma vez que este fator contribui para regular o balanço hídrico (Luo et al., 2011). Todas estas estruturas desenvolvidas facilitam na absorção e captura do oxigênio dos tecidos, e também desencadeia a oxidação para retirada de produtos tóxicos existentes (Ejw et al., 2000).

Geralmente quando as plantas são submetidas ao alagamento elas tendem a perder uma quantidade de raiz devido a baixa concentração de O_2 no solo, em contrapartida algumas espécies conseguem desenvolver raízes adventícias para fornecer nutrientes e ancoragem para o indivíduo, desta forma as raízes adventícias reduzem a distância do O_2 e melhoram a distribuição do gás no corpo da planta (Peng et al., 2018).

Quando as plantas estão passando por estresse de inundação tendem a manter a concentração de amido nas folhas, uma justificativa para esse fato é que como as raízes estariam submersas a demanda por carboidratos para respiração estaria diminuindo, desta forma o envio de carboidratos seria praticamente inexistente, resultando assim em um declínio de carboidratos nas raízes (Nowrozi et al., 2020).

O desenvolvimento de raízes adventícias é um sistema eficaz que auxilia na captura e no transporte de oxigênio para os tecidos submersos, com ênfase em manter a respiração do indivíduo (Yin et al., 2010).

2.3 Fisiologias das plantas em ambientes alagados

No decorrer do processo evolutivo, espécies tolerantes desenvolveram diversas estratégias que as permitiram ocupar áreas sujeitas ao alagamento do solo. As espécies que são sujeitas ao estresse de hipóxia desenvolvem respostas fisiológicas devido aos sinais que suas células enviam provocando assim: o fechamento de estômatos, diminuição na taxa da fotossíntese e danos no fotossistema II, todos esses fatores são indícios a respostas comuns devido à falta de oxigênio provocado pelo alagamento (Medri, 2012).

A deficiência de oxigênio e o baixo potencial do solo, induzidos pelo alagamento, afetam desfavoravelmente vários aspectos fisiológicos do vegetal, como mudanças na assimilação de carbono, absorção de macronutrientes e supressão do metabolismo respiratório das raízes (Oliveira, et al., 2010). As adaptações bioquímicas permitem o crescimento reduzido quando sujeitas a inundações, tornando essas espécies propícias para sobreviver nestas aéreas (Marcílio, 2019).

Estresses abióticos referente a inundação afetam diretamente o crescimento da planta e sua produtividade, respostas fisiológicas são ativadas para captação de nutrientes e redução da absorção e movimentação de potássio para partes aéreas da planta (Rastogi et al., 2019). Diante das estratégias, existem alterações morfológicas e anatômicas que auxiliam a aeração interna da planta (Sousa, 2009) e alterações metabólicas, com diminuição no consumo de energia, ativação de rotas anaeróbias e menor crescimento (Umetsu et al., 2011). Na maioria das espécies, para ter sucesso na estratégia elas precisam combinar vários processos químicos e biológicos (Joly, 1991).

Em relação a períodos constantes de inundação a redução da capacidade fotossintética nas células do mesófilo corrobora a redução significativa da fotossíntese (Stricker, 2012). Tal redução implica na redução da movimentação no floema na planta, alojando um acúmulo maior de amido nos cloroplastos, determinando assim que os níveis energéticos existentes nos vegetais estarão sendo determinantes para suportar o estresse em longo prazo de alagamento (Stricker et al., 2005).

As espécies tolerantes ao alagamento, possuem mecanismos auxiliares que ajudam a se desenvolver melhor em comparação com outras espécies não tolerantes,

deste modo espécies adaptadas irão possuir alterações fisiológicas que auxiliam na sua sobrevivência fazendo com que reduza o consumo de energia durante o estresse e retorne o crescimento após a pressão de inundação, suscetivelmente, na maioria das plantas este tipo de evento ambiental reduz a concentração de oxigênio, isso se torna uma explicação para os índices decrescentes de nitrogênio, antocianina, flavonoides e clorofila e expõe alterações nos processos biológicos do solo influenciando assim as plantas que se encontra neste ciclo (Medri et al., 2007).

Avaliações fisiológicas para analisar as trocas gasosas são eficazes para determinar os efeitos de estresse que a planta vem sofrendo, e as medições do teor de clorofila e fluorescência da clorofila *a* ajudam a analisar o nível de estresse induzido por danos às estruturas fotossintéticas (Lamaoui et al., 2017). De acordo com Medri (2012) as limitações estomáticas são responsáveis pela diminuição da taxa fotossintética. Apesar do conhecimento das respostas de diversas plantas arbóreas referente a inundação, ainda escassos os dados de plantas arbóreas quando comparado (Grandis et al., 2010)

Porém mesmo em condições desfavoráveis pesquisas vêm demonstrando que o alagamento não impede a ocorrência de determinados processos fisiológicos (Zhou, 2020). Determinadas respostas fisiológicas das plantas são relatadas através da diminuição nas trocas gasosas, ativação do metabolismo anaeróbico, alterações da biomassa nos órgãos da planta bem como diminuição das reservas de nutrientes (Ferreira et al., 2009). A importância de trabalhos observando a adaptação de planta a respostas fisiológicas auxiliam nos projetos de recuperação de áreas degradadas uma vez que o pouco conhecimento referente a esses tipos de espécies tolerantes a estresses ambientais pode acarretar em fracassos devido ao baixo índice de sobrevivência das espécies selecionadas (Morengo et al., 2013).

2.4 *Inga Cylindrica* (Vell.) MART.

O gênero *Inga* de origem indígena conhecido popularmente como angá ou ingá, que tem como significado “semente envolvida” (Cruz et al., 2018). De acordo com estudos fenológicos e morfológicos a planta ingá é caracterizada por possuir folhas paripenadas, com nectário na raque foliar, com suas sementes envolvidas com poupa suculentas e adocicadas (Bender et al., 2017). No Brasil é mais comumente a ocorrência

da espécie em estudo nas regiões próximas aos rios, sendo catalogado na região da Amazônia, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro Oeste (Felitto et al., 2017).

O *Inga* pertence à família Fabaceae e a subfamília Mimosaceae, possuem diferentes espécies em toda a região do Brasil, onde a espécie *Inga cylindrica* é encontrada na região Amazônica, em Goiás e na costa leste do país (Souza et al., 2008). Estudos apontam que a espécie estudada possui características importantes para sobreviver em regiões alagadas. De acordo com Lorenzi (1992), essa espécie tolera solos drenados, encharcados e inundações, pois sua presença é muito comum nas margens dos rios e vem sendo utilizada na recuperação de mata ciliar devido seu crescimento rápido.

Dados fenológicos relatam que a espécie contribui para alimentação de herbívoros sendo fonte de recursos alimentares para fauna durante determinados períodos do ano, como ela é indicada para recuperação de florestas em regiões tropicais, ela auxilia na manutenção da comunidade de animais (Cruz et al., 2018).

Estudos demonstram que o potencial de outras espécies de *Inga* tem sido utilizadas para outras funções tais como, fitorremediação de áreas com resíduos de herbicidas, com foco na descontaminação dessas regiões (Aguiar et al., 2020), como bioindicadores para analisar os efeitos dos níveis de cobre (Cu) acumulados uma vez que este componente químico em altas taxas é tóxico ao meio ambiente e para cadeia alimentar dos animais (Freitas et al., 2015). E algumas espécies desempenham diversas atividades biológicas tais como *I. edulis* e *I. verna* que possuem atividade antioxidante, *I. marginata* ação antifúngica e antitumoral bastante usada na medicina (Martins et al., 2018).

De acordo com Neto (2018) o *Inga* possui potencial econômico no reflorestamento, produção de energia e na alimentação. Além disso, a espécie ajuda na fixação do nitrogênio e no crescimento de outras espécies, como exemplo a infiltração de água nas raízes de café (Godoi et al., 2019). Trabalhos relataram a eficácia das suas folhas na medicina por possuir flavonóides e polifenóis, que ajuda nos tratamentos antifúngicos e na atividade antioxidante (Correa et al., 1995).

A espécie *Inga cilíndrica* é descrita como importante para assegurar a estabilidade de solos, diminuir impactos ambientais oriundos pela construção de grandes barragem e assoreamento de rios devido sua frequente ocorrência nessas regiões (Chen, 2010), porém não existem projetos que comprovem essa afirmação, diante disso é necessário estudar espécies que são capazes de suportar diferentes períodos de inundação, pois há uma extrema carência de dados.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as características morfoanatômicas e fisiológicas de *Inga cylindrica* após alagamento parcial e total, a fim de verificar o potencial de tolerância dessa espécie a condições de inundação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a formação de estruturas como raízes adventícias, lenticelas e aerênquimas, como estratégia de tolerância a inundação;
- Analisar as características de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas após a inundação das plantas;
- Avaliar as características morfoanatômicas das raízes e folhas após o processo de inundação;
- Identificar o acúmulo de compostos, via testes histoquímicos nas raízes e folhas após os efeitos de hipóxia;
- Determinar o potencial de tolerância e ou resistência de *Inga cylindrica* à inundação total e parcial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os frutos de Ingá foram coletados a partir de 10 plantas adultas em plena produção, localizadas no município de Santo Antônio da Barra – GO sob latitude 17^o4'7.013"N e longitude 050^o5'5.011"O, na fazenda Floresta 10 km de Santo Antônio da Barra. Os espécimes foram depositados no Herbário do Instituto Federal de Goiano (IF Goiano), Campus Rio Verde nº 647 em janeiro de 2019.

