



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

KLEYTON KLEBER DOS SANTOS CORRÊA

**INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS
FUNCIONAIS DE *Ischnosiphon puberulus* Loes. (MARANTACEAE) EM ZONA
RIPÁRIA AMAZÔNICA**

SANTARÉM – PA

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

KLEYTON KLEBER DOS SANTOS CORRÊA

**INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS
FUNCIONAIS DE *Ischnosiphon puberulus* Loes. (MARANTACEAE) EM ZONA
RIPÁRIA AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, como requisito para obtenção de grau de Mestre em Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Advanio Inácio Siqueira Silva

Coorientador: Profa. Dra. Amanda Frederico Mortati

SANTARÉM – PA

2023

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas –
SIBI/UFOPA**

C824i Corrêa, Kleyton Kleber dos Santos
 Influência do gradiente de inundação na variação de atributos funcionais de
 Ischnosiphon puberulus Loes. (MARANTACEAE) em zona ripária amazônica /
 Kleyton Kleber dos Santos Corrêa. – Santarém, 2023.

63 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Advanio Inácio Siqueira Silva

Coorientadora: Amanda Frederico Mortati

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-reitoria de
Pesquisa, Pós Graduação e Inovação Tecnológica, Instituto de Ciências e Tecnologia
das Águas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade.

1. Adaptação. 2. Bacia Amazônica. 3. Erva. 4. Órgãos vegetativos. 5. Plasticidade
fenotípica. 6. Pulso de inundação I. Siqueira-Silva, Advanio Inácio, *orient.* II.
Mortati, Amanda Frederico, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 584.39098115

Bibliotecária - Documentalista: Mary Caroline Santos Ribeiro – CRB/2 566



Universidade Federal do Oeste do Pará

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

Em acordo com o Regimento do Programa de Pós Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, a dissertação de mestrado é julgada por uma Banca Avaliadora não presencial, constituída por cinco avaliadores, sendo um deles obrigatoriamente externo ao curso, com título de doutor (Artigo 56 do referidoregimento). O acadêmico é considerado aprovado quando ao menos três membros avaliadores emitirem pareceres aprovado. Alternativamente, o discente será dispensado da banca avaliação da dissertação, quando comprovar o aceite ou publicação de pelo menos um artigo resultante da sua dissertação, como primeiro autor, em co-autoria com orientador, ou orientador e coorientador quando o orientador for um docente colaborador, em periódico indexado com percentil mínimo de 75 (setenta e cinco) ou superior referente às métricas mais recentes do maior percentil utilizado pelo Journal Citation Reports (Clarivate) ou pelo Scientific Journal Rankings (Scimago), cabendo ao discente apenas a apresentação pública do trabalho (Artigo 58). O discente que teve sua dissertação aprovada deverá apresentá-la em sessão pública com duração de até 50 (cinquenta) minutos obrigatoriamente até no máximo 15 (quinze) dias após a aprovação, e no prazo máximo de vínculo com o curso, ou seja, 24 (vinte e quatro) meses após o início do primeiro semestre letivo do discente no curso (artigo 64). Assim, aos seis dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois, às dez horas e trinta minutos, de forma remota através da plataforma GoogleMeet, instalou-se a apresentação de seminário público da dissertação de mestrado do aluno KLEYTON KLEBER DOS SANTOS CORRÊA. Deu-se início a abertura dos trabalhos, onde o Professor Dr. ADVANIO INACIO SIQUEIRA SILVA, após esclarecer as normativas de tramitação da defesa e seminário público, de imediato solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Ischnosiphon puberulus* Loes. (MARANTACEAE) EM ZONA RIPÁRIA AMAZÔNICA".

Concluída a exposição, o professor comunicou o discente que a versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 60 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante nos formulários de avaliação da banca. A banca examinadora foi composta pelos examinadores professores doutores listados abaixo. Os pareceres assinados seguem em sequência.

ADVANIO INÁCIO SIQUEIRA SILVA

Orientador

Kleyton Kleber dos Santos Corrêa

KLEYTON KLEBER DOS SANTOS CORRÊA

Discente



Universidade Federal do Oeste do Pará
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

Dra. Jaqueline Dias Pereira
Examinadora Externa à Instituição

Dra. Alice Pita Barbosa
Examinadora Externa à Instituição

Dra. Emília Cristina Pereira de Arruda.
Examinadora Externa à Instituição

Dr. José Max Barbosa de Oliveira Jr.
Examinador Interno

Dr. Sheyla Regina Marques Couceiro.
Examinadora Interna

Dr. Advanio Inácio Siqueira Silva
Presidente

Kleyton Kleber dos Santos Corrêa
Mestrando

AGRADECIMENTOS

Diante tantas dificuldades que enfrentamos no dia-a-dia, todo término de uma missão devemos ser gratos. Nesse processo, existem pessoas que são importantes diretamente e indiretamente, mas que merecem reconhecimento. E é com carinho, que expresso meus agradecimentos a todos (as) que de alguma forma estiveram comigo na realização desta dissertação.

Primeiramente, não posso deixar de agradecer a Deus. Aquele que é digno de toda honra e todo louvor, e reconheço ser responsável pelo fôlego de vida.

Aos meus pais, Valdirene dos Santos Correa e Raimundo Nonato Bentes Correa Filho, por serem responsáveis pela educação e minha formação como pessoa.

A minha irmã, Kaise Suelen dos Santos Correa, que durante meu mestrado passou por problemas sérios de saúde, mas sempre demonstrou forças e sempre acreditou em mim e apoiou nas minhas escolhas.

A minha filha, Maria Isis Castro Correa, que ainda que criança, sempre compreendeu minhas viagens para Santarém-PA, e quando chegava cansado, sempre me recepcionava com amor.

A minha namorada, Alice Maria Monteiro Lima, que sempre me apoiou nos momentos difíceis, não somente no mestrado, mas em tantas situações. Obrigado pela parceria.

Ao meu orientador Advanio Inácio Siqueira Silva, por ter aceitado me orientar. Além dos ensinamentos, paciência e incentivo durante esses dois anos.

A minha coorientadora Amanda Frederico Mortati, que acreditou em mim, e me ajudou tirando todas as dúvidas.

Aos membros do programa em Biodiversidade-PPGBEES por todo ensinamento, formação e auxílios financeiros para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Laboratório de Ensino de Biologia II do ICED.

Ao Laboratório Multiusuário de Análises Multifuncionais (LABAM) do ICTA.

Ao Laboratório de Botânica (LaBot) do ICTA e todos os seus integrantes.

Ao grupo de pesquisa “Rede Ripárias”.

Por fim, a todos que estiveram comigo direta ou indiretamente nessa caminhada.

A todos MUITÍSSIMO obrigado.

“Proteger, defender e lutar em prol da biodiversidade no mundo é questão de sobrevivência para a humanidade.”

Anna Almeida

RESUMO

O presente trabalho estudou a influência do gradiente de inundação na variação de atributos funcionais de órgãos vegetativos em *Ischnosiphon puberulus* para seu estabelecimento em zona ripária amazônica. A espécie foi coletada em campo e em casa de vegetação para avaliar o efeito do alagamento e sua supressão. As folhas, raízes e rizomas foram submetidos a métodos usuais em Anatomia Vegetal para quantificar a variação em atributos funcionais e sua resposta ao gradiente de inundação. Em amostras das plantas em campo, a densidade estomática da face abaxial da folha teve relação positiva (aumento) com a inundação. Na raiz, independentemente da condição de inundação, os indivíduos apresentaram maiores proporções de aerênquima em maiores condições de inundação. Em cultivo em casa de vegetação, essas proporções tenderam a diminuir, ou serem ausentes. Em campo, a razão córtex/estelo foi maior para os indivíduos em parcelas mais inundadas do que nos indivíduos daquelas menos inundadas, ao contrário dos indivíduos de casa de vegetação. Testes histoquímicos evidenciaram a presença de compostos fenólicos em todos os órgãos vegetativos, assim como amido na folha e rizoma. A densidade estomática da face abaxial da folha e a razão aerênquima/córtex são os principais atributos funcionais relacionados às parcelas mais inundadas. Os atributos funcionais de folha e rizoma submetidos ao alagamento e sua supressão não variaram em campo e em casa de vegetação. Na raiz, a proporção de aerênquima foi o atributo funcional com maior plasticidade apresentando correlação positiva com a inundação em campo e correlação negativa com a supressão da inundação em casa de vegetação. Esse conjunto de características permite que *I. puberulus* consiga se estabelecer e se distribuir ao longo de todo o gradiente de inundação, destacando o aerênquima como a característica mais marcante ao alagamento.

Palavras-chave: Adaptação. Bacia Amazônica. Erva. Órgãos vegetativos. Plasticidade fenotípica. Pulso de inundação.

ABSTRACT

This study investigated the influence of the flood gradient on the variation of functional attributes in vegetative organs of *Ischnosiphon puberulus* for its establishment in the Amazonian riparian zone. The species was collected in the field and in a plant nursery to evaluate the effect of flooding and its suppression. The leaves, roots, and rhizomes were subjected to the usual methods of plant anatomy to quantify the variation in the functional attributes and their response to the flood gradient. In the field samples, the stomatal density on the abaxial surface of leaves had a positive relationship (increase) with waterlogging. In the root, regardless of flooding condition, individuals had higher proportions of aerenchyma in higher flooding conditions. With cultivation in the plant nursery, these proportions tended to decrease, or were absent. In the field, the cortex-to-pith ratio was higher in the individuals from more flooded plots than in less flooded areas, unlike the individuals in the plant nursery. Histochemical tests showed the presence of phenolic compounds in all the vegetative organs, as well as the starch in the leaves and rhizomes. The stomatal density of the abaxial surface of leaves and the aerenchyma-to-cortex ratio are the main functional attributes related to the most flooded plots. The leaf and rhizome functional attributes of plants subjected to flooding and its suppression did not vary between the field and plant nursery conditions. In the roots, the proportion of aerenchyma was the functional attribute with the highest plasticity, showing a positive correlation with field flooding and a negative correlation with its suppression in the nursery. This set of features allows *I. puberulus* to establish and spread along the entire flooding gradient, with the aerenchyma standing out as the most striking feature in response to flooding.

Keywords: Acclimatization. Amazon basin. Herb. Vegetative organs. Phenotypic plasticity. Flooding regime.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fig. 1. Área de estudo, Estado do Pará, Brasil, localizada na bacia amazônica, sub-bacia do rio Cupari na Floresta Nacional do Tapajós, identificando as parcelas ripárias. Fonte: Kleyton Kleber dos Santos Corrêa.	20
Fig. 2. Fotos das parcelas de coleta de dados em campo e de <i>Ischnosiphon puberulus</i>	21
Fig. 3. Plantas de <i>Ischnosiphon puberulus</i> cultivadas em casa de vegetação.	22
Fig. 4. Caracterização anatômica da folha de <i>Ischnosiphon puberulus</i> (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação na sub-bacia do Rio Cuparí, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.	25
Fig. 5. Caracterização anatômica da folha de <i>Ischnosiphon puberulus</i> (secção transversal) cultivadas em casa de vegetação provenientes de parcelas ao longo do gradiente de inundação submetidas a diferentes períodos de alagamento no campo, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.	26
Fig. 6. Caracterização estrutural da raiz de <i>Ischnosiphon puberulus</i> (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação, a saber: 6 (A-B), 3 (C-D) e 0 (E-F) mês.	27
Fig. 7. Caracterização estrutural da raiz de <i>Ischnosiphon puberulus</i> (secção transversal) cultivada em casa de vegetação considerando o gradiente e períodos de inundação, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.	28
Fig. 8. Caracterização estrutural do rizoma de <i>Ischnosiphon puberulus</i> (secção transversal) dos indivíduos de campo (A, C e E) e cultivados em casa de vegetação (B, D e F). A-F: Detalhe do sistema de revestimento, córtex, cilindro vascular e medula.	30
Fig. 9. Gráfico de regressão dos atributos funcionais hidráulicos da folha de <i>Ischnosiphon puberulus</i> em função da coluna d'água em plantas coletadas em campo (A) e casa de vegetação (B).	32
Fig. 10. Atributos funcionais anatômicos da folha de <i>Ischnosiphon puberulus</i> em função da coluna d'água em plantas coletadas em campo (A) e casa de vegetação (B e C).	33
Fig. 11. Atributos funcionais da raiz de <i>Ischnosiphon puberulus</i> em função da coluna d'água e razão córtex/estelo.	35
Fig. 12. Análise por componentes principais dos principais atributos funcionais da raiz e folha de <i>Ischnosiphon puberulus</i> nas parcelas ao longo do gradiente de inundação.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FLONA – Floresta Nacional

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

UFOPA – Universidade Federal do Oeste do Pará

PPBio – Programa de Pesquisa em Biodiversidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 Qual o problema da pesquisa?	13
1.2 Como a pesquisa foi realizada?	14
1.3 Qual a importância da pesquisa?	14
1.4 Sugestões de leitura	15
CAPÍTULO ÚNICO	16
INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE <i>Ischnosiphon puberulus</i> (MARANTACEAE) EM ZONA RIPÁRIA AMAZÔNICA	16
1 INTRODUÇÃO	17
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 Área de estudo e Coleta dados	19
2.2 Coleta de dados em campo	19
2.3 Coleta de dados em casa de vegetação	20
2.4 Espécie vegetal	22
2.5 Caracterização estrutural e mensuração dos atributos funcionais	22
2.6 Análise estatística dos dados	23
3 RESULTADOS	24
3.1 Anatomia foliar da espécie em campo	24
3.2 Anatomia folia da planta em casa de vegetação	25
3.3 Anatomia da raiz da espécie em campo	26
3.4 Anatomia da raiz em casa de vegetação	27
3.5 Anatomia do rizoma da espécie em campo	29
3.6 Anatomia do rizoma da espécie em casa de vegetação	29
3.7 Histoquímica dos órgãos vegetativos em campo e em casa de vegetação	30
3.8 Densidade estomática	31
3.9 Traços funcionais da folha	32
3.10 Traços funcionais da raiz	34
3.11 Análise por componentes principais para os traços funcionais mais significantes	35
4 DISCUSSÃO	36
REFERÊNCIAS	40
FIGURAS SUPLEMENTARES	47
TABELAS SUPLEMENTARES	56

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Qual o problema da pesquisa?

Zonas ripárias são ecossistemas de ligação entre os ambientes terrestres e aquáticos ao longo dos rios. As florestas alagadas compreendem uma significativa proporção do território da bacia amazônica e possuem características ambientais que limitam o crescimento e o estabelecimento de espécies vegetais. O estresse de inundação afeta o desempenho das espécies, agindo sobre os **atributos funcionais** (características anatômicas, morfológicas, fenológicas, fisiológicas, bioquímicas e/ou moleculares), em função do alagamento, que resulta, por exemplo, em privação de oxigênio no solo, ao qual a planta está sujeita.

Porém, algumas espécies conseguem sobreviver sob o efeito da inundação, por apresentarem adaptações estruturais e/ou funcionais. Plantas **herbáceas**, por exemplo, em especial as espécies da família Marantaceae, ocorrem tanto em terra firme quanto em áreas alagadas.

A principal questão deste trabalho, é compreender quais características relacionadas a *I. puberulus* são importantes para sua sobrevivência ao longo de todo o gradiente de inundação. Essas características que influenciam diretamente no desempenho da espécie podem ser definidas como **atributos funcionais**. Tais alterações podem ocorrer em suas características anatômicas, morfológicas, fenológicas, fisiológicas, bioquímicas e/ou moleculares, em função do estresse ao alagamento, com a privação de oxigênio no solo, ao qual a planta está sujeita.

Se a planta sobrevive às condições anóxicas por meio de adaptações metabólicas, é possível afirmar que a planta tem estratégias de adaptação por tolerância. Se a planta sobrevive às condições anóxicas por meio de mudanças em alguma estrutura (anatômica, por exemplo) é possível afirmar que a planta dispõe de estratégias de evitação à inundação. Nesse último caso, as plantas responderam aos estímulos devido a sua **plasticidade fenotípica**, que é a expressão de diferentes fenótipos representado por um único genótipo determinada pelas condições do ambiente.

Assim, a principal questão deste trabalho é compreender quais atributos funcionais relacionadas a *I. puberulus* (Marantaceae) são importantes para sua sobrevivência ao longo de um gradiente de inundação por meio da avaliação dos atributos funcionais (anatômicos, morfológicos e hidráulicos).

1.2 Como a pesquisa foi realizada?

O estudo foi realizado na bacia do Rio Cupari ao longo de um gradiente de inundação na Floresta Nacional do Tapajós, no Oeste do Pará, Brasil. Amostras de órgãos vegetativos (raiz, rizoma e folhas completamente estendidas) de *Ischnosiphon puberulus* foram coletadas (n = 13) em plantas ocorrentes em três parcelas acima da linha de inundação, em plantas ocorrentes em quatro parcelas no trecho médio e em plantas ocorrentes em seis parcelas no trecho baixo da sub-bacia, área sempre alagada da bacia do rio Cupari. As parcelas foram estabelecidas conforme modelo de parcelas ripárias (RAPELD/Programa de Pesquisa em Biodiversidade). Indivíduos da espécie foram coletados em dez parcelas de campo e transportados para cultivo em casa de vegetação em Alter-do-Chão no município de Santarém – PA. As mesmas condições de cultivo foram conduzidas para o substrato, disponibilidade de água e luminosidade, a fim de testar o efeito da inundação sobre indivíduos.

Raiz, rizoma e folha foram caracterizados estruturalmente métodos convencionais de anatomia vegetal. Os traços funcionais morfológicos, anatômicos e hidráulicos de raiz e da folha foram analisados qualitativamente e quantitativamente, sendo 10 mensuração de cada indivíduo e calculado a média para cada característica anatômica. O nível da coluna d'água, representado pela diferença entre a superfície da lâmina d'água e o nível superior do sedimento no leito do corpo d'água, foi utilizado como variável de campo para representar a intensidade da inundação.