Após a coleta dos frutos foi realizado a despolpa manual, e as sementes foram semeadas em canteiros contendo areia lavadas em conter nenhum hormônio de crescimento (Fig. 1 A). Após a emergência, as plantas com cerca de 20 cm de altura foram transferidas para vasos de 1,5 L contendo solo, classificado como Latossolo Vermelho, coletados a uma profundidade de 10-20 cm em área de mata nativa do município de Rio Verde, Goiás. O solo foi adubado de acordo com as instruções de

adubação com calcário e fosfato (Sociedade Brasileira do solo, 2004). Posteriormente as plantas, foram transferidas para casa de vegetação, sob condições controladas (temperatura 25,5 ° C e umidade relativa do ar ~ 74%), no Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal(Fig. 1 B).

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com 3 tratamentos (níveis de alagamento) e 4 repetições. Cada repetição com um balde contendo 5 plantas, (20 plantas por tratamento).

Para simular as condições de alagamento, os vasos de 1,5 L foram colocados dentro de baldes transparentes de polietileno com capacidade de 30 L e submetidos aos seguintes tratamentos: controle, onde as plantas foram irrigadas diariamente até a capacidade de campo do solo, parcialmente alagado onde as plantas foram alagadas até 2cm acima do nível do solo e totalmente alagado onde as plantas foram totalmente submersas (Fig. 1 C). O período de alagamento foi de 21 dias consecutivos.

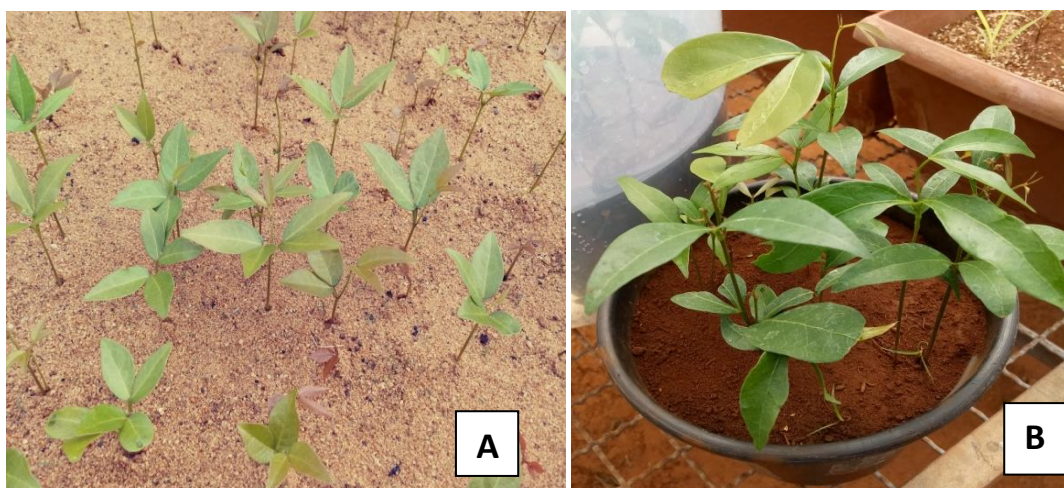




Figura 1. Simulação do alagamento em plantas de *Inga cylindrica* por 21 dias. Germinação de *I. cylindrica* em areia lavada (A). Plantas em vaso de 1,5 L com solo adubado antes da imposição dos tratamentos (B), plantas na condição de alagamento simulado parcial e total (C).

4.1. Caracterização morfoanatômica e histoquímica

As avaliações anatômicas e histoquímicas foram realizadas no final do período experimental (21 dias). Inicialmente as amostras foliares foram retiradas das folhas e raízes realizando cortes com 3 cm² da região central da última folha totalmente expandida e amostras das raízes com 3 cm de comprimento, sendo retirado 3 amostras por planta do tratamento, foram fixadas em Karnovsky (1965), por 24 horas. Após este período, o material vegetal foi pré-lavado em tampão fosfato (0,1 M, pH 7,2) e desidratado em série etílica crescente (30% a 100%), pré-infiltrado e infiltrado em historresina (Leica, Alemanha), conforme as recomendações do fabricante. As amostras foram seccionadas transversalmente a 5 µm de espessura em micrótomo rotativo (Modelo 1508R, Logen Scientific, China). Para a análise estrutural os cortes foram corados com azul de toluidina - coloração policromática (0,05% tampão fosfato 0,1 M, pH 6,8) (O'Brien et al., 1964). As observações morfoanatômicas foram da epiderme nas faces adaxial e abaxial, parênquima paliçádico, parênquima esponjoso e mesofilo, utilizando o programa ImageJ para as mensurações.

Para caracterização histoquímica as amostras seccionadas das raízes e folhas foram submetidas detecção de amido com solução de Lugol (Johansen, 1940);

compostos fenólicos com Sulfato Ferroso (Gabe, 1968); Xilidine Ponceau para proteínas totais (O'Brien e McCully, 1981).

Todas as imagens foram obtidas em microscópio Olympus (BX61, Tokyo, Japão) acoplado com câmera DP-72 utilizando opção de campo claro. Para as mensurações dos tecidos e contagem dos grãos de amidos foi utilizada uma ferramenta do programa ImageJ. Foi obtido a média de grãos de amido por célula na raiz; espessura do mesofilo, parênquima esponjoso e lacunoso e epiderme de ambas as faces nas folhas, considerando 20 lâminas por tratamento. E para confecção das pranchas utilizou-se o software Corel DRAW Graphics Suite 2020.

4.2 Avaliação da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas

As variáveis da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas foram mensuradas uma vez após os 21 dias do experimento simultaneamente utilizando fluorômetro (6400-40, Li-cor, Nebraska, EUA) acoplado ao IRGA (IRGA, LI-6400xt, Li-Cor, Nebraska, EUA) na última folha totalmente expandida. Assim, foi determinado a fluorescência mínima (F_0) e máxima (F_m), o rendimento quântico potencial do fotossistema II $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ (Kitajima e Butler, 1975), o rendimento quântico efetivo do FSII ($\Delta F/F_m' = [F_m' - F_s]/F_m'$) a taxa de transporte de elétrons ($ETR = \Delta F/F_m' \times PAR \times 0,5 \times ABS_{folha}$, (Laisk e Loreto, 1996) a dissipação não-fotoquímica não-regulada ($q_N = [F_m - F_m']/[F_m - F_0]$) (Lichtenthaler et al., 2005), e regulada ($NPQ = [F_m - F_m']/F_m'$), que estima a dissipação térmica pelo FSII (Maxwell e Johnson, 2000; Baker, 2008).

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintéticas (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e relação interna e externa de CO_2 (C_i/C_a). A partir desses valores, é possível calcular a eficiência instantânea da carboxilação (A/C_i) e a relação entre a taxa de transporte de elétrons e a assimilação de CO_2 (ETR/A) (Ribeiro et al., 2009).

4.3. Análises com Dualex

O índice de clorofila (Chl), flavonoides (Flv), antocianinas e índice de balanço de nitrogênio (NBI) foram aferidos no vigésimo primeiro dia com auxílio de clorofilômetro (modelo Dualex FORCE-A, Orsay, France), a partir da média das leituras de 2 plantas por vaso em 4 vasos por tratamento, em folhas do terço médio de

cada planta. O índice de Flv é deduzido a partir de propriedades de absorção UV de flavonoides.

Esta abordagem está relacionada à técnica de fluorescência utilizando dois comprimentos de onda de excitação: no comprimento de onda de UV (375 nm), absorvidos por flavonoides, localizados principalmente na epiderme; e no comprimento de onda de referência que passa através da epiderme, sem ser absorvido antes de atingir a clorofila no mesofilo. A relação entre Chl/Flv permite a estimativa do índice de NBI (Abdallah, 2012).

4.4. Análise estatística

Os dados quantitativos obtidos foram submetidos a análises prévias de homogeneidade (Levene Test) e normalidade dos erros (Teste Shapiro-Wilk). Com a normalidade confirmada, foi realizada a ANOVA, seguida pelo teste de Dunnett para determinar as diferenças entre tratamentos e controle “*” ($p < 0,05$) e “***” ($p < 0,01$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Morfoanatômica e Histoquímica

I. cylindrica não apresentou mortalidade durante os 21 de exposição a inundações parcial e total. Durante esse período, foi possível observar que as folhas das plantas em alagamento total apresentaram perda de pigmentos em relação aos tratamentos controle e parcial. No entanto, *I. cylindrica* não demonstrou sintomas de estresse ao alagamento como necrose nas folhas. Além disso, todas as plantas no tratamento parcialmente alagado desenvolveram lenticelas no caule, (Fig. 2).

As plantas de *I. cylindrica* toleraram as condições de inundações, visto que apresentaram modificações morfoanatômicas e fisiológicas que lhe favoreceram a capacidade de sobreviver. Os critérios de seleção de espécies tolerantes a inundações é realizada através de avaliações do crescimento, desenvolvimento de estrutura adaptativa e sobrevivência das plantas (Costa, 2006).

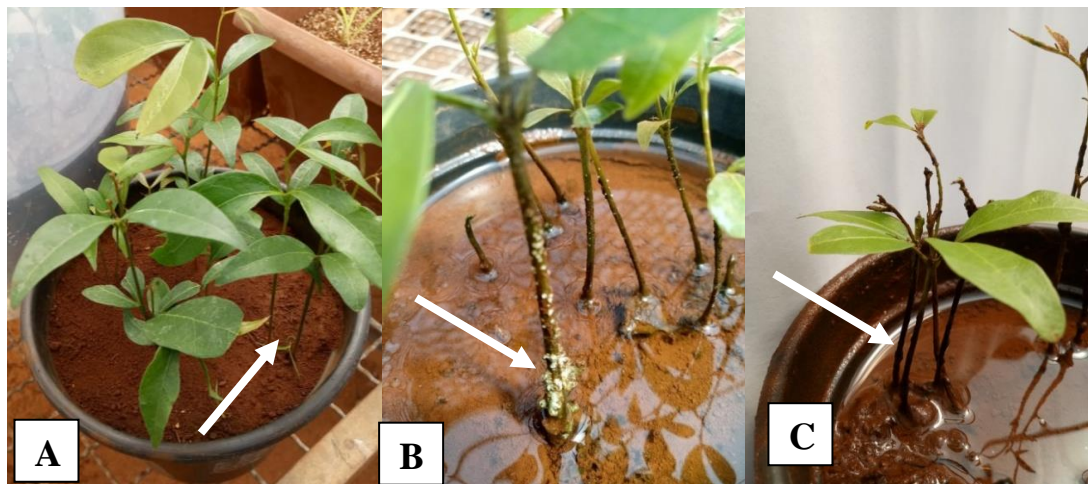


Figura 2. Caule de *Inga cylindrica*, após 21 dias de exposição. Plantas controle (A). Tratamento parcialmente alagada com a presença de lenticelas hipertrofiadas (B). Caule tratamento totalmente alagado sem a presença de lenticelas (C).

A sobrevivência da espécie pode ser atribuída principalmente ao desenvolvimento de lenticelas hipertrofiadas desenvolvidas pelo alagamento do solo. Pimenta et. al. (1996) relata que a formação de lenticelas em plantas submetidas à inundação favorecendo as trocas gasosas entre a atmosfera e o indivíduo, uma vez que esta característica também está relacionada com a eliminação de metabólitos, provenientes da respiração anaeróbica e absorção de oxigênio.

Lenticela é uma estrutura que resulta na entrada de oxigênio e na saída de compostos voláteis e produtos tóxicos no metabolismo, isto é, as lenticelas também podem ser associadas para manutenção hídrica em plantas durante o estresse de inundação (Parent et al., 2008). De acordo com Parolin (2001) a presença de lenticelas hipertrofiadas ocorre apenas em alguns indivíduos que estão crescendo sob solo alagado, sendo produzidas através de alterações e sinalizações hormonais em função da deficiência de oxigênio na região radicular.

De acordo com Jackson (2005) o surgimento de lenticelas só ocorre em plantas parcialmente alagadas devido a necessidade de realização de trocas gasosas com meio externo, uma vez que esses espaços servem para o transporte de oxigênio, desta forma indivíduos totalmente alagados não teriam a possibilidade do surgimento desta estrutura. Isso explica o motivo de apenas indivíduos do alagamento parcialmente alagado ter desenvolvido lenticelas hipertrofiadas.

Nas avaliações de acúmulo de compostos presente nas folhas pode-se observar que as plantas controle apresentaram proteínas, reveladas pelo Xylidine Ponceau, amido marcado pelo Lugol, e compostos fenólicos marcados pelo Sulfato ferroso (Figura 3).

As plantas parcialmente alagadas coradas com XP, lugol e sulfato ferroso demonstraram que o acúmulo de proteínas e composto fenólicos nas células da nervura reduziram conforme o aumento da inundação quando comparados ao controle. Para as observações de acúmulo de amido o tratamento totalmente alagado apresentou plantas com amido em seu sistema vascular, sendo que nos indivíduos do tratamento controle ocorre a presença mais elevada de grãos de amido sinalizada pela seta amarela (Figura 3).

Plantas mantidas sobre alagamento necessitam do uso de carboidratos para ativação metabólica e sua disponibilidade pode ser decisiva para a manutenção das atividades metabólicas cruciais para sobrevivência no sistema de raízes (Drew, 1997).

Desde modo a presença de proteínas, carboidratos e compostos fenólicos nas folhas demonstra que eles mantiveram os recursos necessários para passar pelo estresse submetido uma vez que, os carboidratos por exemplo, são importantes para atividade enzimática e na formação de aerênquima (Peng et al., 2020).

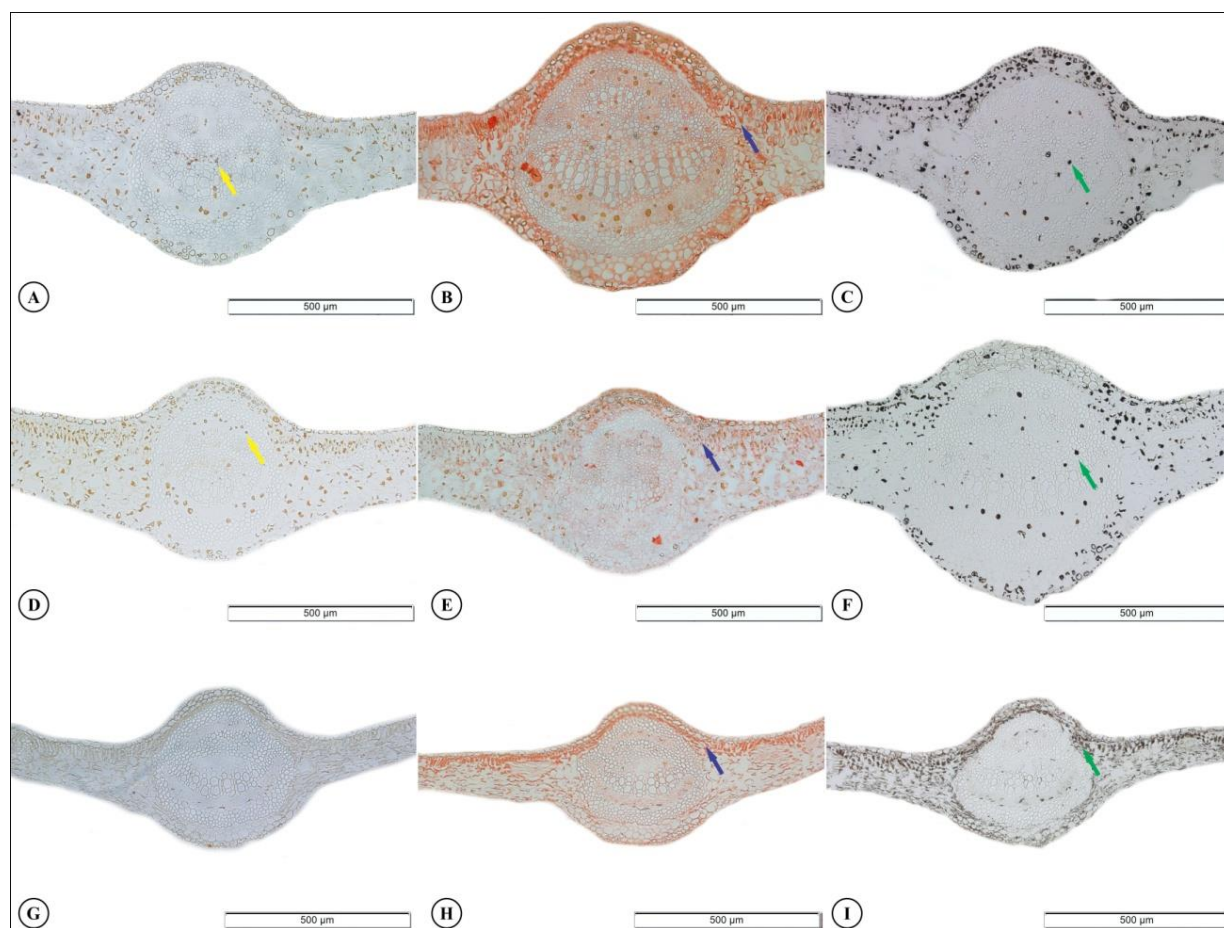


Figura 3. Teste histoquímico nas folhas de *Inga cylindrica*, coradas com lugol, Xylidine Ponceau (XP) e sulfato ferroso após 21 dias de exposição à inundação simulada. Cortes corados com lugol: controle (A), alagamento parcial (D), alagamento total (G). XP, controle (B), alagamento parcial (E), alagamento total (H). Sulfato

ferroso, controle (C), alagamento parcial(F), alagamento total (I). Setas indicam a coloração pelos reagentes.

As células do mesofilo os indivíduos do tratamento controle apresentaram parênquima paliçádico e esponjoso, classificando-os como dorsiventral e possuem feixes vasculares colaterais (Figura 4).