A análise de regressão foi utilizada para determinar o grau de explicação das variáveis de campo sobre os atributos funcionais. Para comparar os traços funcionais dos órgãos vegetativos (raiz e folha) de *I. puberulus* entre as condições de campo e da casa de vegetação foram utilizadas Análises de Variância (Anova). A Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada para verificar as associações dos traços funcionais para a folha e raiz. As análises estatísticas foram feitas utilizando o *software R* (R Core Team, 2021) considerando $p < 0,05$.

1.3 Qual a importância da pesquisa?

Alterações naturais ou antrópica as áreas alagáveis como as resultantes de atividades humanas ou clima podem impactar as plantas, ao ponto de as mesmas não resistirem à estas perturbações. Por isso, torna-se importante identificar características de resistência das espécies vegetais aos processos hidrológicos, principalmente quando os eventos extremos de seca e alagamento (chuva) se tornam críticos para estas espécies.

Estudos dessa natureza têm sido realizados pelo mundo para investigar os atributos funcionais de plantas em respostas às alterações ambientais. No entanto, são escassos aqueles

concernentes à família Marantaceae, em especial nas zonas ripárias na Amazônia. E devido a elevada abundância e frequência em ambientes com diferentes níveis de alagamento, *I. puberulus* é uma espécie chave para esses estudos. Por fim, este estudo é pioneiro na investigação de atributos funcionais (anatômicos, hidráulicos e morfológicos) em herbáceas na Amazônia ao longo de um gradiente de alagamento em florestas inundadas.

1.4 Sugestões de leitura

De Paula, L. F. A., Kolb, R. M., Porembski, S., Silveira, F. A. O., Rossatto, D. R., 2019. Rocks and leaves: Can anatomical leaf traits reflect environmental heterogeneity in inselberg vegetation? *Flora*. 250: 91-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2018.11.020>.

Junk, W.J., Piedade, M. T. F., 1997. Plant Life in the Floodplain with Special Reference to Herbaceous Plants. In: Junk WJ [ed.] *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Ecological Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp. 147-185.

Liu, C., Li, Y., Xu, L., Chen, Z., He, N., 2019. Variation in leaf morphological, stomatal, and anatomical traits and their relationships in temperate and subtropical forests. *Scientific Reports*. 9:5803. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42335-2>.

Takahashi, H., Yamauchi, T., Colmer, T. D., Nakazono, M., 2014. Aerenchyma formation in plants. In: van Dongen, J. T. and F. Licausi (eds.) *Plant Cell Monographs: Low-oxygen stress in plants*. Springer 21:247–265. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1254-0_13.

Yamauchi, T., Noshita, K., Tsutsumi, N., 2021. Climate-smart crops: key root anatomical traits that confer flooding tolerance. *Breeding Science* 71: 51–61. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.20119>.

CAPÍTULO ÚNICO

O texto foi redigido seguindo as normas de publicação da revista “Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. Disponível em: <https://www.elsevier.com/journals/flora/0367-2530/guide-for-authors>

INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Ischnosiphon puberulus* (MARANTACEAE) EM ZONA RIPÁRIA AMAZÔNICA

Kleyton Kleber dos Santos Correa^{1*}, Amanda Frederico Mortati^{1,7}, Thiago André², Maria Teresa Fernandez Piedade³, Jochen Schöngart³, Clarisse Palma-Silva⁴, Alan Cavalcanti da Cunha⁵, Leidiane Leão de Oliveira⁶, Liana Pereira Belúcio⁵, Advanio Inácio Siqueira-Silva^{1,6}

* Autor de correspondência

1 – Programa de Pós Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém (PA), Brazil;

2 – Departamento de Botânica, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília (DF), Brazil;

3 – Grupo MAUA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus (AM), Brazil;

4 – Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), Brazil;

5 – Universidade Federal do Amapá, Macapá (AP), Brazil;

6 – Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém (PA), Brazil;

7 – Instituto de Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém (PA), Brazil.

AFM - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9150-990X>

TA - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4148-3662>

MTFP – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7320-0498>

CPS – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0192-5489>

ACC – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1846-9486>

AISS – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-9761>

RESUMO

O presente trabalho estudou a influência do gradiente de inundação na variação de atributos funcionais de órgãos vegetativos em *Ischnosiphon puberulus* para seu estabelecimento em zona ripária amazônica. A espécie foi coletada em campo e em casa de vegetação para avaliar o efeito do alagamento e sua supressão. As folhas, raízes e rizomas foram submetidos a métodos usuais em Anatomia Vegetal para quantificar a variação em atributos funcionais e sua resposta ao gradiente de inundação. Em amostras das plantas em campo, a densidade estomática da face abaxial da folha teve relação positiva (aumento) com a inundação. Na raiz, independentemente da condição de inundação, os indivíduos apresentaram maiores proporções de aerênquima em maiores condições de inundação. Em cultivo em casa de vegetação, essas proporções tenderam a diminuir, ou serem ausentes. Em campo, a razão córtex/estelo foi maior para os indivíduos em parcelas mais inundadas do que nos indivíduos daquelas menos inundadas, ao contrário dos indivíduos de casa de vegetação. Testes histoquímicos evidenciaram a presença de compostos fenólicos em todos os órgãos vegetativos, assim como amido na folha e rizoma. A densidade

estomática da face abaxial da folha e a razão aerênquima/córtex são os principais atributos funcionais relacionados às parcelas mais inundadas. Os atributos funcionais de folha e rizoma submetidos ao alagamento e sua supressão não variaram em campo e em casa de vegetação. Na raiz, a proporção de aerênquima foi o atributo funcional com maior plasticidade apresentando correlação positiva com a inundação em campo e correlação negativa com a supressão da inundação em casa de vegetação. Esse conjunto de características permite que *I. puberulus* consiga se estabelecer e se distribuir ao longo de todo o gradiente de inundação, destacando o aerênquima como a característica mais marcante ao alagamento.

Palavras-chave: Adaptação. Bacia Amazônica. Erva. Órgãos vegetativos. Plasticidade fenotípica. Pulso de inundação.

1 INTRODUÇÃO

As florestas alagadas cobrem cerca de 750.000 km² ao longo e entre os rios da bacia hidrográfica amazônica (Wittmann & Junk, 2016) e possuem características ambientais que podem limitar o crescimento e estabelecimento das espécies vegetais não tolerantes ou adaptadas ao alagamento (Parolin, 2009). O gradiente de inundação funciona como um filtro ambiental, que influencia as comunidades de plantas mesmo com pequenas mudanças na profundidade e período de alagamento, selecionando diferentes espécies com distintos graus de tolerância (Riis & Hawes, 2002; Kraft et al., 2015). As zonas ripárias, ecossistemas formados na ligação entre os habitats terrestres e de água doce ao longo dos rios (González et al., 2017), são vitais para conservação da biodiversidade (Nunes et al., 2019), e suas áreas são consideradas vulneráveis às ações antrópicas e às mudanças climáticas (Capon et al., 2013), estando sujeitas às alterações nas condições ambientais locais de acordo com o nível e duração do alagamento (Paz et al., 2017).

Em resposta ao estresse do alagamento e/ou seca, as plantas podem alterar suas características anatômicas, morfológicas e hidráulicas em seus órgãos vegetativos. Respostas anatômicas à variação ambiental são muito relevantes porque refletem adaptações estruturais aos filtros ambientais. Aparentemente, essas características anatômicas podem conferir vantagens adaptativas às plantas (Kuster et al., 2018).

Ajustes das plantas a estímulos ambientais podem ocorrer por meio de uma propriedade adaptativa chamada plasticidade fenotípica (Wang et al., 2019). A plasticidade fenotípica é a expressão de diferentes fenótipos por um único genótipo em função do ambiente, que confere

à planta diferentes características responsáveis pela aptidão e sucesso dos indivíduos no ambiente a qual está sujeita (Nicotra et al., 2010).

Quando o solo está inundado, a zona da raiz é preenchida com excesso de água (Sasidharan et al., 2017). Logo, a difusão de oxigênio do ar para o solo é severamente restringida (Colmer & Flowers, 2008). Assim, em ambientes alagados ou submersos, as plantas apresentam caracteres anatômicos (aerênquima) que promovem a difusão do oxigênio e consequentemente garantem a sobrevivência das mesmas no ambiente (Armstrong et al., 2006; Colmer & Voeselek, 2009). Juntas, as espécies de zonas úmidas podem transportar oxigênio de forma mais eficiente para as pontas das raízes do que as espécies de terras altas sob inundação do solo devido à formação de aerênquima (Yamauchi et al., 2021). Em estudos de anatomia dos órgãos vegetativos (raiz, rizoma e caule aéreo), foi observada a presença de aerênquima e/ou barreiras apoplásticas que auxiliam as plantas na adaptação e resistência à inundação (Zhang et al., 2018; Yang et al., 2019a; Yang et al., 2019b).

As características que têm influência direta no desempenho dos organismos são denominadas de atributos funcionais (Mouillot et al., 2013), podendo ser atributos morfológicos, anatômicos, fisiológicos, fenológicos e/ou bioquímicos. Atributos funcionais foliares têm sido preferencialmente utilizados na pesquisa científica em geral, devido à alta plasticidade das folhas (Siqueira-Silva et al., 2016), ou pela facilidade da sua coleta, medição e processamento, quando comparados aos demais órgãos vegetativos. Entretanto, estudos estruturais de caules e raízes precisam ser desenvolvidos para o entendimento completo das estratégias de adaptação das plantas ao ambiente.

O Domínio Amazônia é o maior do Brasil, abrigando cerca de 30% da totalidade das espécies vegetais na América do Sul (MMA, 2021). Estudos voltados para atributos funcionais de plantas em zonas ripárias na Amazônia são escassos, mostrando a necessidade de avaliar a importância dessas características em indivíduos para a estruturação das comunidades nesses ecossistemas.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do gradiente de inundação nos atributos funcionais de órgãos vegetativos de *Ischnosiphon puberulus* Loes. (Marantaceae) em zona ripária amazônica. Para isso, levantamos a hipótese de que os atributos funcionais de órgãos vegetativos (raiz, rizoma e folha) de *I. puberulus* não se conservam ao longo do gradiente de inundação na bacia Amazônica, sendo a raiz o órgão vegetativo mais plástico e o aerênquima o marcador estrutural de intensidade de alagamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e Coleta dados

O estudo foi realizado no rio Cupari (bacia Amazônica) em sua parte contida na Floresta Nacional do Tapajós (doravante Flona do Tapajós), oeste do estado do Pará, Brasil (Fig. 1). A Flona do Tapajós possui 527,319 hectares (ICMBio, 2019), tendo a Floresta Ombrófila Densa como tipologia florestal dominante (IBGE, 2012), a qual cobre 92,7% da área da Flona com aproximadamente 412 espécies arbóreas pertencentes a 57 famílias, com dominância de árvores de grande porte (IBAMA, 2004). Segundo a classificação climática de Köppen o clima é do Tipo Ami (quente e úmido), com temperatura média anual de 25,5°C e concentração de chuvas ocorrentes entre janeiro e maio, totalizando média anual de 1.820 mm (IBAMA, 2004). O solo é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizado por diferentes texturas, sendo geralmente profundo, ácido, friável e revestido por florestas densas (Espírito-Santo et al., 2005). Parte da sub-bacia do rio Cupari está contida na área da FLONA do Tapajós banhando a parte sul da unidade de conservação (Silva-Oliveira et al., 2016), sendo este rio afluente direito do Rio Tapajós (Rios-Villamizar et al., 2014).

Os dados climáticos de temperaturas média máxima e diária mensal, bem como precipitação total mensal em um período de 12 meses previamente à coleta das amostras (novembro/2019) e dos últimos doze meses de cultivo das plantas em casa de vegetação foram obtidos do banco de dados de estações climatológicas automáticas disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Fig. A). Os dados foram obtidos da estação Placas A211 (Fig. A1) e Santarém A250 (Fig. A2), por serem as estações automáticas mais próximas da bacia do rio Cupari e do local de cultivo em casa de vegetação em Santarém-PA, respectivamente

2.2 Coleta de dados em campo

Amostras de órgãos vegetativos (raiz, folha e rizoma) da erva estudada (n = 13) foram coletadas entre 18 e 19 de novembro de 2019 em treze parcelas distribuídas ao longo da bacia do rio Cupari (Fig. 1), sendo três parcelas ripárias no trecho alto (Fig. 2A), quatro parcelas no trecho médio (Fig. 2E), e seis no trecho baixo da sub-bacia (Fig. 2B). As parcelas foram estabelecidas conforme modelo de parcelas ripárias pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade/RAPELD (2015).

A coluna d'água (Tabela A) foi utilizada como variável ambiental de campo para representar a cota de inundação na bacia do rio Cupari e relacionar com os atributos funcionais.

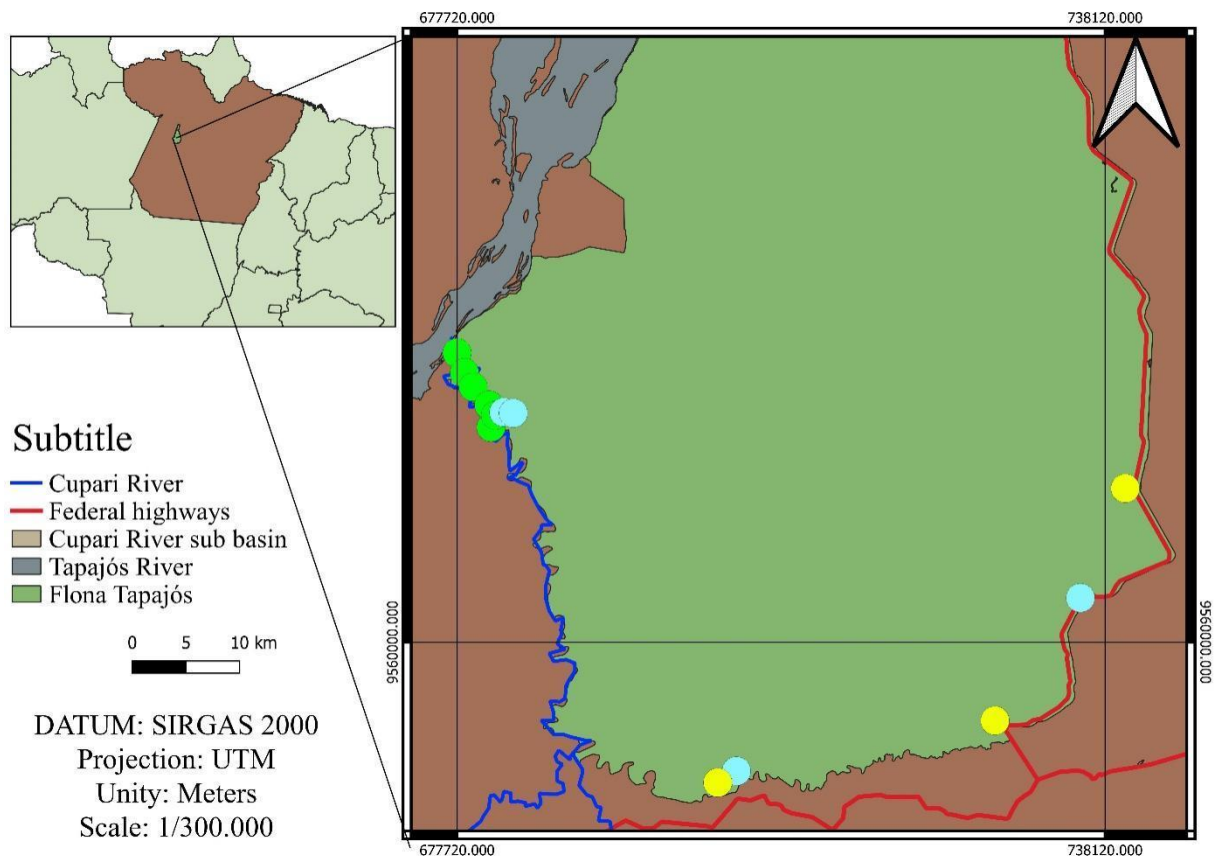


Fig. 1. Área de estudo, Estado do Pará, Brasil, localizada na bacia amazônica, sub-bacia do rio Cupari na Floresta Nacional do Tapajós, identificando as parcelas ripárias. Fonte: Kleyton Kleber dos Santos Corrêa.

A medida foi feita por régua linimétrica (resolução de $\pm 1\text{cm}$) posicionada à margem e ao fundo do canal sempre inundado, ao lado da parcela ripária onde foram coletadas as ervas, incluindo a coleta de material para anatomia

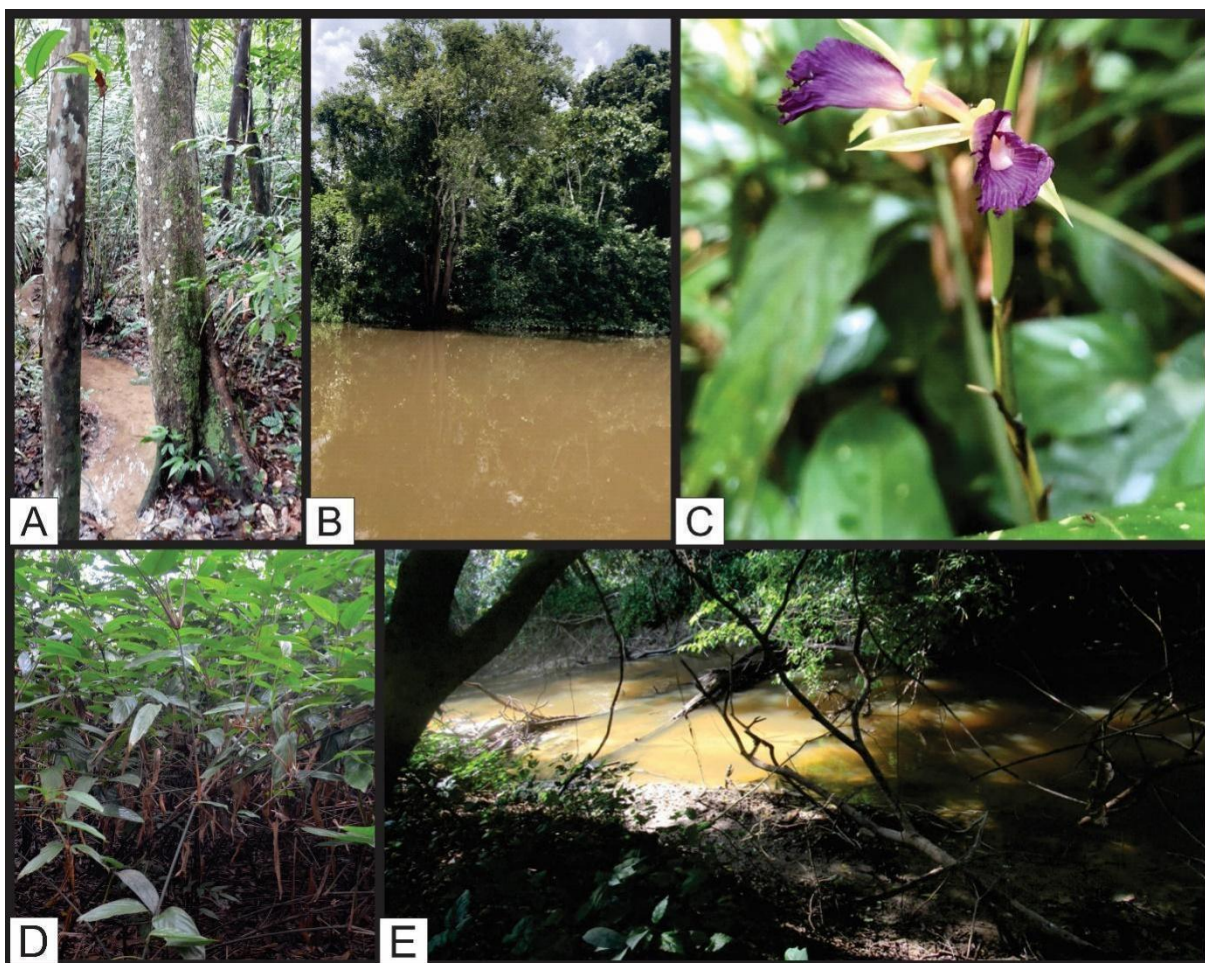


Fig. 2. Fotos das parcelas de coleta de dados em campo e de *Ischnosiphon puberulus*.

A. Parcela em igarapé de terra firme do trecho alto. Fonte: Daiane Rodrigues

B. Parcela ripária do trecho baixo no Rio Cupari. Fonte: Thiago André.

C. Foto de *Ischnosiphon puberulus* em campo. Fonte: Thiago André

D. Foto do adensamento de indivíduos de *Ischnosiphon puberulus* em uma parcela do trecho baixo. Fonte: Thiago André.

E. Parcela ripária do trecho intermediário no Rio Tinga. Fonte: Liana Belúcio

2.3 Coleta de dados em casa de vegetação

Indivíduos de *I. puberulus* foram retirados do campo e cultivados em casa de vegetação (Tabela A; Fig. 3) por 659 dias consecutivos sob condições ambientais e de regras idênticas, até coleta de tecido de folha, raiz e rizoma a fim de diferenciar caracteres plásticos (i.e., que mudam em condições ambientais distintas) de adaptações (i.e., que não mudam sob diferentes condições ambientais).

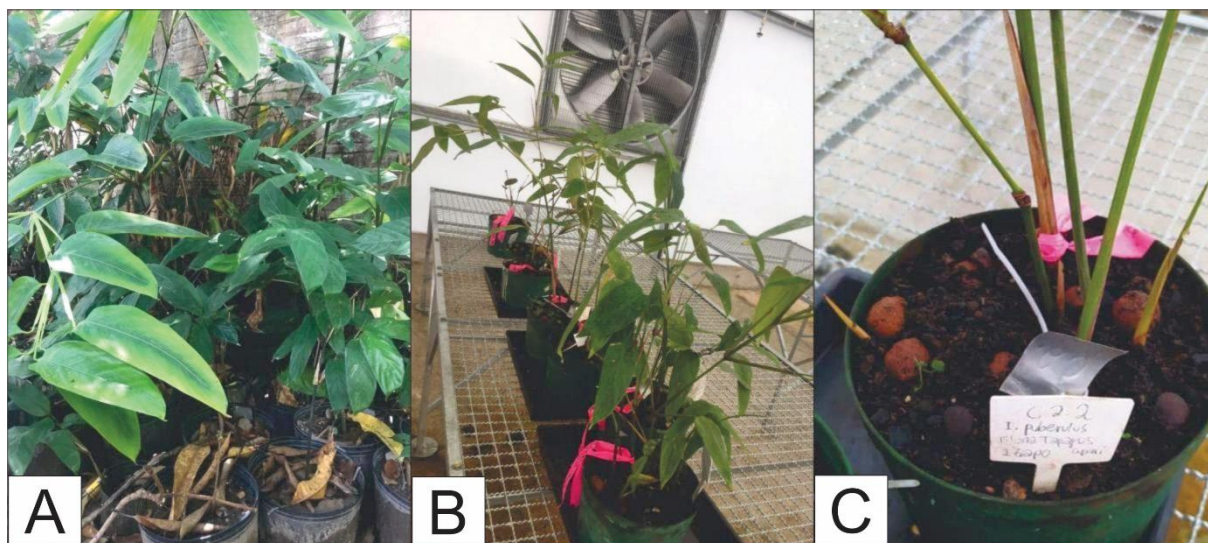


Fig. 3. Plantas de *Ischnosiphon puberulus* cultivadas em casa de vegetação.

A: Matrizes provenientes do campo.

B: Indivíduos cultivados em bancada de casa de vegetação.

C: Detalhes de substrato de cultivo das plantas.

2.4 Espécie vegetal

A espécie vegetal estudada foi *Ischnosiphon puberulus* Loes. (Marantaceae), pertencente a uma das famílias botânicas mais importantes na diversidade de herbáceas em zonas ripárias (Fig. 2C, D), tendo altos valores de abundância no sub-bosque amazônico (Costa, 2004; Costa et al., 2008; Drucker et al., 2008). As espécies do gênero *Ischnosiphon* são herbáceas grandes, eretas e perenes (Nakazono et al., 2004). Um estudo realizado por Rodrigues et al. (2021) mostrou que *Ischnosiphon* foi o gênero mais rico desta família na sub-bacia do rio Cupari, sendo *I. puberulus* uma das poucas espécies que ocorreram ao longo de todo o gradiente hidrográfico amostrado. Material testemunho foi depositado no herbário HSTM da Universidade Federal do Oeste do Pará - Ufopa (M.A. Buitrago-A. 471, HSTM 12225).

2.5 Caracterização estrutural e mensuração dos atributos funcionais

Para a caracterização estrutural em microscópio ótico (Axio Lab.A1, Zeiss), fragmentos da região mediana de folhas completamente expandidas, raízes e rizomas foram submersos em solução fixadora FAA70 (formaldeído, ácido acético glacial e etanol 70%, 1:1:18, v/v) (Johansen, 1940) por um período de 24 horas. Em seguida, o material foi desidratado em série etílica crescente (70 - 95%), pré-infiltrado, infiltrado e incluído em resina histológica (Leica), segundo métodos usuais de Anatomia vegetal. Cortes em micrótomo rotativo (EasyParth Crux com 5 µm de espessura) foram realizados no plano transversal dos órgãos vegetativos estudados. Em seguida, as lâminas histológicas obtidas foram coradas em azul de toluidina 0,05%, pH 6,8 em tampão de fosfato 0,1 M (O'Brien et al., 1964) e montadas em verniz vitral

incolor 500â (Paiva et al., 2006). O registro fotomicrográfico foi feito em Fotomicroscópio (Axio Lab.A1, Zeiss, acoplado à câmera digital Axiocam ERc 5s, Zeiss).

Para os testes histoquímicos parte das amostras de folha, rizoma e raiz incluídas transversalmente em resina metacrilato e seccionadas em micrótomo rotativo (5 µm), foram coradas com: solução de Lugol para amido (Johansen, 1940); Sudan IV em etanol 70% para lipídios totais (Pearse, 1972); e solução aquosa de cloreto férrico para marcação de compostos fenólicos não estruturais (Johansen, 1940). Os modos de preparo e procedimentos de utilização dos reagentes histoquímicos foram realizados com base no protocolo de Ventrella et al. (2013).

Os traços anatômicos, morfológicos e hidráulicos que possuem significância funcional foram analisados quantitativamente em folhas e raízes (Tabelas B e C).

A densidade estomática (Pompelli et al. 2010) e a caracterização estrutural da superfície foliar de *I. puberulus* folha foram avaliadas após impressão e dissociação epidérmica das faces adaxial e abaxial. Para isto, foi feita a contagem dos estômatos em 18 campos microscópicos, escolhidos aleatoriamente para cada face epidérmica e indivíduo estudado.

Para as folhas, as características estruturais mensuradas (Tabela B) foram: Espessura da Epiderme faces Adaxial e Abaxial (Ead e Eab, µm), Espessura da Hipoderme faces Adaxial e Abaxial (EHa e EHb, µm), Espessura do Parênquima Paliçádico (EPp, µm), Espessura do Parênquima Lacunoso (EPI, µm) e Espessura da Folha (ET, µm). Diante dessas médias, foi calculado a Proporção do Parênquima Paliçádico (PPp, %), ou seja, a razão EPp/ET x 100, bem como a Proporção do Parênquima Lacunoso (PPI, %), através da razão EPI/ET x 100, conforme Liu et al. (2019). Para isto, foram feitas 10 mensurações de cada indivíduo utilizando o software ZEN (blue edition - Carl Zeiss Microscopy GmbH) e calculado a média para cada característica anatômica.

Para a raiz, as características estruturais mensuradas (Tabela C) foram: Espessura da Epiderme (EEp, µm); Espessura da Exoderme (EEEx, µm); Espessura do Córtex (EC, µm); Espessura do Aerênquima (EA, µm); Razão Aerênquima/Córtex (RAC, µm²/ µm²); Razão Córtex/Estelo (RCE, µm²/ µm²). Foram feitas 10 mensurações de cada indivíduo utilizando o software ZEN (blue edition - Carl Zeiss Microscopy GmbH) e calculado a média para cada característica anatômica.

2.6 Análise estatística dos dados

Para comparar os traços funcionais dos órgãos vegetativos (raiz e folha) de *I. puberulus* entre as parcelas foi utilizado a Análise de Variância (ANOVA) com p-valor menor ou igual a 0,05. Análises de regressão linear e não linear foram utilizadas para determinar o grau de

explicação das variáveis de campo (coluna d'água) nos atributos funcionais. A Análise por Componentes Principais (PCA) foi utilizada para analisar as associações multivariadas dos traços funcionais para a folha e raiz, utilizando uma matriz de correlação de input na análise e o teste de Broken Stick foi utilizado para escolha dos componentes principais relevantes para a análise. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software R (R Core Team, 2021). A PCA foi feita utilizando o pacote “ggbiplot”.

3 RESULTADOS

3.1 Anatomia foliar da espécie em campo

Ilschnosiphon puberulus possui folha com mesofilo heterogêneo do tipo dorsiventral (uma camada de parênquima paliádico e três a quatro camadas de parênquima lacunoso) e epiderme e hipoderme unisseriadas em ambas as faces da folha (Fig. 4A-F), com cutícula pouco espessa na face adaxial, independentemente do período de alagamento. As células epidérmicas (ambas as faces) são retangulares e achatadas (Fig. 4A-F), exceto na face abaxial de folhas de plantas expostas a 1 mês de alagamento, as quais possuem epiderme papilosa (Fig. 4E). Nos diferentes períodos de alagamento (1 a 8 meses), a hipoderme é visivelmente mais volumosa na face adaxial da folha. Em menor exposição a inundação, o parênquima lacunoso aparenta possuir maiores espaços intercelulares. Na nervura central, houve similaridade anatômica em todos os ambientes estudados (Fig. 4B, D e F).

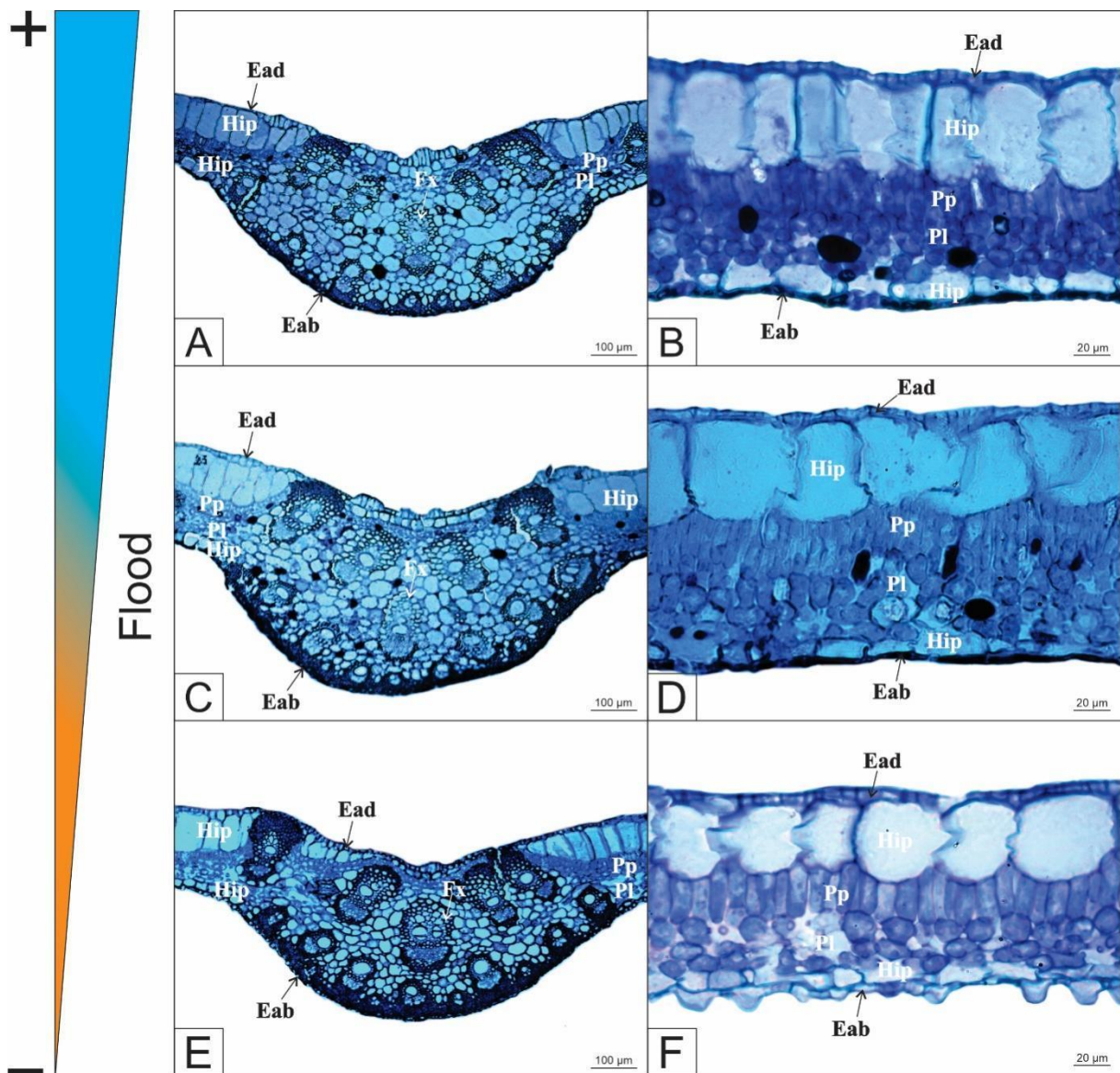


Fig. 4. Caracterização anatômica da folha de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação na sub-bacia do Rio Cuparí, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.

A, C e E: Nervura central.

B, D e F: Lâmina foliar.

Legendas: epiderme da face adaxial, Ead; epiderme da face abaxial, Eab; hipoderme, Hip; parênquima paliçádico, Pp; Parênquima lacunoso, Pl.

As células epidérmicas, em vista frontal, exibem paredes anticlinais não sinuosas nas duas faces (Fig. B1-2). A folha é anfi-hipoestomática (predominância de estômatos na face abaxial) e pilosa apresentando tricomas tectores na face abaxial (Fig. B3) lâmina foliar dos indivíduos de parcelas expostas a intensidade menores de alagamento (parcelas do trecho alto).

3.2 Anatomia folia da planta em casa de vegetação

Ischnosiphon puberulus apresenta epiderme unisseriada em ambas as faces da folha, células hipodérmicas volumosas, com destaque para face adaxial, mesofilo heterogêneo do tipo

dorsiventral e presença de papilas epidérmicas na face abaxial (Fig. 5A-F). Não houve diferença estrutural entre as folhas coletadas nos indivíduos em campo e casa de vegetação (Figs. 4 e 5).