O tratamento parcialmente alagado em todas as imagens do mesofilo apresentou o surgimento de uma camada adicional de células no parênquima paliçádico, contudo o parênquima esponjoso reduziu (Figura 4 E). E ele foi positivo para proteínas, amido e compostos fenólicos, respectivamente (Figura 4 F, G e H).

O tamanho do mesofilo dos indivíduos do tratamento totalmente alagado foi menor quando comparado ao controle. Também não ocorreu o depósito de uma camada adicional de células paliçádicas, porém notou-se o aglomeramento das células e o aparecimento de espaços entre as células do parênquima paliçádico provocados pela lise celular (Figura 4 I) e resultado positivo para os testes histoquímicos (Figura 5, J, K e L).

Fener (2012) relata que o acúmulo de carboidratos é mais presente nas folhas devido aos tecidos condutores, uma vez que o acúmulo de amido nos órgãos está ligado ao fluxo fotossintético. O acúmulo de amido nas folhas se dá em decorrência da fotossíntese reduzida, uma vez que o transporte de nutrientes das folhas para as raízes é reduzido (Biemelt et al., 1988).

Dias-Filho (2012) já explica a demanda de amido nas folhas devido à fotossíntese se processar a taxas maiores quando comparado com a respiração, e com as raízes submersas a demanda por carboidratos para respiração estaria consideravelmente reduzida assim o envio de nutrientes das folhas para as raízes seria mínima resultando em acúmulo de compostos nas folhas e diminuição de carboidratos nas raízes.

Os dados de micromorfometria foliar demonstraram que a epiderme adaxial (EpAd) e a epiderme abaxial (ApAb) aumentou em 24% em espessura no tratamento totalmente alagado, as células do parênquima paliçádico (PP) não tiveram alterações em nenhum dos tratamentos, contudo as células e o espaço do parênquima esponjoso (PE) reduziram em 19% e 35% nos tratamentos submetidos ao alagamento em relação as plantas controle, o mesofilo (Me) e a espessura foliar (EspF) também foi reduzido porém, apenas no tratamento totalmente alagado com 11% e 17% respectivamente (Tabela 1).

Em relação às análises de micromorfometria das raízes, os grãos de amido (GA) foram reduzindo nos tratamentos, sendo significante apenas no totalmente alagado com

uma queda de 72% em acúmulo de compostos na raiz dos indivíduos demonstrando ser uma estratégia da planta para esse estresse.

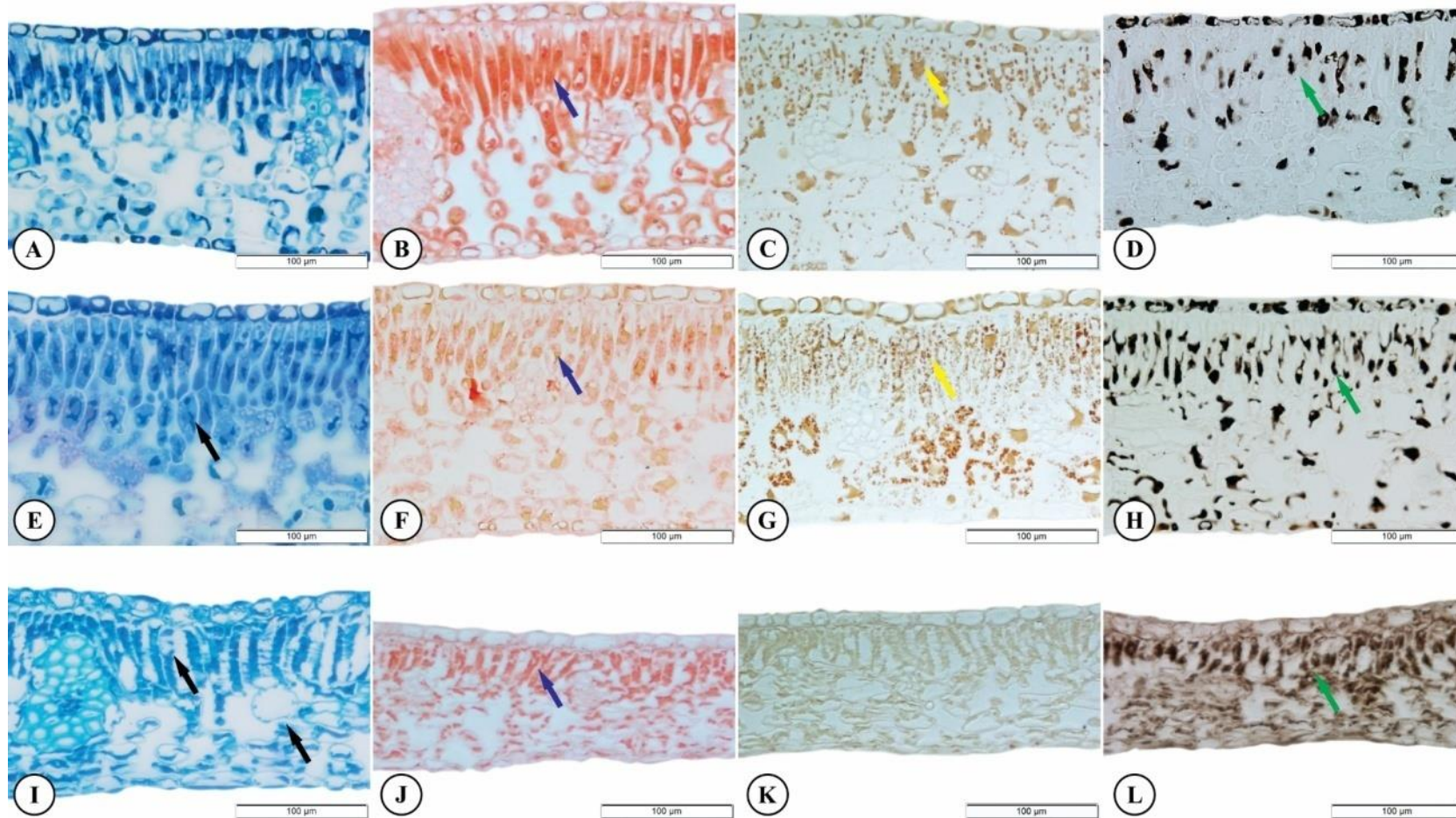


Figura 4. Teste histoquímico no mesofilo foliar de *Inga cylindrica*, após 21 dias de exposição à inundação. (A-D) controle, (E-H) alagamento parcial (I-L) alagamento total. Cortes corados com Azul de Toluidina (A, E, I), Xylidine Ponceau (B, F, J), Lugol (C, G, K), Sulfato Ferroso (D, H, L). Setas indicam a colora o pelos reagentes.

Tabela 1. Micromorfometria da Folha e da Raiz, Epiderme Adaxial (EpAd), Epiderme Abaxial (EpAb), Parênquima Paliçádico (PP), Parênquima Esponjoso (PE), Mesofilo (ME), Grãos de Amido (GA), Espessura da Folha (EspF).

| Níveis de alagamento | EpAd | EpAb | PP | PE |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|
| Controle | 9,18±0,28 | 8,07±0,58 | 52,78±1,22 | 101,23±2,89 |
| Parcial | 8,53±0,64 | 7,18±0,47 | 59,28±3,16 | 81,19 ^{**} ±5,02 |
| Total | 11,38 ^{**} ±0,47 | 9,96 ^{**} ±0,11 | 56,18±5,51 | 65,94 ^{**} ±2,83 |
| F | ** | ** | NS | ** |
| CV (%) | 30,24 | 23,41 | 0,41 | 3,88 |

| Níveis de alagamento | EspF | GA | Me |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Controle | 1,75±3,08 | 11,1±1,69 | 155,6±3,65 |
| Parcial | 1,68±7,14 | 11,6±74,88 | 144,2±7,15 |
| Total | 1,55±5,12 ^{**} | 3,02 ^{**} ±1298 | 128,9 ^{**} ±5,73 |
| F | ** | ** | ** |
| CV (%) | 22,92 | 32,12 | 34,91 |

Média ± EP (n = 4). Asteriscos indicam diferenças à 5% (***) de probabilidade, em relação ao controle, pelo teste de Dunnett. (NS) não significativo.

Nas análises das raízes coradas com azul de toluidina a fim de observar a delimitação das células pode-se observar que nas plantas controle e parcialmente alagadas as células estão agregadas sem surgimento de espaços entre si (Figura 5, A e E), enquanto as células do tratamento totalmente alagado já possuem espaços entre si indicando adaptações caracterizadas como aerênquima (Figura 5 I).

Todos os indivíduos dos tratamentos total e parcialmente alagados tiveram resultados positivos para os testes histoquímicos. Observando as células coradas com XP no tratamento parcial apresenta área marcada relativamente igual ao controle (Figura 5 F e G), porém quando analisamos as plantas do alagamento total pode se observar uma redução na área marcada (Figura 5 J e K).

A quantidade de amido presente no córtex reduziu apenas nas plantas totalmente alagadas, onde as plantas no tratamento parcialmente e controle não diferiram entre si (Figura 5 K e Tabela 1). Nas raízes das plantas controle e parcialmente alagado foi evidente o maior acúmulo de compostos fenólicos, identificado pela coloração escura nas células. Quando comparado com as plantas totalmente alagadas notou-se uma menor área marcada pelos testes histoquímicos (Figura 5 I, J e K).