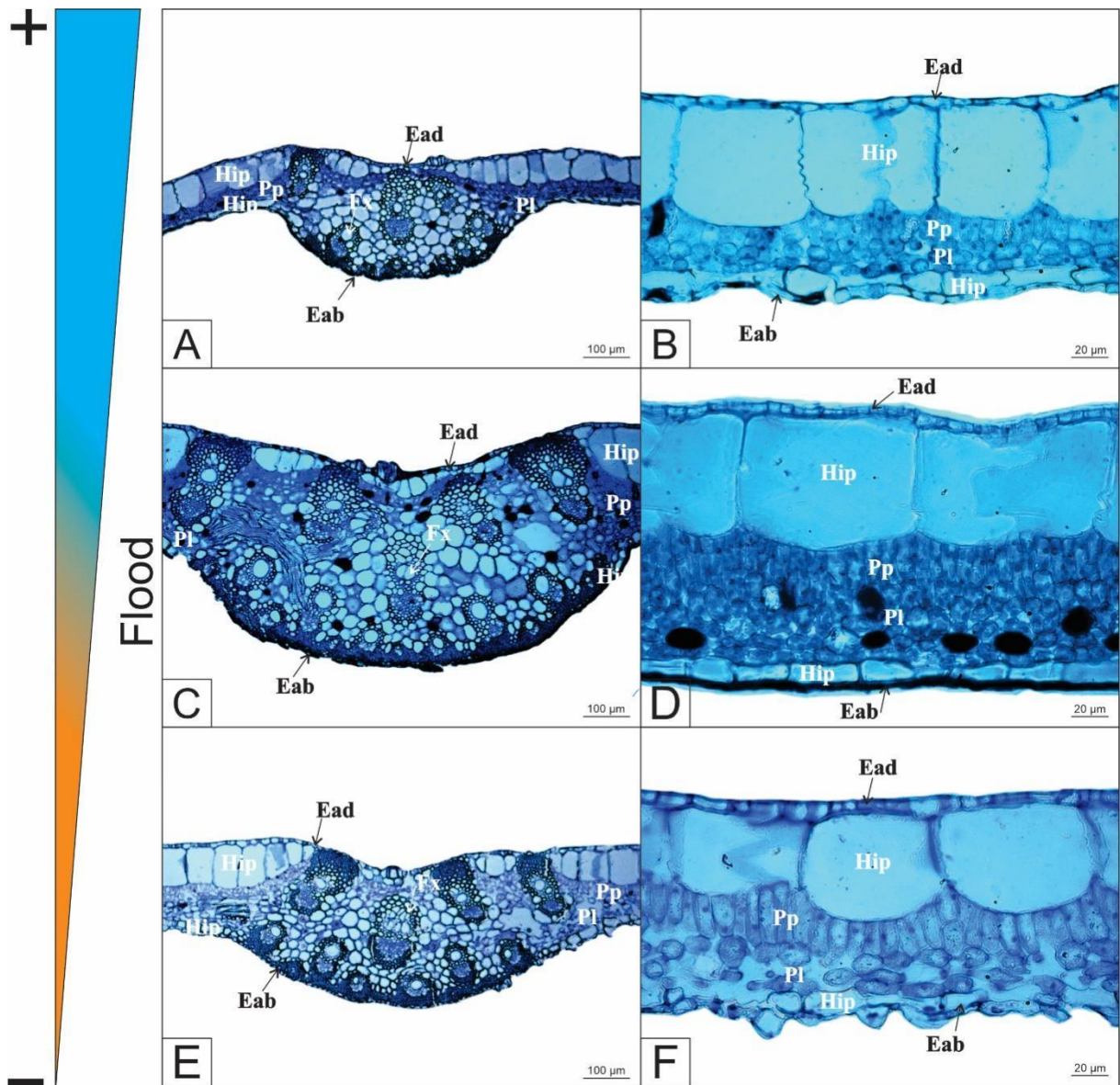


Fig. 5. Caracterização anatômica da folha de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) cultivadas em casa de vegetação provenientes de parcelas ao longo do gradiente de inundação submetidas a diferentes períodos de alagamento no campo, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.

A, C e E: Nervura central.

B, D e F: Lâmina foliar.

Legendas: epiderme da face adaxial, Ead; epiderme da face abaxial, Eab; hipoderme, Hip; parênquima paliádico, Pp; Parênquima lacunoso, Pl.

3.3 Anatomia da raiz da espécie em campo

A raiz de *I. puberulus* apresenta epiderme unisseriada composta por células tabulares, além de exoderme pluriestratificada, independentemente do período de alagamento (Fig. 6A-F). O córtex é heterogêneo e ocupa aparentemente a maior parte do corpo primário da raiz, com predominância de aerênquima, em especial em plantas presentes em áreas sujeitas a longos

períodos de alagamento (3-8 meses) (Tabela A, Fig. 6A-D). A raiz é poliarca, sendo o xilema exarco, alternado com o floema. O centro do cilindro vascular é ocupado por esclerênquima e entre a endoderme e os tecidos vasculares (xilema e floema) está presente um periciclo unisseriado (Fig. 6A-F) em todos os indivíduos do gradiente de inundação.

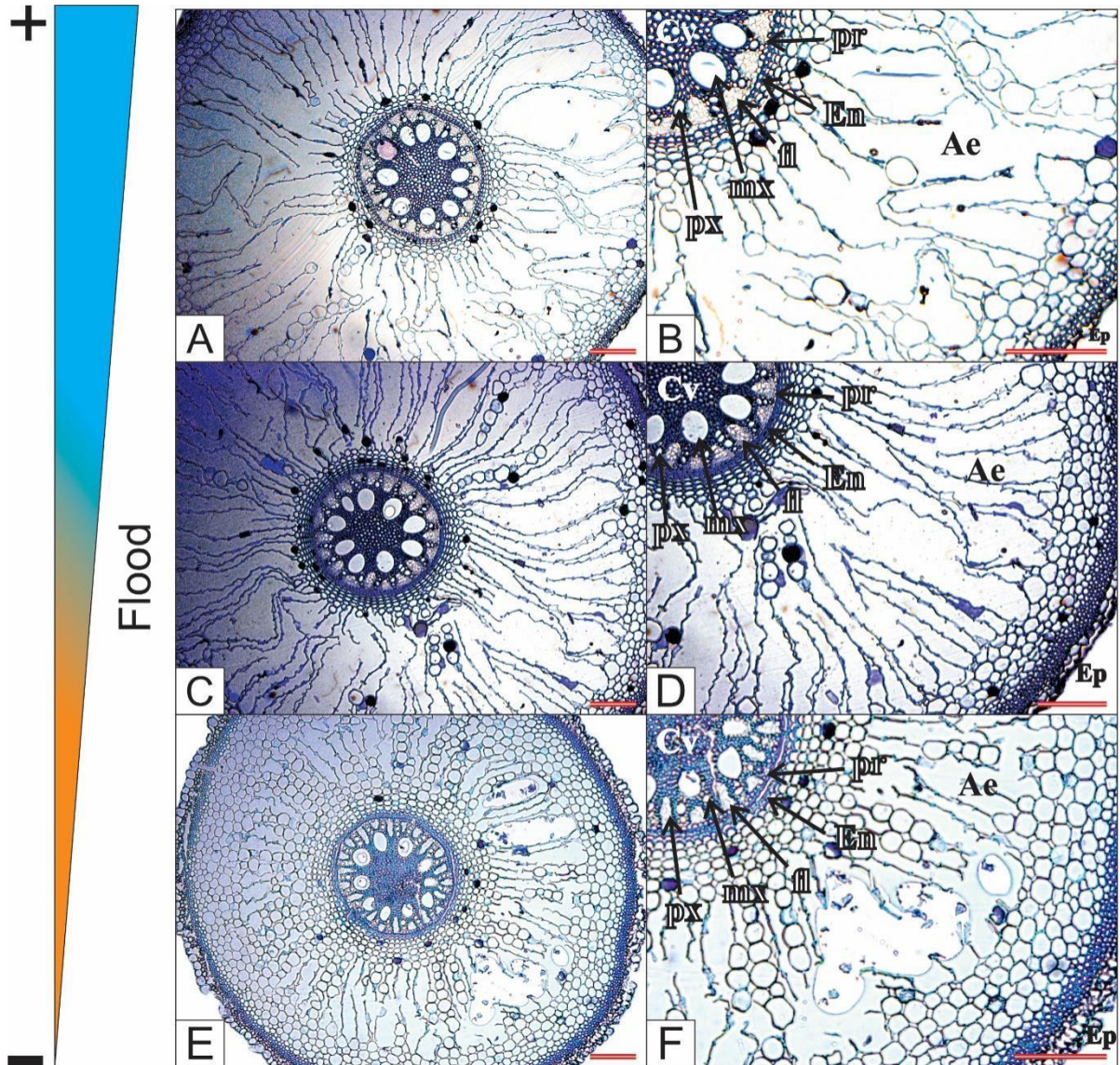


Fig. 6. Caracterização estrutural da raiz de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação, a saber: 6 (A-B), 3 (C-D) e 0 (E-F) mês.

A, C e E: Raiz em vista geral.

B, D e F: Detalhe da raiz.

Legendas: protoxilema, px; metaxilema, mx; floema, fl; endoderme, em; aerênquima, Ae; periciclo, pr; epiderme, Ep. Barras = 200 µm.

3.4 Anatomia da raiz em casa de vegetação

Em casa de vegetação as raízes possuem epiderme unisseriada, exoderme pluriestratificada, parênquima cortical e xilema poliarco, apresentando similaridade estrutural com as raízes dos indivíduos em campo anatômicas (Fig. 7A-F). Entretanto, visualmente nota-

se que houve redução na proporção de aerênquima no córtex de raízes de indivíduos (cultivados em casa de vegetação) provenientes da parcela com maior período de alagamento (Fig. 7A-B), quando comparada com as raízes de indivíduos coletados em zona ripária. Em raízes da espécie da parcela C4.1 (Tabela A) a redução de aerênquima foi tão drástica, a ponto de não ter sido formado este parênquima (Fig. 7C-D).

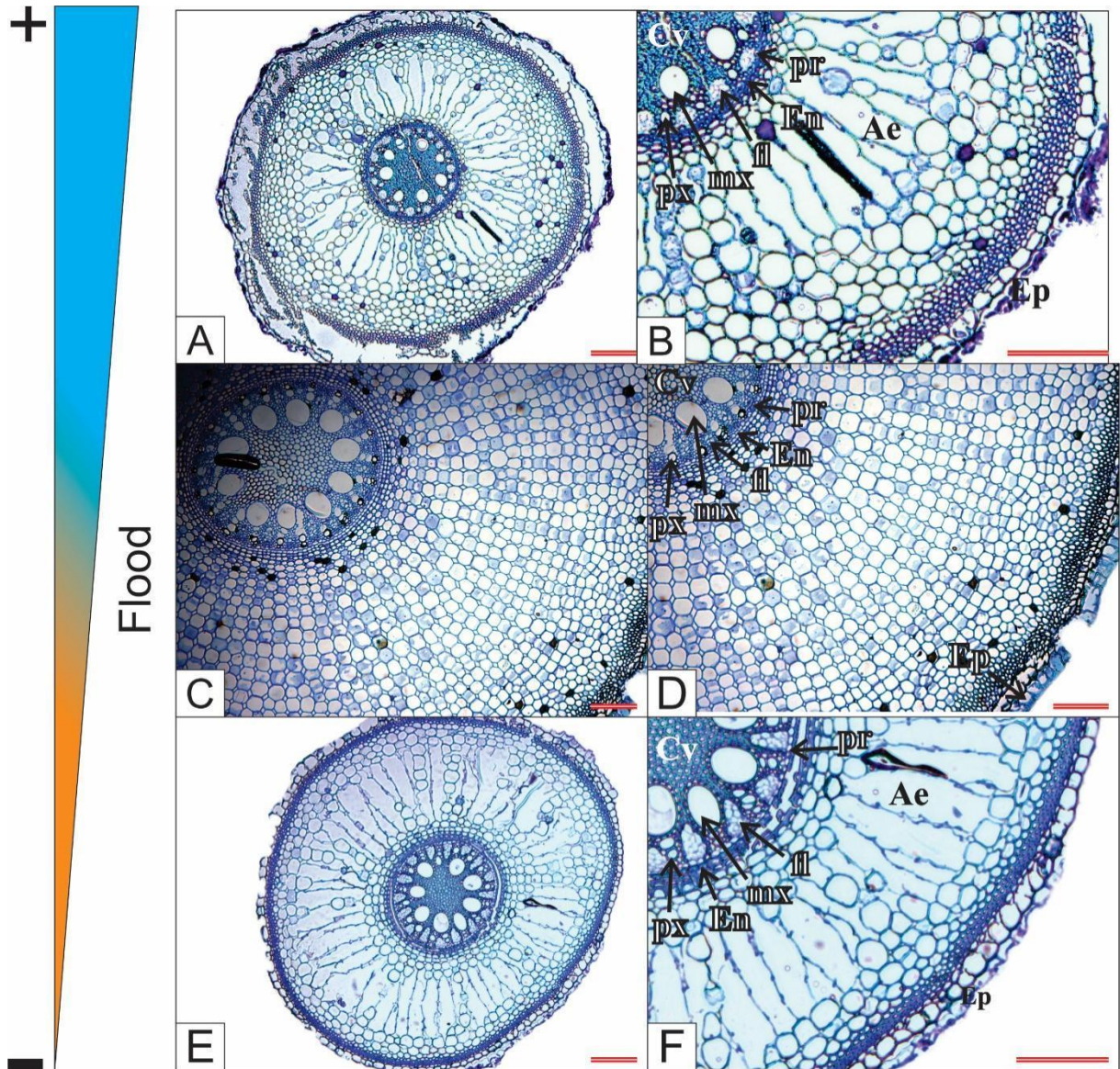


Fig. 7. Caracterização estrutural da raiz de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) cultivada em casa de vegetação considerando o gradiente e períodos de inundação, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.

A e E: Raiz em vista geral.

B-D e F: Detalhe da raiz.

Legendas: protoxilema, px; metaxilema, mx; floema, fl; endoderme, em; aerênquima, Ae; periciclo, pr; epiderme, Ep. Barras = 200 µm.

3.5 Anatomia do rizoma da espécie em campo

O rizoma da espécie em campo possui epiderme unisseriada com células de formato arredondado (Fig. 8A, C e E). A região cortical é composta por células parenquimáticas arredondadas e feixes vasculares distribuídos aleatoriamente ao longo do córtex, sendo que os feixes presentes na região mais interna da raiz (em direção ao estelo) apresentam aparentemente maior calibre quando comparados aos próximos do tecido de revestimento (Fig. 8A, C e E).

A endoderme é composta por uma camada de células com paredes espessas e o periciclo formado por uma ou mais camadas de célula que delimitam os tecidos vasculares. No estelo a região medular é preenchida por células parenquimáticas e os feixes vasculares são bem desenvolvidos, apresentando floema, protoxilema e metaxilema bem distintos (Fig. 9C).

3.6 Anatomia do rizoma da espécie em casa de vegetação

Ao ser cultivado em casa de vegetação, o rizoma apresentou estrutura semelhante à dos indivíduos em campo (Fig. 8A-F). O rizoma possui epiderme unisseriada (Fig. 8B e F),

feixes vasculares de diferentes calibres distribuídos aleatoriamente ao longo do parênquima cortical (Fig. 8B, D e F).

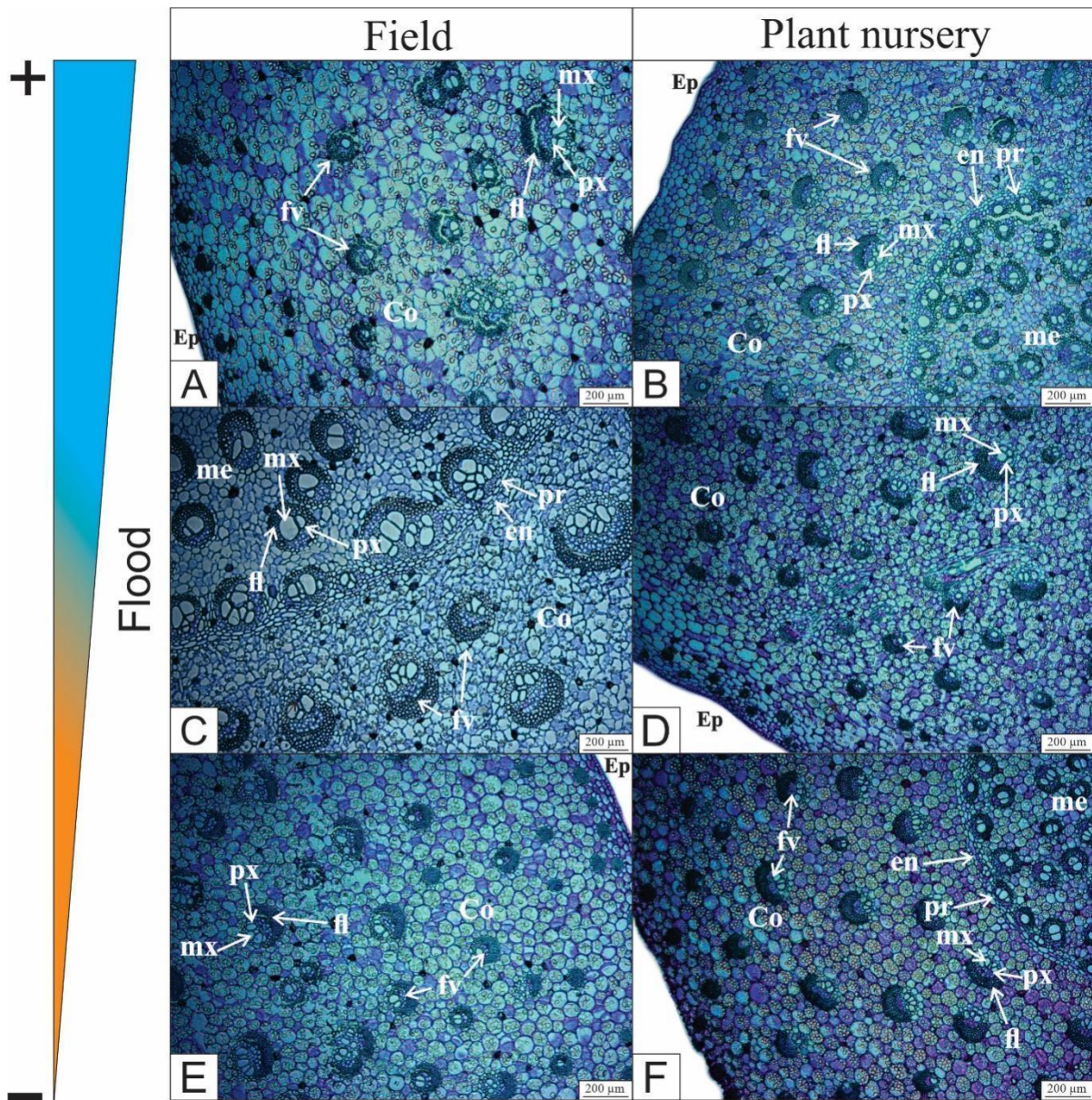


Fig. 8. Caracterização estrutural do rizoma de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) dos indivíduos de campo (A, C e E) e cultivados em casa de vegetação (B, D e F). A-F: Detalhe do sistema de revestimento, córtex, cilindro vascular e medula.

Legendas: protoxilema, px; metaxilema, mx; floema, fl; endoderme, en; periciclo, pr; medula, me; córtex, Co; feixe vascular, fv; epiderme, Ep.