Nas imagens de sulfato ferroso a presença de compostos fenólicos só foi observada nos indivíduos do tratamento parcial e tratamento totalmente alagado (Figura

5 H e L), cujas plantas controle não demonstraram presença desses compostos (Figura 5 D).

Análises morfoanatômicas demonstraram que *I. cylindrica* não acumulou grãos de amido nas raízes do alagamento total, demonstrando que essa reserva foi utilizada pela planta durante o período de estresse.

Em contrapartida, os níveis de compostos fenólicos nas folhas não foram reduzidos como nas raízes. Contudo nas raízes das plantas controle não havia presença de carboidratos, ocorrendo o seu surgimento apenas nas raízes do tratamento parcial e total. O acúmulo de carboidratos na raiz demonstra estarem envolvido em vários processos fundamentais como fotossíntese e respiração, assim plantas submetidas ao alagamento tendem a absorver estes compostos, pois induz a formação de espécies reativas ao oxigênio (Jucoski et al., 2016).

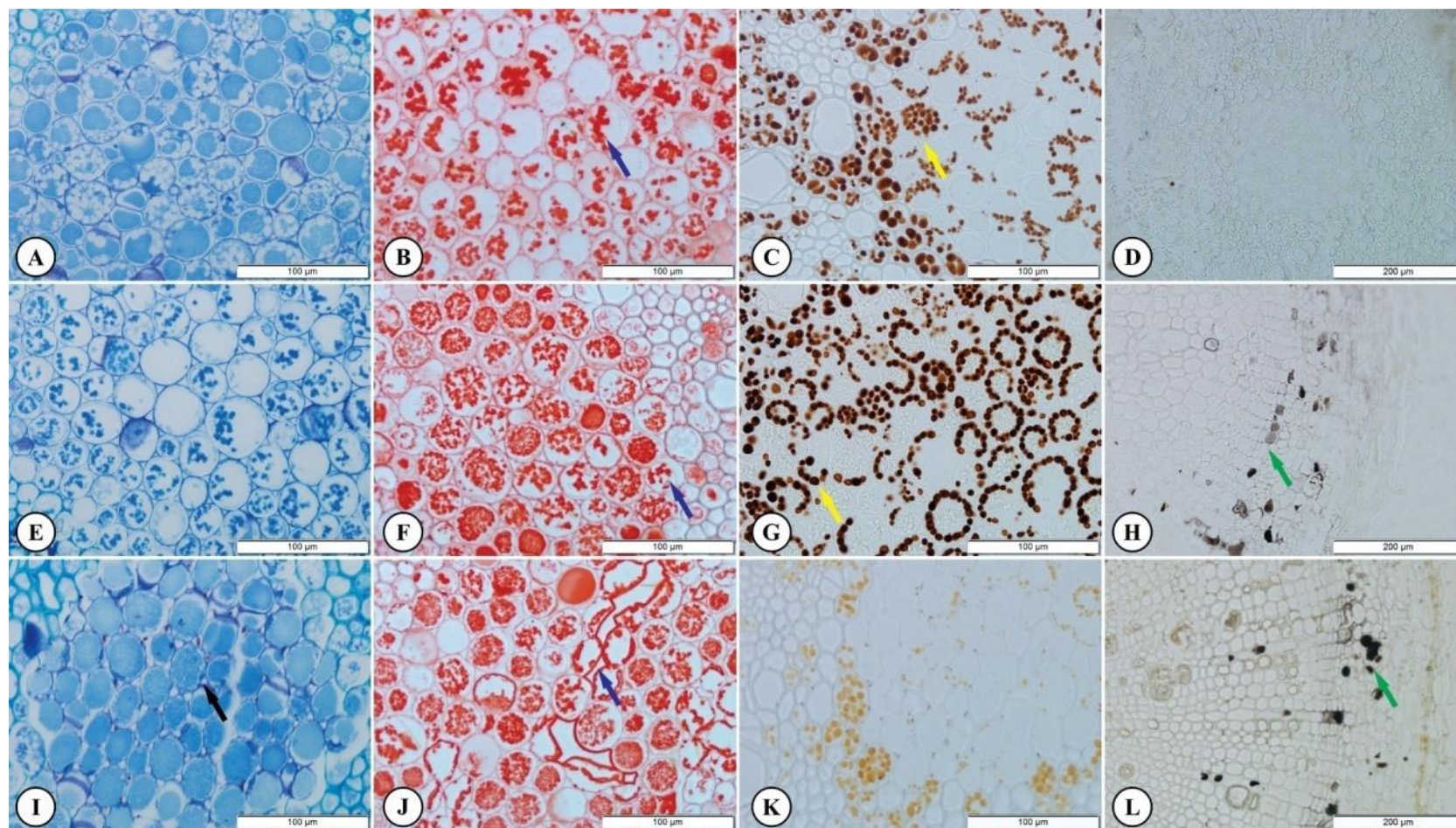


Figura 5. Raiz de *Ingá cylindrica*, após 21 dias de exposição à inundação. Azul de toluidina, controle (A), alagamento parcial (E), alagamento total (I). XP, controle (B), alagamento parcial (F), alagamento total (J). Lugol (C), alagamento parcial (G), alagamento total (K). Sulfato ferroso controle (D), alagamento parcial (H), alagamento total (L). Setas indicam a colora o pelos reagentes.

Os cortes anômicos das raízes revelaram células bem definidas e justapostas com a presença de vários elementos de vasos, com o xilema bem evidente nas plantas controle (Figura 6 A, B e C).

As plantas expostas ao alagamento parcial apresentaram na região do córtex organização súbita com pequenos espaços intercelulares e formação de aerênquima esquizógeno (Figura 6 D, E e F). Nos indivíduos do alagamento total, algumas células sofreram colapsos, criando espaços irregulares nas raízes. (Figura 6 G, H e I)

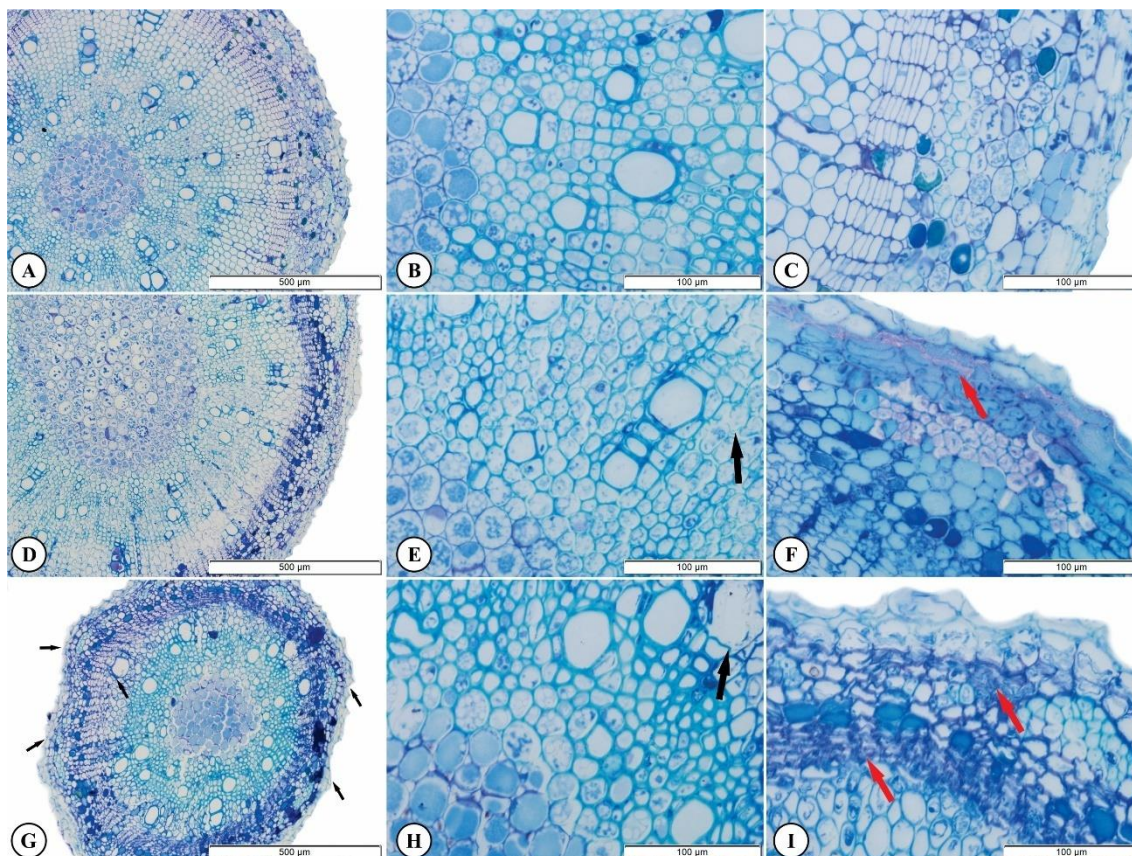


Figura6. Caracterização anatomia da raiz de *Inga cylindrica* coradas com azul de toluidina após 21 dias de exposição à inundação. (A-C) controle, (D-F) alagamento parcial (G-I) alagamento total. Setas pretas indicam espaços entre as células e setas vermelhas indicam células colapsadas. Barra de escala 100µm.

A formação de aerênquima esquizógeno, delimitado por espaços entre as células é comum em plantas tolerantes ao excesso de água no solo, onde a parede das células do córtex é comprimida devido ao estreitamento do lúmen que está envolvida para formação do aerênquima por morte celular programada de tecidos específicos para formar cavidades (Ferreira et al., 2009).

Em *I. cylindrica* o desenvolvimento de aerênquima do tipo esquizógeno foi observado, demonstrando que estes auxiliam na aeração adicional dos tecidos e na

manutenção do sistema de raízes sob tais condições de estresse. Os espaços intercelulares encontrados nas raízes apontam uma forma de adaptação natural que a planta desenvolve permitindo assim a difusão dos gases da atmosfera para as regiões submersas (Armstrong, 1979). A formação de aerênquima no córtex de plantas submetidas ao alagamento tem sido observada por vários autores (Kozlowski 1984, Medri & Correa 1985, McNamara & Mitchell 1990).

De acordo com Pegg e colaboradores (2020) as plantas com formação de aerênquima sofrem modificações e desconstrução das paredes celulares das plantas afim de gerar cavidades intercelulares, essas cavidades permitem que os indivíduos tolerem condições de hipóxia induzidas, mantendo os níveis de oxigênio suficientes para a respiração celular e diminuindo a quantidade de células que necessitam de oxigênio. O processo de morte celular programada causando a ruptura da parede celular é um estrutura dinâmica que engloba conectar matrizes de xiloglucanos e microfibrilas de celulosos essa junção de polissacarídeos da parede celular é relevante para desencadear vários processos tais como abscisão foliar e emergência radicular (Vilches-Barro et al., 2015).

5.2. Análises com Dualex

Com base na análise dos dados fisiológicos pode-se observar que o alagamento provocou redução no índice de nitrogênio e clorofila nas plantas parcialmente alagadas e nas plantas totalmente alagadas. As antocianinas apresentaram incremento de 17% e 19% com o aumento da inundação quando comparados ao controle. Contudo os flavonoides não demonstraram alterações entre os tratamentos. Os índices de Nitrogênio caíram nos alagamentos parcial e total em relação ao controle 11% e 13% (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de nitrogênio (NBI), clorofilas, flavonoides e antocianinas em plantas de *Ingá cylindrica* após 21 dias de exposição a inundação simulada.

| Níveis de alagamento | NBI | Clorofila | Flavonoides | Antocianina |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Controle | 29.85±1.99 | 31,65±2,61 | 1,05±0,02 | 0,56±0,02 |
| Parcial | 19.73**±1.97 | 21,75**±1,06 | 0,98±0,13 | 0,66**±0,02 |
| Total | 16.13**±4.74 | 16,13**±4,43 | 0,88±0,06 | 0,67**±0,04 |
| F | ** | ** | NS | ** |
| CV (%) | 19.35 | 18.24 | 15.52 | 6.82 |

Média ± EP (n = 4). Asteriscos indicam diferenças à 5% (*) de probabilidade, em relação ao controle, pelo teste de Dunnett. (NS) não significativo.

As taxas fotossintéticas absorvem a energia luminosa que é comumente utilizada no processo fotossintético, a fixação do CO₂ é uma das reações principais para redução

de energia na planta (Mustroph, 2018). O nitrogênio é considerado o elemento essencial para plantas por realizar parte de compostos para os vegetais, quando as plantas não realizam seus processos fotossintéticos o nível de nitrogênio conseqüentemente diminui acarretando assim em uma diminuição no metabolismo do indivíduo (Goulao et al., 2011). Desta forma isso explicaria os resultados encontrados nos indivíduos de *I. cilíndrica*.

De acordo com Taiz (2004) as antocianinas são responsáveis pela pigmentação dos vegetais, cujo esta pigmentação é derivada pelos compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonoides, elas atuam como filtro melhorando e regulando a fotossíntese isso explica os motivos do tratamento parcial e total ter aumentando seu índice.

5.3 Fluorescência da clorofila a e trocas gasosas

I. cylíndrica sob condições de alagamento demonstrou redução na taxa fotossintética (E), taxa fotossintética líquida (A), concentração externa de CO_2 (C_a) e na condutância estomática (g_s) o tratamento parcial e total foram diminuindo gradativamente (Tabela 3). A concentração interna de CO_2 (C_i) e a relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) aumentou no tratamento parcialmente alagado 9% e 7% respectivamente (Tabela 3).

A relação entre a taxa fotossintética e a concentração de CO_2 (A/C_i), o rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ_{PSII}) e o coeficiente de extinção fotoquímica (q_p) diminuíram consideravelmente quando comparado ao controle (Tabela 3). A extinção da eficiência não fotoquímica (q_N) aumentou significativamente apenas no tratamento totalmente alagado 15% quando comparado ao controle (Tabela 3).

A taxa fotossintética é a capacidade que uma planta possui para realizar processos para produção de energia, quando as plantas são submetidas a fatores limitantes tais como inundação ocorre a redução na capacidade de realização de fotossíntese. A concentração de CO_2 é aumentada quando o processo enzimático na captação de carbono se eleva, o que significa ganho de carbono através da fotossíntese (Pallardy, 2008).

Tabela 1. Taxa fotossintética (E), taxa fotossintética líquida (A), concentração externa de CO₂ (Ca), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs), relação entre a concentração interna e externa de CO₂ (Ci/Ca), relação entre a taxa fotossintética e a concentração de CO₂ (A/Ci), Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Φ_{PSII}), coeficiente de extinção fotoquímica (qp) e extinção da eficiência não fotoquímica (qN) em plantas de *Inga cylindrica* após 21 dias de inundação.

| Níveis de alagamento | Trocas gasosas | | | | | |
|----------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| | E | A | Ca | Ci | Gsw' | Ci/Ca |
| Controle | 5,24±0,53 | 11,39±0,39 | 388,51±0,48 | 313,52±6,73 | 0,31±0,04 | 0,81±0,02 |
| Parcial | 2,62**±0,59 | 3,91**±1,14 | 395,77**±1,18 | 343,61**±5,61 | 0,15**±0,03 | 0,87**±0,01 |
| Total | 1,92**±0,66 | 3,92**±0,96 | 395,94**±1,08 | 322,08±13,15 | 0,11**±0,04 | 0,81±0,03 |
| F | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| CV (%) | 30,24 | 23,41 | 0,41 | 3,88 | 34,91 | 3,81 |

| Níveis de alagamento | Fluorescência da clorofila a | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| | A/Ci | Φ_{PSII} | ETR | qp | qN |
| Controle | 0,04±0,001 | 0,12±0,02 | 77,67±13,25 | 0,12±0,02 | 0,73±0,02 |
| Parcial | 0,01**±0,003 | 0,05**±0,01 | 33,40**±1,39 | 0,05**±0,01 | 0,80±0,02 |
| Total | 0,01**±0,003 | 0,07**±0,01 | 36,35**±8,06 | 0,07**±0,01 | 0,84**±0,04 |
| F | ** | ** | ** | ** | ** |
| CV (%) | 22,92 | 32,12 | 32,70 | 32,12 | 4,89 |

Média ± EP (n = 4). Asteriscos indicam diferenças à 5% (***) de probabilidade, em relação ao controle, pelo teste de Dunnett.

A queda acentuada da fotossíntese nos indivíduos de *I. cylindrica* nos tratamentos, pode ser explicado devido as plantas submetidas ao estresse de hipóxia apresentam danos no seu aparato fotossintético, isto implica na redução e de energia para crescimento, mobilizando os fotoassimilados existentes para manter o seu metabolismo com a finalidade de sobreviver durante o estresse hídrico (Coelho et al., 2014).

A redução dos tecidos parenquimáticos induz que ocorreu este evento para contribuir para uma maior difusão do oxigênio do ambiente para o interior da planta, auxiliando na sobrevivência da espécie durante o período de inundação (Zucarelli, 2011).

As respostas apresentadas pelas plantas alagadas de *I. cylindrica* indicam que a espécie pode tolerar períodos de alagamento, mantendo uma satisfatória produção energética, garantida pela respiração aeróbica em razão das modificações morfoanatômicas que garantiram a sobrevivência da planta a este tipo de estresse.

Nas observações fisiológicas, o fechamento estomático pode ser um mecanismo de tolerância à inundação apresentado pela *I. cilíndrica*. O índice de fotossíntese e

clorofila foi reduzido gradativamente nos tratamentos totalmente alagado isso demonstra um importante indício da capacidade de recuperação da planta (Jackson, 1984).

O fechamento dos estômatos e a taxa de transpiração também foram reduzidos no tratamento parcial e total isso demonstra uma das principais causas iniciais da queda da capacidade fotossintética em plantas sob excesso de água no solo (Lin, 2001). O evento referente ao fechamento estomático durante o período de alagamento é um comportamento regulador do balanço hídrico, corroborando com uma resposta crítica para impedir a desidratação da folha em espécies suscetíveis ao excesso de água no solo (Mollard et al., 2008).

7. CONCLUSÃO

As plantas de *I. cylindrica* foram tolerantes as condições de inundação parcial e total. Para amenizar o estresse as plantas desenvolveram estratégias adaptativas como produção de aerênquima, lenticelas, estratégias de diminuição dos níveis fisiológicos e anatômicos.