3.7 Histoquímica dos órgãos vegetativos em campo e em casa de vegetação

Em campo, na lâmina foliar das plantas dos trechos médio e alto (parcelas menos inundadas) foi observada concentração de amido nos parênquimas paliádico e lacunoso (Fig. C3, 5), ao contrário do observado para o trecho baixo (parcelas mais inundadas) (Fig. C1). Em relação aos indivíduos cultivados em casa de vegetação, foi observada concentração de amido

no mesofilo das folhas provenientes de plantas que representam todo o gradiente hidrográfico (Fig. C2, 4, 6).

O rizoma apresentou amido tanto na região do córtex quanto no estelo nas plantas ao longo de todo o gradiente de inundação, assim como para os indivíduos cultivados em casa de vegetação (Fig. D1-6). Aparentemente observa-se um aumento visual na quantidade de grãos de amido em rizomas das plantas com supressão do alagamento (Fig. D5, 6).

Em indivíduos de campo foi observado pouca quantidade de compostos fenólicos nas folhas, raízes e rizomas, independentemente da condição de alagamento (Fig. E1-3). Em indivíduos cultivados em casa de vegetação a quantidade de compostos fenólicos produzida nos órgãos vegetativos foi visualmente similar àquela encontrada em plantas do campo.

3.8 Densidade estomática

Os resultados de densidade estomática (DE) indicaram que há diferença nas faces abaxial e adaxial da folha de indivíduos nas parcelas ao longo do gradiente de inundação (Fig. F1 e 2). Indivíduos presentes em áreas com as maiores colunas de água apresentaram DE na face abaxial ($F = 72,96$; $p < 0,05$) da folha maior do que indivíduos em áreas menos alagadas (menores colunas d'água) (Fig. F1). Esse mesmo padrão de diferença de DE na face abaxial ($F = 66,47$; $p < 0,05$) ocorreu para as plantas cultivadas em casa de vegetação (Fig. F3).

Uma análise de regressão não linear foi utilizada para explicar a variação da DEab ($R^2 = 0,38$; $p < 0,05$) ao longo do gradiente de inundação e mostrou que este parâmetro cresce de forma exponencial de acordo com o aumento da coluna d'água (Fig. 9A). Na casa de vegetação a análise de regressão ($R^2 = 0,64$; $p < 0,05$) indicou que a DEab ocorre como em campo (Fig. 9B).

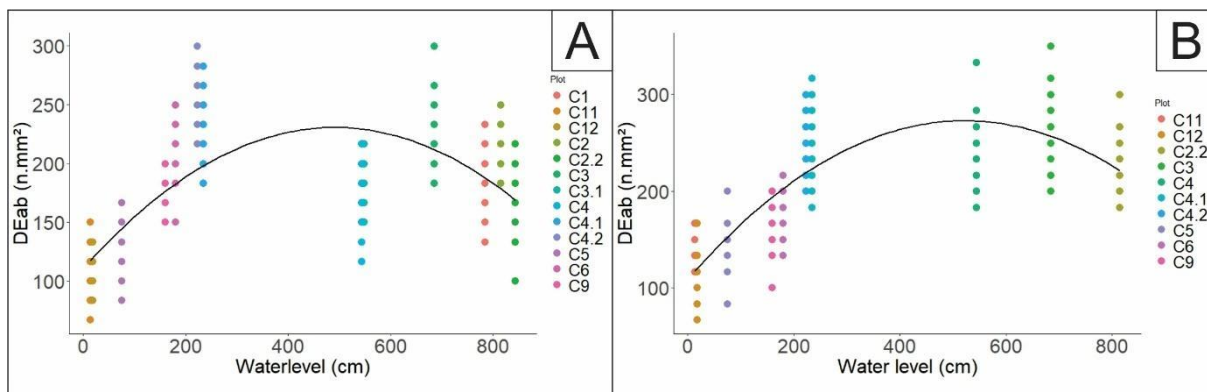


Fig. 9. Gráfico de regressão dos atributos funcionais hidráulicos da folha de *Ischnosiphon puberulus* em função da coluna d'água em plantas coletadas em campo (A) e casa de vegetação (B).

A: Regressão da densidade estomática, em estômatos/mm², face abaxial da folha.

B: Regressão da densidade estomática, em estômatos/mm², face abaxial da folha.

Legendas: densidade estomática face abaxial, DEab.

Em relação a face adaxial da folha, apesar de apresentar diferença na DE no campo ($F = 9,24$; $p < 0,05$) e na casa de vegetação ($F = 22,64$; $p < 0,05$), não teve o mesmo padrão da face abaxial (Fig. F3-4), indicando que o efeito do alagamento sob a DE é maior na face abaxial das folhas.

3.9 Traços funcionais da folha

Na Ead houve diferença significativa ($F = 15,41$; $p < 0,05$) ao longo do gradiente de inundação, sendo este parâmetro maior em plantas das parcelas do trecho alto (menor coluna de água) em relação àquelas do trecho baixo (Fig. G2). Este mesmo padrão de diferença ocorreu na Ead ($F = 28,11$; $p < 0,05$) nas plantas cultivadas em casa de vegetação (Fig. G4). Em relação à Eab do campo, observou-se também diferença estatística ($F = 5,94$; $p < 0,05$) ao longo do gradiente de inundação, sem relação com o nível da coluna d'água (Fig. G1). Quando cultivados em casa de vegetação (Fig. G3), os indivíduos apresentaram diferença na Eab ($F = 9,56$; $p < 0,05$), com espessuras maiores para aqueles indivíduos retirados de parcelas com menores coluna d'água e espessura maiores para os indivíduos retirados de parcelas com condições extremas de alagamento ($R^2 = 0,44$; $p < 0,05$) (Fig. 10C).

Observamos, através da análise de regressão não linear, que condições mais severas de inundação estão relacionadas com o aumento (ou diminuição) da Ead tanto no campo ($R^2 = 0,46$; $p < 0,05$) (Fig. 10A) quanto na casa de vegetação ($R^2 = 0,59$; $p < 0,05$) (Fig. 10B).

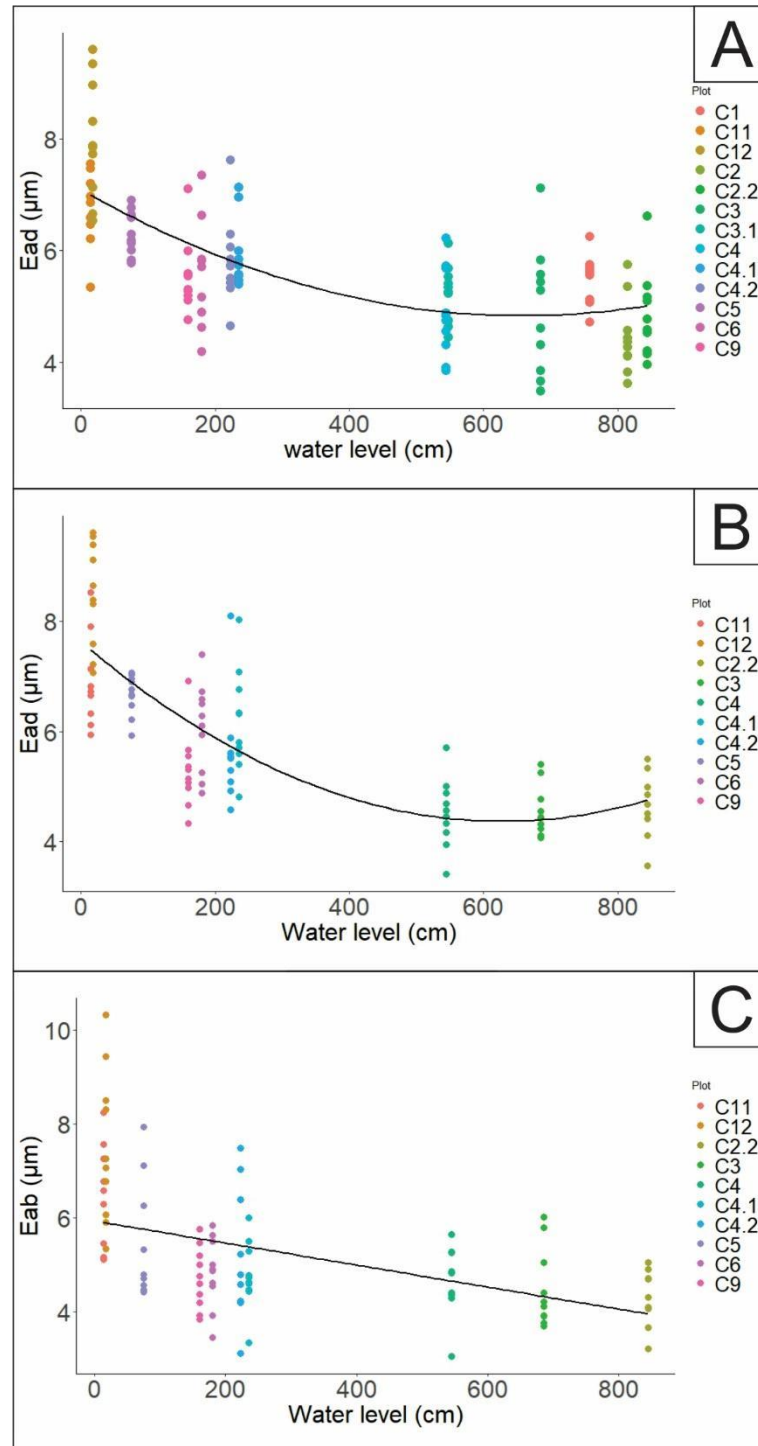


Fig. 10. Atributos funcionais anatômicos da folha de *Ischnosiphon puberulus* em função da coluna d'água em plantas coletadas em campo (A) e casa de vegetação (B e C).

A: Regressão da espessura da epiderme face adaxial da folha, em μm , coletada em campo.

B: Regressão da espessura da epiderme, face adaxial da folha, em μm , coletada em casa de vegetação.

C: Regressão da espessura da epiderme, face abaxial da folha, em μm , coletada em casa de vegetação.

Legendas: espessura da epiderme face adaxial, Ead; espessura da epiderme face abaxial, Eab.

Os demais traços funcionais da folha (ET, EHa, EHb, EPp, EPl) apresentaram diferenças significativas, porém, não tiveram relação com a disponibilidade de água.

3.10 Traços funcionais da raiz

A mensuração dos atributos funcionais da raiz em campo indicou diferenças nas médias da espessura do aerênquima ($F = 103,01$; $p < 0,05$), epiderme ($F = 24,98$; $p < 0,05$), razão aerênquima/córtex (RAC) ($F = 84,64$; $p < 0,05$) e razão córtex/estelo (RCE) ($F = 101,2$; $p < 0,05$) entre as parcelas e ao longo do gradiente de inundação (Fig. H1-2 e Fig. I1-2). Em casa de vegetação os atributos funcionais da raiz também foram diferentes nas médias da espessura do aerênquima ($F = 257,8$; $p < 0,05$), epiderme ($F = 126,9$; $p < 0,05$), razão aerênquima/córtex (RAC) ($F = 218,1$; $p < 0,05$) e razão córtex/estelo (RCE) ($F = 51,45$; $p < 0,05$) entre as parcelas e ao longo do gradiente de inundação (Fig. H3-4 e Fig. I3-4).

As raízes de *I. puberulus* nas parcelas em campo que ficaram expostas a períodos curtos de alagamento e menor coluna d'água no leito da parcela, desenvolveram menores aerênquimas e razão aerênquima/córtex, respectivamente (Fig. H2 e Fig. I1). Os indivíduos desenvolveram menores espessuras epidérmicas, quando submetidos às inundações mais intensas (Fig. H1). Raízes expostas à maior coluna d'água (844 cm) possuem maior razão córtex/estelo (Fig. I2). A razão córtex/estelo (RCE) foi significativamente diferente entre as parcelas ao longo do gradiente de inundação (Fig. I). Em sua maioria, as parcelas mais inundadas (C1, C2, C4.2 e C4.1) tiveram indivíduos com RCE maior do que os indivíduos das demais parcelas do gradiente. Porém, RCE foi baixo em algumas parcelas menos inundadas (C2.2, C4).

Quando cultivados em casa de vegetação, esse padrão não ocorreu. As plantas de parcelas submetidas a inundações mais intensas passaram a desenvolver menores espessuras de aerênquima e RAC (Fig. I3). Já os indivíduos de algumas parcelas periodicamente mais inundadas, desenvolveram epiderme maiores do que os indivíduos de parcelas periodicamente menos inundadas (Fig. H3). O RCE das plantas de casa de vegetação manteve padrão parecido com o das plantas em campo (Fig. I4).

A coluna d'água superficial foi utilizada como variável explicativa na análise de regressão linear para analisar as respostas dos atributos funcionais em relação à disponibilidade de água ao longo do gradiente de inundação. A regressão indicou R^2 de 0,43 ($p < 0,05$) e 0,36 ($p < 0,05$) de explicação da coluna d'água para razão aerênquima/córtex (Fig. 11B) e espessura epidérmica (Fig. 11A) respectivamente. Em casa de vegetação, as variações desses atributos funcionais não foram explicadas pela inundação.

A análise de regressão apontou para uma relação negativa ($R^2 = 0,13$; $p < 0,05$) entre RCE e o ES, ou seja, quanto menor a RCE, maior a área do estelo (Fig. 11C). Em plantas

cultivadas, essa relação foi positiva ($R^2 = 0,24$; $p < 0,05$), indicando indivíduos com estelo maior para RCE maior (Fig. 11D).

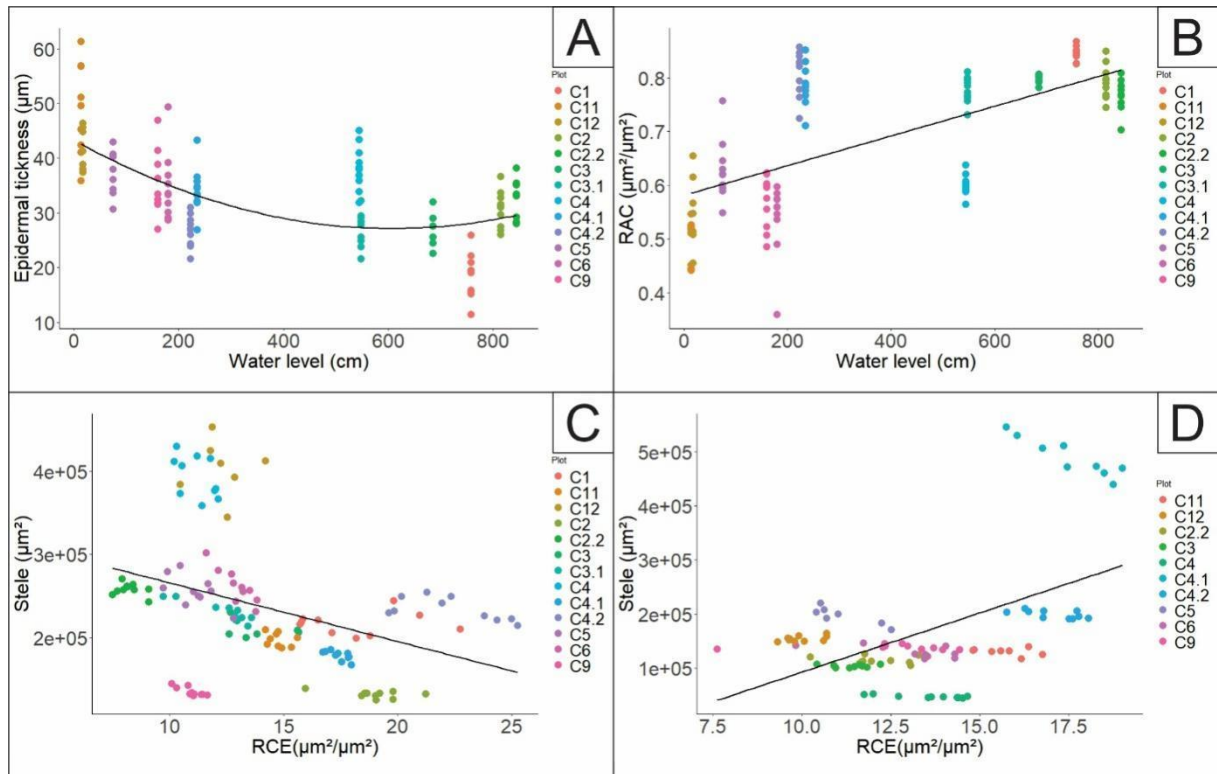


Fig. 11. Atributos funcionais da raiz de *Ischnosiphon puberulus* em função da coluna d'água e razão córtex/estelo. A: Regressões da epiderme, em μm , de campo. B: Regressão da razão aerênquima/córtex, em $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$, de campo. C: Regressão do estelo, em μm^2 , em função da razão córtex/estelo, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$, de campo. D: Regressão do estelo, em μm^2 , em função da razão córtex/estelo, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$, de casa de vegetação. Legendas: razão aerênquima/córtex, RAC; razão córtex/estelo, RCE.

3.11 Análise por componentes principais para os traços funcionais mais significantes

Para uma melhor interpretação dos dados na Análise de Componentes Principais (PCA) foi feito uma classificação subjetiva de observação de campo para separar o gradiente em trechos de acordo com o nível da coluna d'água superficial. Os trechos foram divididos em alto, médio e baixo, indicando os menores, intermediários e maiores períodos de inundação, respectivamente.

Na PCA observamos que os dois principais eixos correspondem a 83,6% da variação total dos dados, sendo os eixos 1 e 2 representando 64,6% e 19%, respectivamente (Fig. 12) indicando a existência de padrões de aproximação entre as parcelas ao longo do gradiente de inundação (Fig. 12). Os traços funcionais RAC e DEab foram os que tiveram maior correlação com as parcelas do trecho baixo. Essa parte do gradiente é a que influencia nos atributos

funcionais de *I. puberulus*. No trecho alto, a EPIraiz foi o atributo funcional que teve maior relação (Fig. 12).

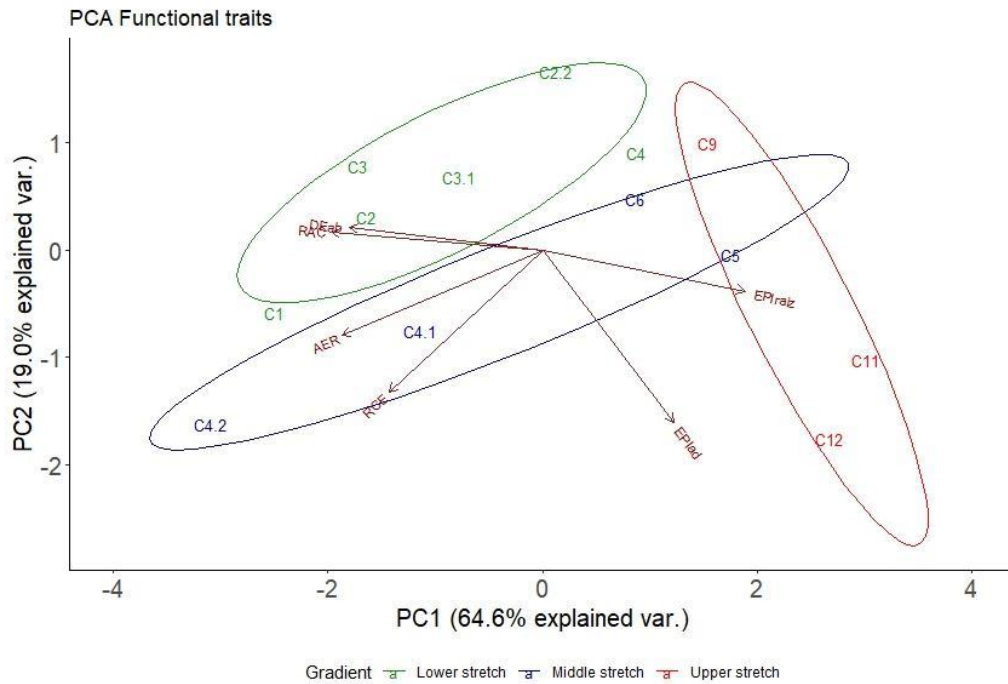


Fig. 12. Análise por componentes principais dos principais atributos funcionais da raiz e folha de *Ischnosiphon puberulus* nas parcelas ao longo do gradiente de inundação.

Legendas: razão córtex/estelo, RCE; razão aerênquima/córtex, RAC; aerênquima, ERA; espessura da face adaxial da folha, EPIad; espessura da epiderme da raiz, EPIraiz; densidade estomática da face abaxial da folha, DEab.

4 DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram que a espécie *I. puberulus* possui traços funcionais anatômicos que possivelmente auxiliam sua distribuição em ambientes com diferentes disponibilidades de água. Inclusive, algumas características anatômicas são bastante fixadas nas populações, independentemente de sua localização no gradiente de inundação.

Na raiz, a formação do aerênquima e a proporção deste tecido no córtex foram as principais características anatômicas relacionadas ao gradiente de inundação. *I. puberulus* pode ser considerada uma espécie tolerante à inundação, uma vez que em condições campo sob diferentes períodos de alagamento foi observado nas raízes o desenvolvimento de aerênquima, marcador estrutural de tolerância à inundação (Coan, 2002; Wan & Yamauchi, 2006; Mustroph, 2018; Mano & Nakazono, 2021). Com a supressão do alagamento em plantas cultivadas em casa de vegetação, este atributo mostrou-se ser plástico, uma vez que houve redução na formação de aerênquima nas raízes. Os resultados aqui encontrados indicaram correlação positiva entre a tolerância à inundação e a proporção de aerênquima. O aerênquima quando

presente em órgãos vegetativos supre a planta de oxigênio sob condições de hipoxia (Coan et al., 2002; Suralta & Yamauchi, 2008; Mano & Nakazono, 2021), conferindo melhoria na tolerância da planta ao alagamento (Yamauchi et al., 2013; Takahashi et al., 2014; Yamauchi et al., 2017), bem como maior capacidade de sobrevivência neste ambiente (Voeselek et al., 2006).

A variação de diâmetros das raízes da espécie em cada parcela estudada resultou em espessuras de aerênquima desproporcionais para efeito de comparação. Dessa forma, a Razão Aerênquima Córtex (RAC) respondeu melhor ao efeito da inundação por levar em consideração a proporção de aerênquima em relação ao córtex.

Mesmo em parcelas com baixos períodos de alagamento em campo e naquelas cultivadas em casa de vegetação, os indivíduos desenvolveram aerênquima em suas raízes, ainda que não de forma predominante no córtex (Figs. 6E-F e 7E-F). Assim, ao longo do gradiente de inundação, ficar exposta a áreas com pouca intensidade de alagamento, foi suficiente para que ocorresse a formação de aerênquima no córtex das raízes, sendo que essa formação foi intensificada com o aumento do período de alagamento.

Em casa de vegetação, os indivíduos retirados das parcelas mais inundadas não apresentaram parênquima aerífero com o mesmo padrão das plantas de campo (Fig. H2, 4), sendo um forte indicativo de que a distribuição da espécie ao longo do gradiente hídrico é condicionada a proporções maiores de aerênquima quando está sob condições mais severas de inundação. Este padrão é indicativo de que este ambiente seleciona a plasticidade desta condição.

Indivíduos em parcelas com maior inundação, tiveram Razão Córtex/Estelo (RCE) maior. O significado adaptativo de maior RCE ao alagamento do solo pode consistir em dois aspectos principais: 1) evitar a ocorrência de anoxia no estelo e 2) fornecer mais espaço para a morte de células corticais quando formado parênquima lisígeno ou esquizolisígeno (ou seja, formação de aerênquima) (Yamahuchi et al., 2021), e para o desenvolvimento de aerênquima esquizógeno. Alto valor de RCE está relacionado ao estelo menor e maior proporção de córtex, sendo um atributo de adaptação à alta da inundação do solo (Yamahuchi et al., 2020). A RAC e a RCE são maiores quando a espécie está sob condições de alagamento e hipoxia e esses valores são reduzidos quando há supressão do alagamento conforme observado no presente estudo para a espécie em campo e cultivada em casa de vegetação. A RCE de indivíduos em campo foi oposta aos indivíduos de casa de vegetação (Fig. 11C, D), o que define a importância adaptativa deste atributo de acordo com a intensidade do alagamento. Este resultado confirma

a observação que raízes de algumas plantas podem alterar seu RCE e RAC em resposta às inundações, mesmo que os níveis de resposta possam ser diferentes entre os genótipos (Yamahuchi et al., 2021).

Na folha as principais alterações anatômicas em campo e casa de vegetação foram na Espessura da epiderme adaxial (Ead) (Fig. G1-2), Espessura da epiderme abaxial (Eab) (Fig. G3-4) e Densidade Estomática abaxial (DEab) (Fig. F3-4). A DEab foi maior nas plantas das parcelas mais alagadas e maior que a Densidade Estomática adaxial (DEad) (Fig. F1-4). Outros trabalhos com diferentes espécies vegetais e intensidades de alagamento indicaram acréscimo significativo na densidade estomática quando a inundação do solo é aumentada (Ye et al., 2004; Yin et al., 2012). Sob forte irradiação a densidade estomática elevada pode ajudar na resistência à difusão de CO₂ pelo mesofilo, bem como na melhoria da capacidade de regulação da transpiração foliar (Bosabalidis & Kofdis, 2002). Como a planta sobrevive ao longo de todo o gradiente de inundação na zona ripária, ela não deve experimentar condições de secas severas, o que pode explicar a Ead ser maior do que a Eab, conferindo maior suporte e proteção contra irradiação, economia de água e regulação da fotossíntese principalmente pela face abaxial da folha.

A presença de células epidérmicas papilosas na face abaxial da folha nos indivíduos em condições menos severas de inundação em campo (Fig. 4F) e também no tecido de revestimento das plantas que foram cultivadas em casa de vegetação (Fig 5F) demonstra ser um mecanismo plástico adaptativo importante para auxiliar na fotossíntese, com a função de direcionar os raios luminosos para dentro do mesofilo (Uphof, 1962). Trata-se de uma estratégia adaptativa para ambientes xéricos em folhas com restrição temporária de água.

Características anatômicas quantitativas relativas ao parênquima paliçádico, parênquima lacunoso e a hipoderme adaxial e abaxial, apesar de significativamente diferentes, não apresentaram correlação com a intensidade de alagamento. Porém, foi possível observar que os indivíduos de parcelas com menores intensidades de alagamento (campo e casa de vegetação) investem principalmente no aumento dos espaços intercelulares nas folhas (Figs. 4F e 5F), e conseqüentemente na eficiência fotossintética ao facilitar a difusão de CO₂ entre as células (Yin et al., 2012). Em termos gerais, folhas de plantas em ambientes com elevada disponibilidade de água diferem anatomicamente daquelas de ambientes com restrição hídrica, onde as primeiras tendem a ter espaços intercelulares maiores do que as segundas (Tanaka et al., 2011). Um mesofilo compacto com poucos espaços intercelulares é considerado um caráter xeromórfico (Cutler et al., 2007), padrão não encontrado neste estudo. *I. puberulus* não

apresentou aerênquima na folha, tanto em campo quanto em casa de vegetação (Figs. 4 e 5), indicando que a difusão de gases na espécie se deve principalmente pelos estômatos presentes majoritariamente na face abaxial da folha.

A análise histoquímica evidenciou amido na folha e rizoma de *I. puberulus* em campo e casa de vegetação, sendo o seu acúmulo aparentemente maior na supressão de alagamento. A maior capacidade de sobrevivência de plantas em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio pode estar relacionada com o rizoma, o qual geralmente possui grande reserva de carboidratos (Steinmann & Brandle, 1984), conforme observado para *I. puberulus* no presente estudo. Em algumas famílias botânicas de Zingiberales, incluindo Marantaceae, o armazenamento de amido no córtex, estelo ou em ambos é uma característica típica da ordem (Chomicki, 2013). A redução das reservas de amido do parênquima cortical durante o alagamento pode estar relacionada à grande demanda de carboidratos necessária para o desenvolvimento das estruturas morfoanatômicas observadas, além da necessidade de manutenção do metabolismo anaeróbico (Kolb et al., 1998, Kolb et al., 2002).

Parcelas sob maiores intensidades de alagamento foram fortemente relacionadas com o aerênquima, RAC e DEab (Fig. 12). Por se tratar de um gradiente, onde em algum período do ano todas as parcelas são alagadas, mesmo que algumas sejam por curtos períodos, a formação de aerênquima mostrou ser o atributo funcional mais forte na espécie ao longo do gradiente, corroborando a hipótese inicial do estudo.

Como na zona ripária do Rio Cupari a inundação   súbita em algumas parcelas e intensas em outras, a plasticidade das características anatômicas das raízes e das folhas devem ser essenciais para as plantas se adaptarem às condi o es sazonais.

Estudos dessa natureza são importantes para compreender os possíveis comportamentos dos habitats em zonas ripárias e das espécies vegetais frente às mudanças climáticas futuras, com o aumento da ocorrência e gravidade das inunda o es (Hirabayashiet al., 2013; Jongmanet al., 2014), especialmente a intensifica o das enchentes Amazônicas (Espinoza et al., 2022). É interessante que esforços sejam feitos para integrar diversas áreas, como genética e fisiologia, para explicar melhor a contribui o dos atributos funcionais em plantas. Tal compreensão sobre os potenciais impulsionadores de características adaptativas, bem como aqueles a nível molecular e fisiológicos, de áreas inundadas compreende um passo fundamental na aplica o de abordagens baseadas em características para a ecologia de zonas  midas (Pan et al., 2019), uma vez que a tolerância a inunda o es   uma característica quantitativa complexa controlada por vários genes (Mano & Nakazono, 2021).

Nossos resultados também sugerem que a plasticidade fenotípica dos atributos funcionais anatômicos da raiz e da folha, e dos atributos funcionais hidráulicos dos estômatos, sejam os principais fatores determinantes da distribuição e estabelecimento de *I. puberulus* ao longo do gradiente de inundação, sendo a raiz o órgão vegetativo mais plástico e o aerênquima o marcador estrutural de intensidade ao alagamento. Portanto, foi possível identificar os principais traços funcionais de *I. puberulus* necessários na adaptação ao alagamento e supressão do mesmo. Segundo nosso conhecimento, este trabalho é pioneiro no estudo de atributos funcionais morfológicos, anatômicos e hidráulicos em plantas na bacia Amazônica.

Disponibilidade de Dados

Os autores não têm permissão para compartilhar dados.

Aprovação ética

Não aplicável.

Consentimento para participar

Todos os autores concordam em participar desta publicação.

Declaração de contribuição do autor de crédito

Kleyton Kleber dos Santos Corrêa: Metodologia, Análise formal, Visualização, Redação - Rascunho Original, Redação - Revisão e Edição. Amanda Frederico Mortati: Conceituação, Investigação, Curadoria de Dados, Redação - Rascunho Original. Thiago André: Conceituação, Investigação, Curadoria de Dados, Redação - Revisão e Edição. Maria Teresa Fernandez Piedade: Conceituação, Investigação, Redação - Revisão e Edição, Aquisição de Financiamento e Recursos, Administração do Projeto. Jochen Schöngart: |Investigação. Clarisse Palma-Silva: Investigação. Alan Cavalcanti da Cunha: Investigação, Redação - Revisão e Edição. Leidiane Leão de Oliveira: Investigação. Liana Pereira Belúcio: Investigação. Advanio Inácio Siqueira-Silva: Aquisição de Financiamento e Recursos, Administração do Projeto, Supervisão, Conceituação, Metodologia, Visualização, Redação - Rascunho Original, Redação - Revisão e Edição.

Declaração de Interesse Concorrente

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

Financiamento

Este estudo foi financiado pelo Projeto Rede Ripária, pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa) por meio do Apoio ao Desenvolvimento Acadêmico e pelo BCB/ICTA/Ufopa.

Reconhecimentos

Os autores agradecem à Rede Riparia, ao Laboratório de Botânica (LaBot - BCB/ICTA/Ufopa), ao Laboratório Multiusuário de Análise Multifuncional (Labam - BEP/ICTA/Ufopa) e ao Laboratório de Ensino de Biologia II (ICED/Ufopa).

REFERÊNCIAS

- Armstrong, J., Jones, R. E., Armstrong, W., 2006. Rhizome phyllosphere oxygenation in *Phragmites* and other species in relation to redox potential, convective gas flow, submergence and aeration pathways. *New Phytologist*. 172: 719-731. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01878.x>.
- Bosabalidis, A. M., Kofidis, A., 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*, 16:3375-379. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00135-8).
- Capon, S. J., Chambers, L. E., Nally, R. M., Naiman, R. J., Davies, P., Marshall, N., Pittock, J., Reid, M., Capon, T., Douglas, M., Catford, J., Baldwin, D.S., Stewardson, M., Roberts, J., Parsons, M., Williams, S. E. 2013. Riparian Ecosystems in the 21st Century: Hotspots for Climate Change Adaptation? *Ecosystems*. 16:359-381. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1>.
- Chomicki, G., 2013. Analysis of rhizome morphology of the Zingiberales in Payamino (Ecuador) reveals convergent evolution of two distinct architectural strategies. 160:239-254. <https://doi.org/10.1080/12538078.2013.830073>
- Coan, A. I., Scatena, V. L., Giuliatti, A. M., 2002. Anatomia de algumas espécies aquáticas de Eriocaulaceae brasileiras. *Acta Botanica Brasilica*. 16:371-384. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000400001>.
- Colmer, T. D., Flowers, T. J., 2008. Flooding tolerance in halophytes. *New Phytologist*. 179: 964–974. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02483.x>.
- Colmer, T. D., Voesenek, L. A. C. J., 2009. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*. 36:665-681. <https://doi.org/10.1071/FP09144>.
- Costa, F. R. C., 2004. Structure and composition of the ground-herb Community in a terra-firme Central Amazonian forest. *Acta Amazonica*. 23: 53-59.

- Costa, F. V. C., Espinelli, F. B., Figueiredo, F. O. G., 2008. Guia de marantáceas da Reserva Ducke e da Reserva Biológica do Uatumã: Guide to the Marantaceae of the Reserva Ducke and Reserva Biológica do Uatumã. Manaus: INPA.
- Cutler, D. F., Botha, C. E. J., Stevenson, W., 2007. Plant Anatomy—An Applied Approach. Blackwell Publishing, Oxford.
- De Paula, L. F. A., Kolb, R. M., Porembski, S., Silveira, F. A. O., Rossatto, D. R., 2019. Rocks and leaves: Can anatomical leaf traits reflect environmental heterogeneity in inselberg vegetation? *Flora*. 250: 91-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2018.11.020>.
- Drucker, D. P., Costa, F. R. C., Magnusson, W. E., 2008. How wide is the riparian zone of small streams in tropical forests? A test with terrestrial herbs. *Journal of Tropical Ecology*. 24: 65-74. <https://doi.org/10.1017/S0266467407004701>.
- Espinoza, J. C., Marengo, J. A., Schongart, J., Jimenez, J. C., 2022. The new historical flood of 2021 in the Amazon River compared to major floods of the 21st century: Atmospheric features in the context of the intensification of floods. *Weather and Climate Extremes*. 35:100406. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100406>.
- Espírito-Santo, F. D. B., Shimabukuro, Y. E., Aragão, L. E. O. C., Machado, E. L. M., 2005. Análise da composição florística e fitossociológica da floresta nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. *Acta Amazonica*. 35: 155-173. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200006>.
- González, E., Felipe-Lucia M. R., Bourgeois, B., Boz, B., Nilsson, C., Palmer, G., Sher, A.A., 2017. Integrative conservation of riparian zones. *Biological Conservation*. 211: 20-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.035>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. 2.ed. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2004. Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo. Brasília. v.1.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. 2019. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Tapajós. Brasília. v.1.
- Johansen, D. A., 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill, New York, NY.
- Junk, W.J., Piedade, M. T. F., 1997. Plant Life in the Floodplain with Special Reference to Herbaceous Plants. In: Junk WJ [ed.] *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Ecological Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp. 147-185.