Deste modo a espécie em estudo pode ser indicada para o plantio de áreas degradadas em ambientes que são sujeitos a inundação como matas ciliares e regiões próximas a barragens.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, F. B., Goffart, J. P., 2012. Potential indicators base don lea fflavonoids content for the evaluation of potato cropnitrogen status. in: 11th ICPA Indianapolis Mi USA. 1-18.
- Aguiar, L. M., Santos, B. J., Barroso, G. M., Ferreira, E. A., Cabral, C. M., Costa, M. R., Phyto remediation by *Eremanthus crotonoides* and *Inga striata* decay atrazine and clomazone residues in the soil. 2020.
- Armbruster, N.; Muller, E.; Parolin, P. Contrasting responses oftwo Amazonian floodplain trees to hydrological changes. *Ecotropica* 10, 73–84. 2004.
- Armstrong, W. Aeration in higher plants. *Adv. Bot. Res.*, 7,225-332, 1979.
- Arruda, G.M.T.; Calbo, M.E.R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Coperniciaprunifera* (Mill.) HE Moore). *Acta BotanicaBrasilica*, v. 18, n. 2, p. 219-224, 2004.
- Batista, C. U. N.; Medri, M. E.; Bianchini, E.; Medri, C.; Pimenta, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya*Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. *Acta Botanica Brasilica*, Feira de Santana, v. 22, n. 1, p. 91-98. 2008.
- Bender B, Capellesso E. S, Lottici M. E, Sentkovski J, Mielniczki-Pereira A. A, Rosa L. M. G, Sausen TL. Growth responses and accumulation of soluble sugars in *Inga marginata* Wild. (Fabaceae) subjected to flooding under contrasting light conditions. *Brazilian Journal of Biology*,

- Budke, Jean Carlos et al. Florística e fitossociologia do componente arbóreo de uma floresta ribeirinha, arroio Passo das Tropas, Santa Maria, RS, Brasil. *Acta Bot. Bras.* [online]. 2004
- Cardoso-Leite, E., Covre, T. B., Ometto, R. G., Calvacanti, D. C., Pagani, M. I., Fitossociologia e caracterização sucessional de um fragmento de mata ciliar em Rio Claro/SP, como subsídio à recuperação da área. *Revista Int. Flor*, São Paulo, 2004.
- Castro, N., Relação entre a tolerância de espécies arbóreas á inundação e sua distribuição em ecossistemas neotropicais. 2014.
- Chen, H., Zamorano, M.F., Ivanoff, D., Effect of flooding depth on growth, biomass, photosynthesis, and chlorophyll fluorescence of *Typha domingensis*. 2010.
- Cole, M. M. The savannas: biogeography and geobotany. Academy Press, London, p. 438, 1986.
- Costa A. M., Gobbi EL, Demuner, VG & Hebling AS. The effect of the flooding on the initial growth of plants of *Schizolobium parahyba*(Vell.) S.F. Blake, guapuruvu. *Natureza online*, 2006.
- Cruz, N. O., Souza, E. S. J. L., Woolley, M. M., Tabarelli, M., Lopes, A. V., Fenologia , dinâmica do néctar e sucesso reprodutivo de *Inga vera* (Leguminosae) em plantações mono específicas e remanescentes florestais na Mata Atlântica: exploração de conjuntos de dados. *Ecologia e manejo florestal*, Volume 427, 1 de novembro de 2018, Páginas 383-391
- Dalmolin, A.C., Lobo, F.A., Vourlitis, G.L., Dalmagro, H.J., Antunes Junior, M.Z., Ortiz, C.E.R. Physiological adjustments of an invasive tree species to extreme hydrological events in a tropical seasonal wetland. 2018.
- Davanso-Fabro, V.M.; Medri, M.E.; Bianchini, E.; Pimenta, J.A.. Tolerância à inundação: aspectos da anatomia ecológica e do desenvolvimento de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.(Fabaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 41, n. 4, p. 475-482, 1998.
- Du, K., Xu, L., Wu, H., Tu, B., Zheng, B., Ecophysiological and morphological adaptation to soil flooding of two poplar clones differing in flood-tolerance. 2012.
- Eiten, G. Vegetação do cerrado. In: *Cerrado - caracterização, ocupação e perspectivas* (M.N. Pinto, org.). Brasília: Editora da Universidade de Brasília, p.17-73, 1994.
- Ejw V., Colmer, T. D., Blom, C. W. P. M., Alterações no crescimento porosidade e perda radial de oxigênio de raízes adventícias de espécies de zonas úmidas mono- e dicotiledôneas selecionadas com tipos contrastantes de aerênquima. *Ambiente de células vegetais*, 2000.

- Ezin V, Pena R. L., Flooding to tolerance of tomato genotype persisting vegetative and reproductive stages. *Braz J Plant Physiol* 22(1):131–142, 2010.
- Felitto G, Lozano ED, Canestraro BK, Kersten RA. Diversity and structure of the lower strata in two successional stages in a subtropical forest, Southern Brazil. *Hoehnea*. 2017.
- Ferner, E.; Rennenberg, H.; Kreuzwieser, J. Effect of flooding on C metabolism of flood-tolerant (*Quercus robur*) and non-tolerant (*Fagus sylvatica*) tree 45 species. *Treephysiology*, v. 32, n. 2, p. 135-145, 2012.
- Freitas, T. B., França, M. G., Almeida, A. A. F., Oliveira, S. J. R., Jesus, R. M., Souza, V. L., Silva, J. C. S., Mangabeira, P. A. A morfologia, a Ultraestrutura e a captação de minerais são afetadas pela toxicidade do cobre em plantas jovens de *Inga Sbnuda*, *Luschnathiana* (Benth). *EnvironSciPollut*, 2015.
- Gabe, M. *Techniques histologiques*. Masson&Cie, Paris, 1968.
- Goulao, LF, Vieira-Silva, S., Jackson, PA (2011). Associação da expressão gênica modificadora de hemicelulose e pectina com o crescimento secundário de *Eucalyptus globulus*. *Plant Physiol. Biochem*.
- Grandis, A.; Godoi, S.; Buckeridge, M.S. Respostas fisiológicas de plantas amazônicas de regiões alagadas às mudanças climáticas globais. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 33, n. 1, p. 1-12, 2010.
- Jackson, M. B. *Response and Adaptation by Plants to Flooding Stress*. *Annals of Botany*, 2005.
- Johansen, D. A. *Plant microtechnique*. New York, McGraw-Hill Book Co. Incl., 1940.
- Joly, C. A. Flooding tolerance in tropical trees. In: JACKSON, M. B.; DAVIES, D. D.; Lambers, H. (Ed.). *Plant life under oxygen deprivation: ecology, physiology and biochemistry*. The Hague: SBP Academic Publishing, p. 23-34. 1991.
- Jucoski, G. O., Cambraia, J., Ribeiro, C., Oliveira, J. A., Excesso de Ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L., 2016.
- Karnovsky, M. J. A. Formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. *J. Cell Biol.* 27, 137-138. 1965.
- Koslowski TT “Responses of woody plants to flooding”. In: *Flooding and plant growth*. London: Academic Press, 1984.
- Lais, K. A.; LORETO, F. Determining Photosynthetic Parameters from Leaf CO₂, leaf expression and gas exchange in aspen (*Populus tremuloides*). *Physiol. Plant.* 117, 368–375. 1996.

- Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., Bekkaoui, F. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Front. Chem.* 6, 1–14, 2018.
- Liu, Z., Cheng, R., Xiao, W., Guo, Q., Wang, N., Effect of off-season flooding on growth, photosynthesis, carbohydrate partitioning, and nutrient uptake in *Distylium chinense*. 2014.
- Lorenzini, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, p. 352. 1992.
- Loreti, E., VEEN, H. V., PERATA, P., Plants responses to flooding stress. *Science Direct, Plant Biology, Italy*, 2016.
- Luo, F.L., Nagel, K.A., Scharr, H., Zeng, B., Schurr, U., Matsubara, S., 2011. Recovery dynamics of growth, photosynthesis and carbohydrate accumulation after de-submergence: a comparison between two wetland plants showing escape and quiescence strategies. *Ann. Bot.* 2011
- Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. - 10. ed. – Porto Alegre, 2004.
- Martinez, G. B., Mourão, m.; Junior, S. B.; RESPOSTAS morfofisiológicas De plantas de açaçu provenientes de várzeas do rio Amazonas: efeito da anoxia do solo. Viçosa, Minas Gerais, 2011.
- Martins, C. M., Morais, S. A. L., Martins, M. M., Cunha, L. C. S., Silva, C. V., Martins, C. H. G., Aquino, F. J. T., Chemical Composition, Antifungal, and Cytotoxicity Activities of *Inga laurina* (Sw.) Willd Leaves. Tsutomu Hatano, 2018.
- Maurenza, D.; Marengo, R. A.; Parolin, P.; Piedade, M. T.F. Physiological responses to flooding and light in two tree species native to the Amazonian floodplains. *Aquatic Botany* 96. 7–13. 2012.
- Maxwell, K.; Johnson, G. Chlorophyll fluorescence a practical guide. *J Exp Bot.* 345, 659-68.2000.
- Medri M. E, Ferreira A. C., Kolb R. M., Bianchini E, Pimenta JA, Davanso-Fabro VM, Medri C et al. Alterações morfoanômicas em plantas de *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. submetidas ao alagamento. *Acta Scientiarum Biol Sci*, 2007
- Medri, C.; Medri, M. E.; Ruas, E. A.; Souza, L. A.; Medri, P. S.; Sayhum, S.; Bianchini, E.; Pimenta, J. A. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila ellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. *Acta Botânica Brasilica*. 2011.