- Kolb, R. M., Medri, M. E., Bianchini, E., Pimenta, J. A., Giloni, P. C., Correa, G. T., 1998. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. Brazilian Journal of Botany. 21:305-312. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041998000300010>.
- Kolb, R. M., Rawyler, A., Braendle, R., 2002. Parameters affecting the early seedling development of four neotropical trees under oxygen deprivation stress. 89:551-558. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf092>.
- Kraft, N. J. B., Adler, P. B., Godoy, O., James, E. C., Fuller, S., Levine, J. M., 2015. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. Functional Ecology. 29: 592-599. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12345>.
- Kuster, V. C., Silva, L. C., Meira, R. M. S. A., Azevedo, A. A., 2018. Structural adaptation and anatomical convergence in stems and roots of five plant species from a “Restinga” sand coastal plain. Flora. 243: 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.017>.
- Liu, C., Li, Y., Xu, L., Chen, Z., He, N., 2019. Variation in leaf morphological, stomatal, and anatomical traits and their relationships in temperate and subtropical forests. Scientific Reports. 9:5803. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42335-2>.
- Mano, Y., Nakazono, M., 2021. Genetic regulation of root traits for soil flooding tolerance in genus *Zea*. Breeding Science 71: 30–39. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.20117>.
- Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villéger, S., Mason, N. W. H., Bellwood, D. R., 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. Trends in Ecology & Evolution. 28: 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004>.
- Mustroph, A., 2018. Improving Flooding Tolerance of Crop Plants. Agronomy. 9:160. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090160>.
- Nakazono, E. M., Piedade, M. T. F., 2004. Biologia e ecologia do arumã, *Ischnosiphon polyphyllus* (Marantaceae), no arquipélago da Anavilhanas, Rio Negro, Amazônia Central. Revista Brasileira de Botânica. 27:421-428. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000300003>.
- Nicotra, A. B., Atkin, O. K., Bonser, S. P., Davidson, A. M., Finnegan, E. J., Mathesius, U., Poot, P., Purugganan, M. D., Richards, C. L., Valladares, F., van Kleunen, M., 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends in Plant Science. 15:684-692. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>.

Nunes, S., Barlow, J., Gardner, T., Sales, M., Monteiro, D., Souza Jr., C., 2019. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82: 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.051>.

O'Brien, T. P., Feder, N., McCully, M. E., 1964. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*. 59: 368-373. <https://doi.org/10.1007/BF01248568>.

Paiva, J. G. A., Frank-de-Carvalho, S. M., Magalhães, M. P., Graciano-Ribeiro, D., 2006. Verniz vitral incolor 500®: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. *Acta Botânica Brasileira*. 20: 257-264. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000200002>.

Pan, Y., Cieraad, E., Bodegom, P. M., 2019. Are Ecophysiological adaptive traits decoupled leaf economics traits in Wetlands? *Functional Ecology*. 33:1202–1210. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13329>.

Parolin, P., 2009. Submerged in darkness: adaptations to prolonged submergence by woody species of the Amazonian floodplains. *Annals of Botany*. 103:359-376. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn216>.

Paz, A. A., Ribeiro, C., Azevedo, A.A., Lima, E.R., Carmo, F. M. S., 2017. Induced flooding as environmental filter for riparian tree species. *Environmental and Experimental Botany*. 139: 31-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.017>.

Pearse, A. G. E., 1972. 'Histochemistry: theoretical and applied. Vol.2' 3^a ed. (The Williams & Wilkins Company: Baltimore).

Pinheiro, L. F. S., Kolb, R. M., Rossatto, D. R., 2018. Leaf anatomical traits of non-arboreal savanna species along a gradient of tree encroachment. 32: 28-36. <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0280>.

Pompelli, M. F., Martins, S. C. V., Antunes, W. C., Chaves, A. R. M., DaMatta, F. M., (2010) Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *Journal of Plant Physiology* 167:1052–1060. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2010.03.001>.

Programa de Pesquisa em Biodiversidade. 2015. Protocolo de Instalação de Parcelas Ripárias. Disponível em < <https://ppbio.inpa.gov.br/manuais> > Acesso em: 12 dez 2020.

R Development Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

- Riis, T., Hawes, I., 2002. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. *Aquatic Botany*. 74: 133-148. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00074-8).
- Rios-Villamizar, E. A., Piedade, M. T. F., Costa, J. G., Adeney, J. M., Junk, W. J., 2014. Chemistry of diferente Amazonian water types for river classification: a preliminary review. *WIT Transactions on Ecology and The Environmental*. 178: 17-28. <https://doi.org/10.2495/13WS0021>.
- Rodrigues, D. B., de Oliveira, M. H. V., Silva, A. C., Almeida, T. E., André, T., Mortati, A. F., 2021. Ground-herb communities of terra firme riparian forests of the lower Tapajós River in the Brazilian Amazon. *Rodriguesia*. 72. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172091>.
- Sasidharan, R., Bailey-Serres, J., Ashkari, M., Atwell, B. J., Colmer, T. D., Fagerstedt, K., Fukao, T., Geigenberger, P., Hebelstrup, K. H., Hill, R. D., Holdsworth, M. J., Ismail, A. M., Licausi, F., Mustroph, A., Nakazono, M., Pedersen, O., Perata, P., Sauter, M., Shih, M. C., Sorrell, B. K., Striker, G. G., van Dongen, J. T., Whelan, J., Xiao, S., Visser, E. J. W., Voisenek, L. A. C., 2017. Community recommendations on terminology and procedures used in flooding and low oxygen stress research. *New Phytologist*. 214:1403-1407. <https://doi.org/10.1111/nph.14519>.
- Silva-Oliveira, C., Canto, A. L. C., Ribeiro, F. R. V., 2016. Stream ichthyofauna of the Tapajós National Forest, Pará, Brazil. *Zookeys*. 580: 125-144. <https://doi.org/10.3897/zookeys.580.6659>.
- Siqueira-Silva, A. I., Pereira, E. G., Modolo, L. V., Paiva, E. A. S., 2016. Leaf structural traits of tropical woody species resistant to cement dust. *Environ Sci Pollut Res*. 23:16104–16114. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6793-z>.
- Steinmann, F., Brandle, R., 1984. Carbohydrate and protein metabolism in the rhizomes of the bulrush (*Schoenoplectus lacustris* (L) palla in relation to natural development of the whole plant. 19:53-63. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90007-X).
- Suralta, R. R., Yamauchi, A., 2008. Root growth, aerenchyma development, and oxygen transport in rice genotypes subjected to drought and waterlogging. *Environmental and Experimental Botany* 64: 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.01.004>.
- Takahashi, H., Yamauchi, T., Colmer, T. D., Nakazono, M., 2014. Aerenchyma formation in plants. In: van Dongen, J. T. and F. Licausi (eds.) *Plant Cell Monographs: Low-oxygen stress in plants*. Springer 21:247–265. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1254-0_13.

- Tanaka, K., Masumori, M., Yamanoshita, T., Tange, T., 2011. Morphological and anatomical changes of *Melaleuca cajuputi* under submergence. *Trees*. 25: 695-704. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0547-9>.
- Ventrella, M. C., Almeida, A. L., Nery, L. A., Coelho, V. P. M., 2013. Métodos histoquímicos aplicados às sementes. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- Wang, M. H., Wang, J. R., Zhang, X. W., Zhang, A. P., Sun, S., Zhao, C. M., 2019. Phenotypic plasticity of stomatal and photosynthetic features of four *Picea* species in two contrasting common gardens. *AoB Plants*. 11. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plz034>.
- Wittmann, F. Junk, WJ. 2016. The Amazon river basin. In: FINLAYSON, C. M. et al. (ed.). *The Wetland book II: distribution, description and conservation*. Heidelberg; Berlin; New York: Springer Verlag, p. 1-16.
- Yamauchi, T., Shimamura, S., Nakazono, M., Mochizuki, T., 2013. Aerenchyma formation in crop species: a review. *Field Crops Res*. 152: 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.12.008>.
- Yamauchi, T., Colmer, T. D., Pedersen, O., Nakazono, M., 2017. Regulation of Root Traits for Internal Aeration and Tolerance to Soil Waterlogging-Flooding Stress. *Plant Physiology*. 176:1118-1130. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01157>.
- Yamauchi, T., Pedersen, O., Nakazono, M., Tsutsumi, N., 2020. Key root traits of Poaceae for adaptation to soil water gradients. *New Phytologist*. 229:3133-3140. <https://doi.org/10.1111/nph.17093>
- Yamauchi, T., Noshita, K., Tsutsumi, N., 2021. Climate-smart crops: key root anatomical traits that confer flooding tolerance. *Breeding Science* 71: 51–61. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.20119>.
- Yang, C., Yang, X., Zhang, X., Zhou, C., Zhang, F., Wang, X., Wang, Q., 2019a. Anatomical structures of alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*) suggest it is well adapted to the aquatic-terrestrial zone. *Flora*. 253: 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.013>.
- Yang, C., Zhang, X., Wang, T., Hu, S., Zhou, C., Zhang, J., Wang, Q., 2019b. Phenotypic plasticity in the structure of fine adventitious *Metasequoia glyptostroboides* roots allows adaptation to aquatic and terrestrial environments. *Plants*. 8. <https://doi.org/10.3390/plants8110501>.
- Zhang, X., Yang, C., Seago Jr, J. L., 2018. Anatomical and histochemical traits of roots and stems of *Artemisia lavandulaefolia* and *A. selengensis* (Asteraceae) in the Jiangnan Floodplain, China. *Flora*. 239: 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.11.009>.

FIGURAS SUPLEMENTARES

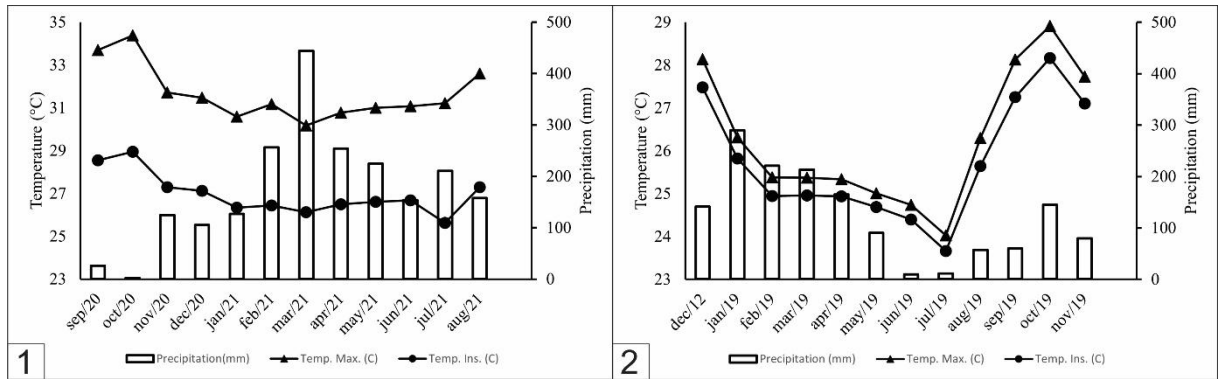


Fig. A. Precipitação e temperatura no ato da coleta e previamente (12 meses) à coleta dos órgãos vegetativos, incluindo estação seca e chuvosa e parte do período de crescimento e desenvolvimento das plantas em campo e casa de vegetação.

A. Estação climática próxima ao campo na zona ripária (Estação Placas A211).

B. Estação climática próxima à casa de vegetação (Estação Santarém A250). Dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

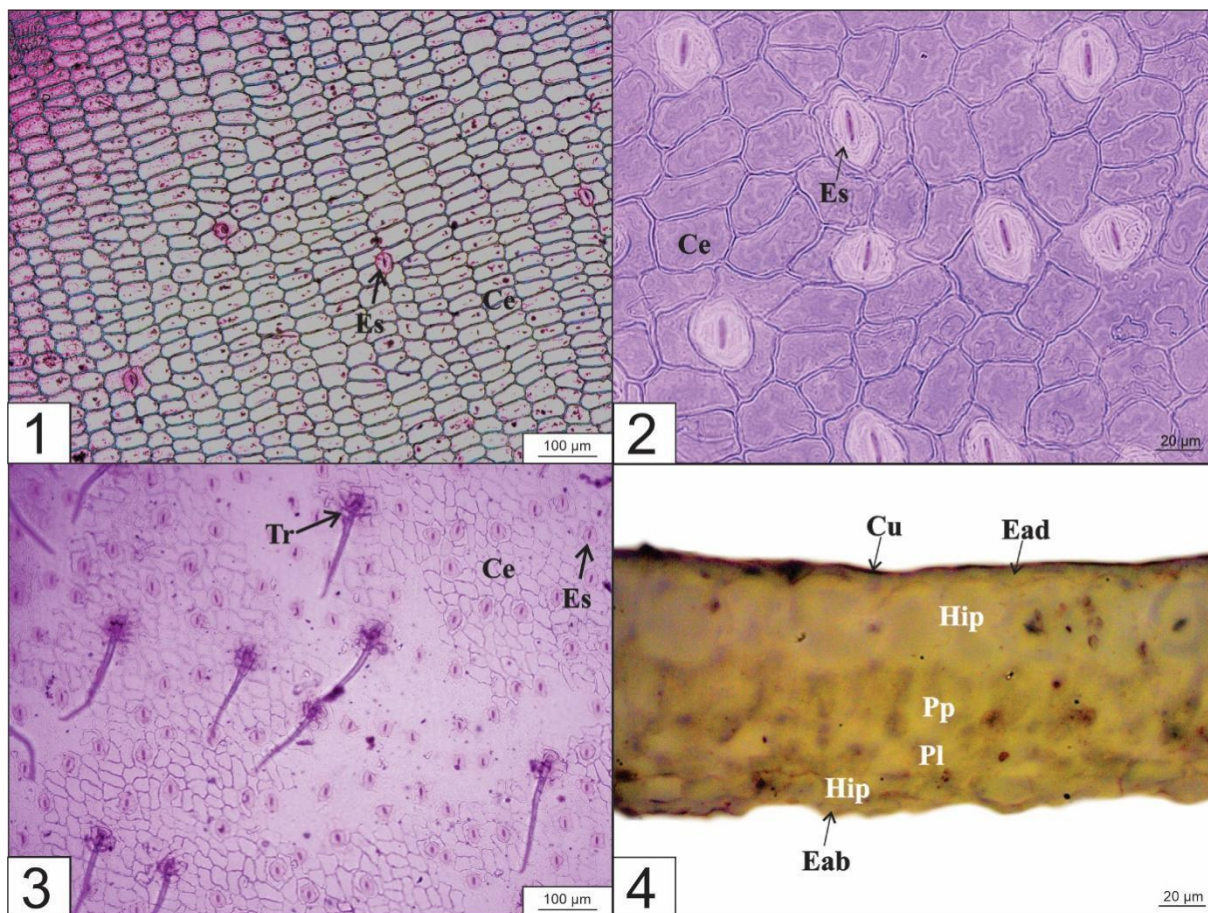


Fig. B. Caracterização estrutural da superfície foliar de *Ischnosiphon puberulus* em vista frontal e transversal. A e B: Faces adaxial e abaxial da lâmina foliar, respectivamente, evidenciando a organização das células epidérmicas e a presença de estômatos. C: Face abaxial da lâmina foliar de indivíduos com menor exposição ao alagamento evidenciando a presença de tricomas. D: Histoquímica da cutícula. Legendas: epiderme da face adaxial, Ead; epiderme da face abaxial, Eab; hipoderme, Hip; parênquima paliçádico, Pp; Parênquima lacunoso, Pl; cutícula, cu; células epidérmicas, Ce; estômatos, Es.

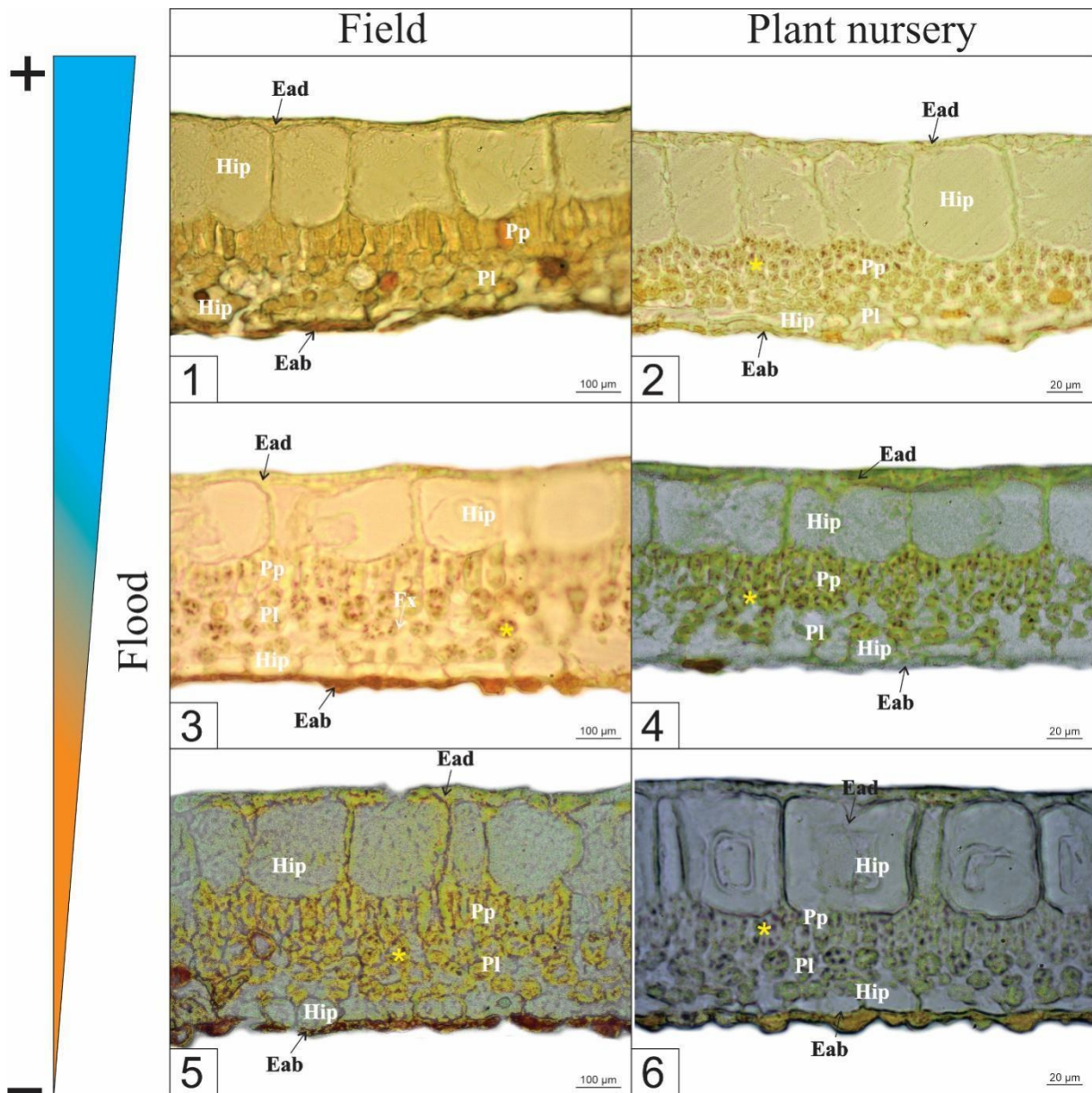


Fig. C. Histoquímica para amido na folha de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês.