- Medri, C.; Pimenta, J.A.; Ruas, E.A.; Souza, L.A.; Medri, P.S.; Sayhun, S.; Bianchini, E.; Medri, M.E. O alagamento do solo afeta a sobrevivência, o crescimento e o metabolismo de *Aegiphilaellowiana* Cham.(Lamiaceae)?. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 33, n. 1, p. 123-134, 2012.
- Mollard, F.P.O., Striker, G.G., Ploschuk, E.L., Vega, A.S., Insausti, P.,. Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. *Flora* 203, 548–556. 2008.
- Mustroph, A. (2018). Melhorando a tolerância a inundações de plantas cultivadas. *Agron* 8, 16
- O'Brien, T. P.; Feder, N.; McCully, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*. N.59. p. 368-373. 1965.
- O'Brien, T.P.; Feder, N.; McCully, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, v.59, n.2, p.368-373, 1964.
- Oliveira, V.C.D., Joly, C.A., Flooding tolerance of *Calophyllum brasiliense* Camb. (Clusiaceae): morphological, physiological and growth responses 2010.
- OLIVELLA, C.; BIEL, C.; VENDRELL, M.; SAVE, R. Hormonal and physiological responses of *Gerbera jamesonii* to flooding stress. *Horti cultural Science*, Praha, v. 35, n. 2, p. 222–225, 2015.
- Pallardy S. G- "Crescimento vegetativo", em *Fisiologia de plantas lenhosas* , 3ª ed. San Diego: Academic Press, 2008.
- Pegg T. , Edelman R. R. , Gladish D.K . Imunização de modificações de carboidratos na parede celular durante a formação de aerênquima induzido por inundação em raízes de Fabaceae. *Front Plant Sci*. 2020
- Peng, Y., Zhou, Z., Zhang, Z. *et al.* Molecular and physiological responses in roots of two full-sib poplars uncover mechanisms that contribute to differences in partial submergence tolerance. 2018.
- Peng, Y.J., Dong, Y.M., Tu, B.K., Zhou, Z.X., Zheng, B., Luo, L.W., Shi, C.M., Du, K.B., Roots play a vital role in flood-tolerance of poplar demonstrated by reciprocal grafting. 2013.
- Peng, Y.J., Dong, Y.M., Tu, B.K., Zhou, Z.X., Zheng, B., Luo, L.W., Shi, C.M., Du, K.B., Anatomy and ultrastructure adaptations to soil flooding of two full-sib poplar clones differing in flood-tolerance. 2018.
- Pimenta, J. A.; Orsi, M. M.; Medri, M. E. (1994), Aspectos morfológicos e fisiológicos de *Coleus blumei* Benth. submetido à inundação e à aplicação de ethrel e cobalto. *Rev. Bras. Biol.*, 53 (4), 427-433.

Pompeniano, A., Reyes, T. H., Moles, T. M., Scartazza, A., Respostas fotossintéticas e de crescimento de plântulas de *Arundo donax* L. sob diferentes estresses de deficiência de oxigênio e re oxigenação. *PlantSci*, 2019.

Rashmi, S., Dinâmica de sinais de interações durante o estresse de inundação. Sociedade Brasileira de Biólogos de Plantas, 2018.

Rastogi, S., Shah, S., Shasany, A. K., Metabólica ocimum em resposta a estresses abióticos: frio inundação, seca e salinidade. 2019.

Resende, A. F.; Shongart, J.; Streher, S. A.Ç; Ferreira, J.; Piedade, M. T. F.; Silva, T. S. F. Mortalidade maciça de árvores por distúrbios do pulso de inundação nas florestas da planície amazônica: efeitos colaterais da produção de energia hidrelétrica. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 2019

Ribeiro, R. V.; Machado, E. C.; Santos, M. G.; Oliveira, R. F. Season aland diurnal changes in photosyn thet iclimitation of young sweet orange trees. *Environ Exp Bot.* 66, 203–211.2009.

Rood, S.B., Nielsen, J.L., Shenton, L., Gill, K.M., Letts, M.G., Effects of flooding on leaf development, transpiration, and photosynthesis in narrow leaf cottonwood a willow-like poplar. 2010.

Sano, E. E., et al., Mapeamento de cobertura vegetal do bioma cerrado. Embrapa Cerrados. 2008.

Santiago, E. F.;Paoli, A.A.S. Respostas morfológicas em *Guibourtia hymenifolia* (Moric.) J. Leonard (Fabaceae) e *Genipa americana* L. (Rubiaceae), submetidas ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. *Revista Brasileira de Botânica.* vol.30, n. 1, 2007.

Sauter, M., Respostas de raiz a inundações. *Opinião atual em Biologia Vegetal*, 2013.

Silva, AC, Higuchi, P. e van den Berg, E. Efeitos do regime de lençol freático na riqueza de espécies da comunidade arbórea e na estrutura de fragmentos de floresta aluvial no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Biologia = Revista Brasileira de Biologia*, 2010.

Silva, R. R., Lima, E. S. S., Fabaceae na Sub-bacia do Rio São Francisco, nova Marilândia, Mato Grosso do Sul. Campo Grande , 2013.

Souza, A.A.; Caramori, S.S.; Fernandes, K.F. Caracterização bioquímica de *Inga alba* e *Inga cylindrica*. Uma avaliação de potencial biotecnológico. Universidade Federal de Goiás, ICB II, Laboratório de Química de Proteínas, UFG. *RevistaSaúde e Ambiente.* 2008.

- Stricker et al., Stricker E.M., Zigmond M.J. Stricker E.M. Zigmond M.J. Brain Monoamines, Homeostasis, and Adaptive Behavior, in: *Comprehensive Physiology*. John Wiley & Sons. 2012.
- Stricker, S, Fundele, R, Vortkamp, A, Mundlos, S. Role of Runx genes in chondrocyte differentiation. *Dev. Biol.* 2005.
- Taiz, L.. *Fisiologia Vegetal.*/ Lincoln Taiz e Eduard Zeinger; trad. Eliana Romanato Santarém^{3ª} ED.. Porto Alegre: Artmed. 2004.
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Artmed, 2017.
- Umetsu, K. R., Matos, D. M. S., Silva, J. C., Efeito da inundação lateral sobre a distribuição da vegetação ripária em um trecho do rio Cuiabá, MT, 2011.
- Valladares, F. e Niinemets, U., Tolerância parcial à luz solar, uma característica essencial da planta, de natureza e consequências complexas. *Revisão Anual da Ecology Evolution and Systematics*, 2008.
- Verdam, M.C.S.; DA Silva, C.B. O estudo de plantas medicinais e a correta identificação botânica. *Visão acadêmica*, v.11, n.1, p.7-13, 2010.
- Vilches-Barro, A., Maizel, A. Conversando através das paredes: mecanismos de emergência radicular lateral em *Arabidopsis thaliana*. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2015.
- Wei, G.W., Shuo, Q., Luo, F.L., Chen, Y.H., Dong, B.C., Mo, L.C., Huang, W.J., Yu, F.H., 2018. Separating effect of clonal integration plant growth during submergence and de submergence. *Flora*, 2018.
- Wei, W., Xia, L. W., Li, D., Zhang, Y., Gao, Y., Morpho-anatomical and physiological responses to waterlogging of sesame (*Sesamum indicum* L.). 2013
- Ye, C., Butler, O.M., Chen, C., Liu, W., Du, M., Zhang, Q., Shifts in characteristics of the plant-soil system associated with flooding and vegetation in the riparian zone of Three Gorges Reservoir, China. *Geoderma*. 2020.
- Yin, D., Chen, S., Chen, F., Jiang, J., 2013. Ethylene promotes induction of aerenchyma formation and anaerobic fermentation in waterlogged roots of *Dendranthema indicum*. *Mol. Biol. Rep.* 40, 4581–4590. 2013.
- Yin, SE, Daluiski, A, Pederson, R, Rosen, V, Lyons, KM. The type I BMP receptor BMPRII is required for chondrogenesis in the mouse limb. *Development*. 2010.
- Yu, G. A., Li, Z., Yang, H., Lu, J., Huang, E. Q., Yi, Yujun. Efeitos de raízes de plantas ribeirinhas na estabilidade não consolidada das margens de canais sinuosos do Rio Tarin, China. *Geomorfologia*, 2020.

Zhang B, Xu Q, Gao D, Jiang C, Liu F, Jiang J, Wang T. Padrões alterados de captação de água de *Populus deltoides* em povoamentos mistos de matas ciliares. *Sci Total Environ. China*. 2020

Zhang, X., Yang, C., Seago, J. L., Anatomical and histochemical traits of roots and stems of *Artemisia lavan dulae folia* and *A. selengensis* (Asteraceae) in the Jiangnan Floodplain, China. 2018.