A, C e E: Lâmina foliar dos indivíduos de campo contendo amido (*).

B, D e F: Lâmina foliar dos indivíduos de casa de vegetação contendo amido (*). Legendas: epiderme da face adaxial, Ead; epiderme da face abaxial, Eab; hipoderme, Hip; parênquima paliçádico, Pp; Parênquima lacunoso, Pl.

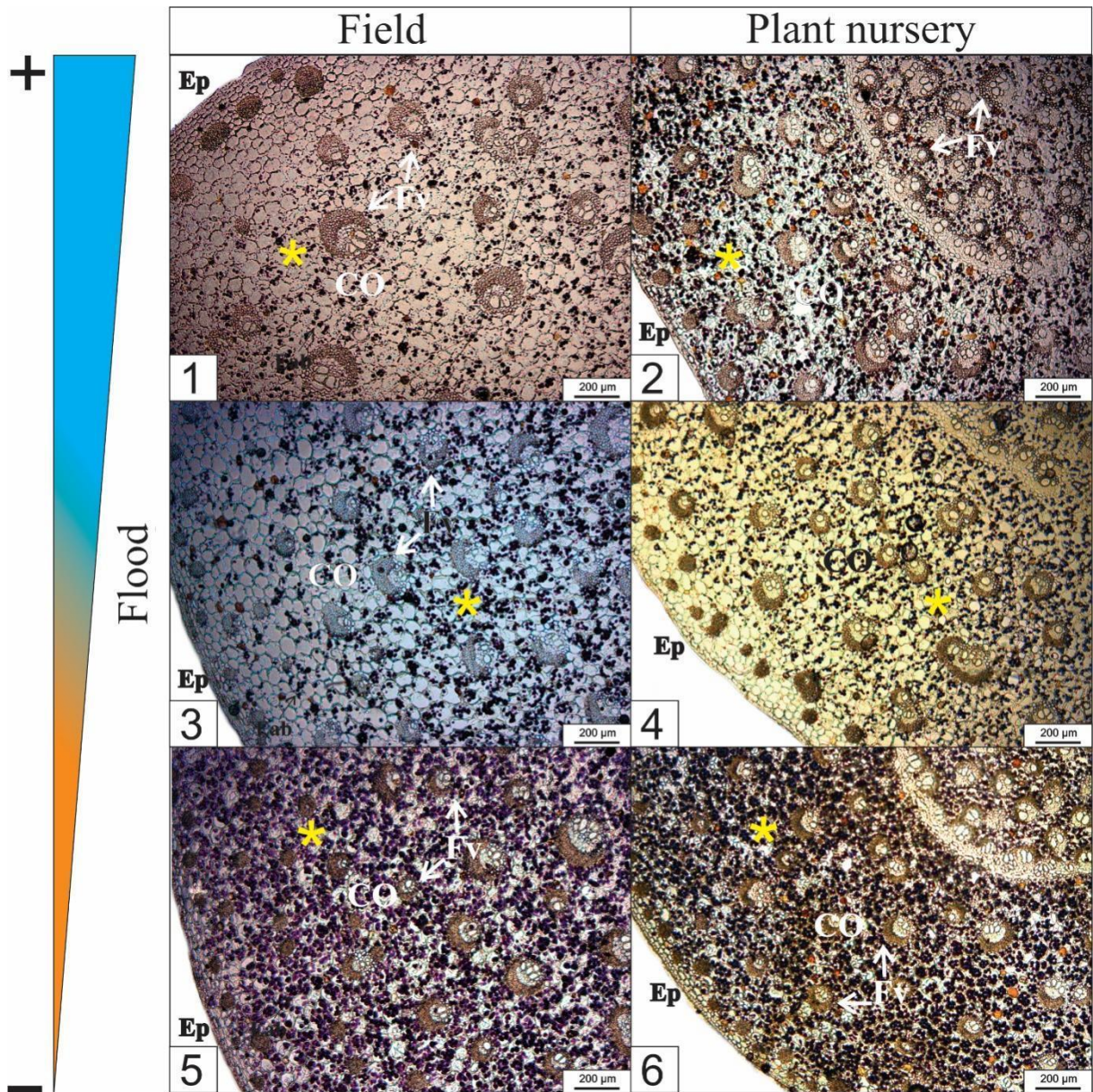


Fig. D. Histoquímica para amido no rizoma de *Ischnosiphon puberulus* (secção transversal) ao longo do gradiente e períodos de inundação, a saber: 7 (A-B), 3 (C-D) e 1 (E-F) mês. A-F: Detalhe do sistema de revestimento, cortical e cilindro vascular do rizoma dos indivíduos de campo (A, C e E) e casa de vegetação (B, D e F) contendo amido (*).

Legendas: epiderme, Ep; córtex, CO; feixe vascular, Fv.

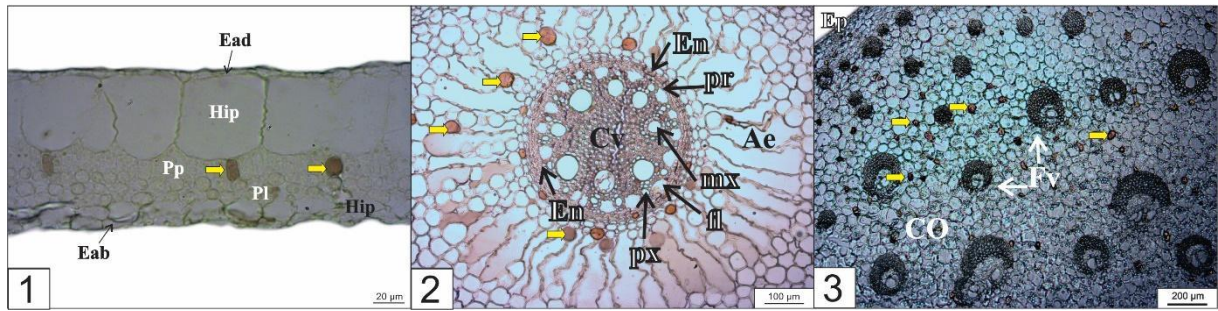


Fig. E. Histoquímica para compostos fenólicos na folha, raiz e rizoma de *Ischnosiphon puberulus* coletados em campo.

A: Lâmina foliar contendo composto fenólico (seta) no mesofilo.

B: Raiz com composto fenólico (seta) no parênquima cortical.

C: Depósito de composto fenólico (seta) no córtex do rizoma.

Legendas: epiderme da face adaxial, Ead; epiderme da face abaxial, Eab; hipoderme, Hip; parênquima paliçádico, Pp; Parênquima lacunoso, Pl.; protoxilema, px; metaxilema, mx; floema, fl; endoderme, em; aerênquima, Ae; periciclo, pr; Cilindro vascular, Cv; epiderme, Ep; Cortex; CO; Feixe vascular, Fv.

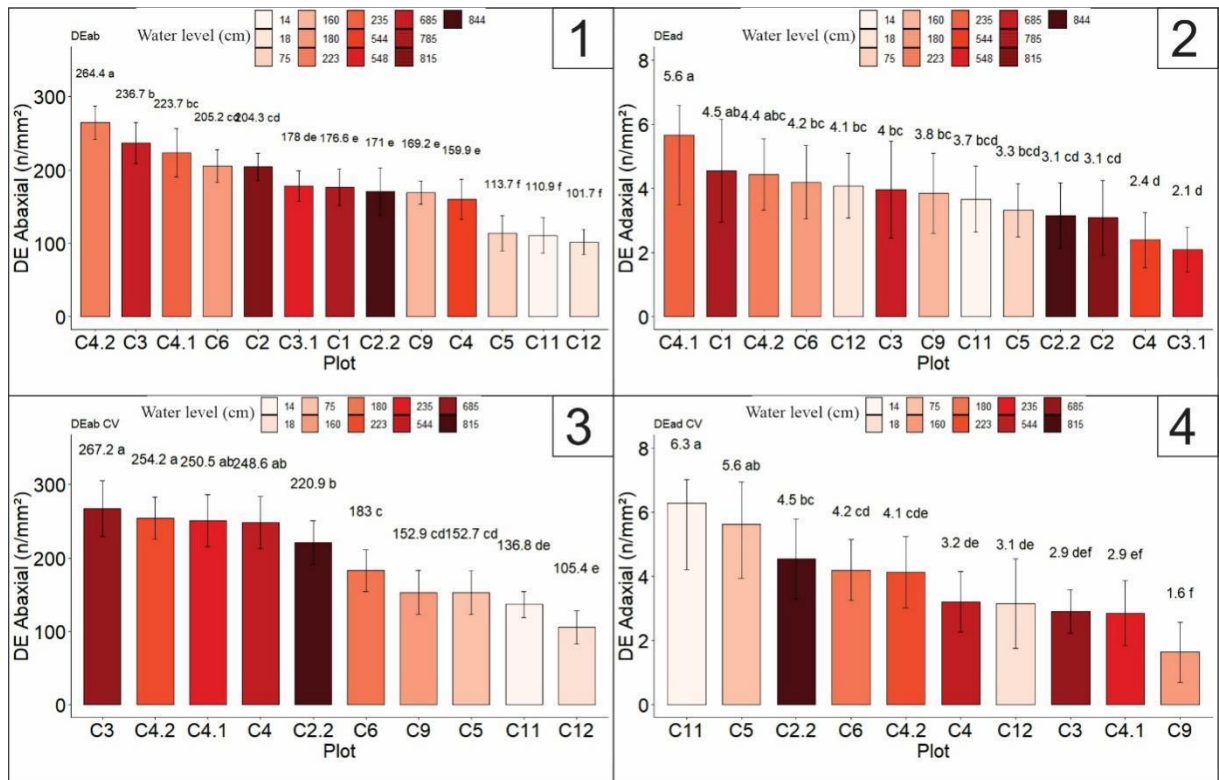


Fig. F. Atributos funcionais hidráulicos da folha de *Ischnosiphon puberulus* nas parcelas ao longo do gradiente de inundação em plantas coletadas em campo (A e B) e casa de vegetação (C e D).
 A e B: Densidade estomática (estômatos/mm²) faces abaxial e adaxial da folha, respectivamente.
 C e D: Densidade estomática (estômatos/mm²) faces abaxial e adaxial da folha, respectivamente.
 Abreviações nas figuras: densidade estomática face abaxial, DEab; densidade estomática face adaxial, DEad.

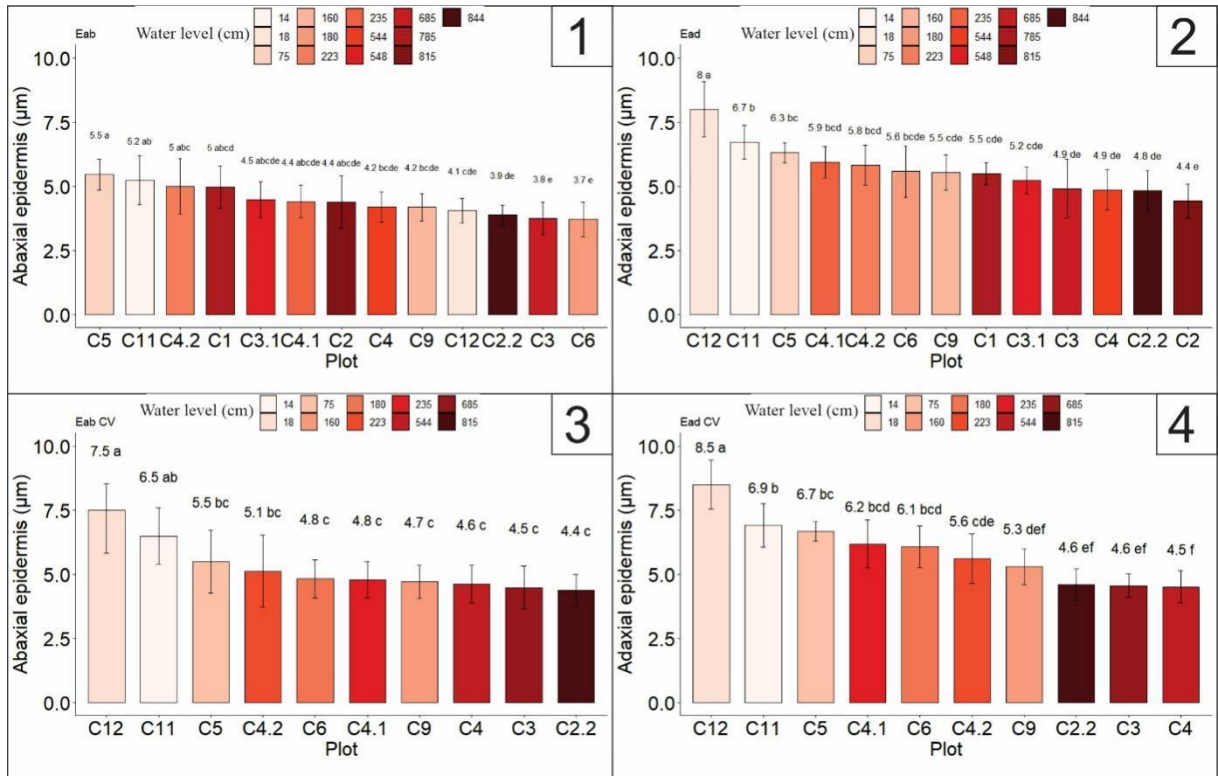


Fig. G. Atributos funcionais anatômicos da folha de *Ischnosiphon puberulus* nas parcelas ao longo do gradiente de inundação em plantas coletadas em campo (A e B) e casa de vegetação (C e D).

A e B: Espessura da epiderme, em μm , faces abaxial e adaxial da folha, respectivamente.

C e D: Espessura da epiderme, em μm , faces abaxial e adaxial da folha, respectivamente.

Legendas: espessura da epiderme face abaxial, Eab; espessura da epiderme face adaxial, Ead.

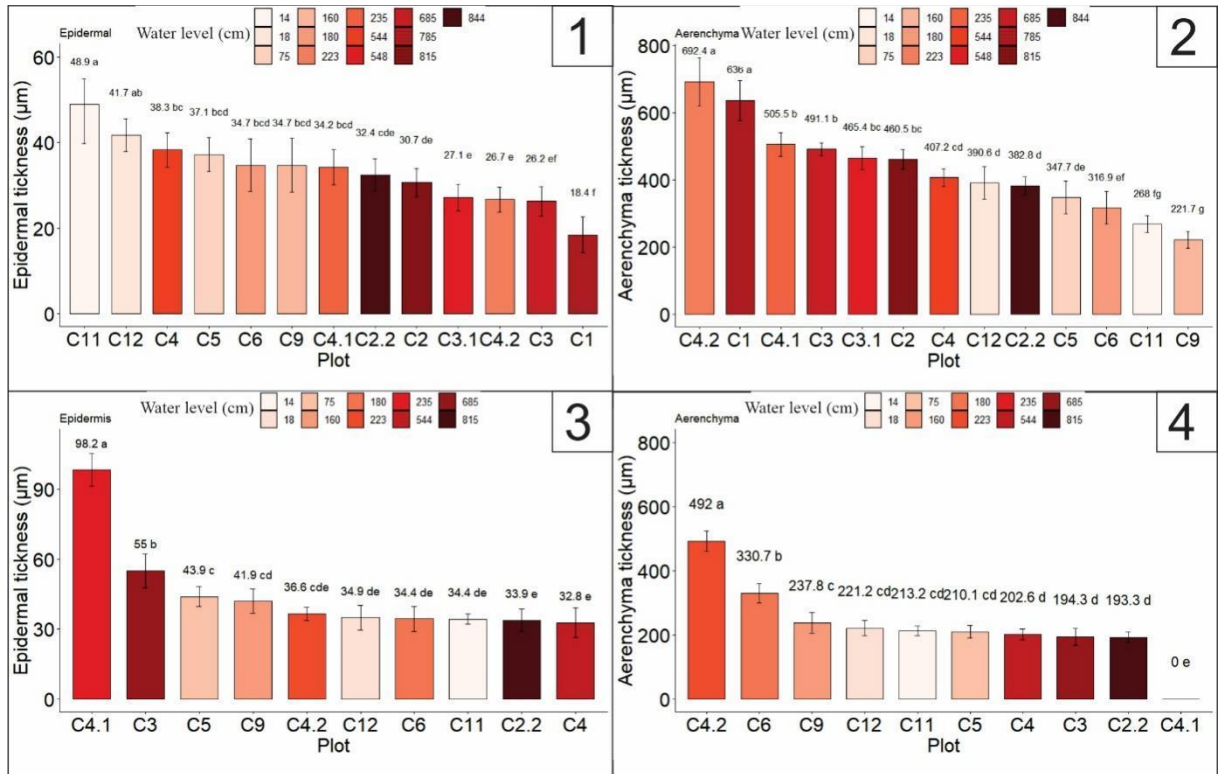


Fig. H. Atributos funcionais da raiz de *Ischnosiphon puberulus* nas parcelas ao longo do gradiente de inundação em plantas coletadas em campo (A e B) e casa de vegetação (C e D).

A e C: Epiderme, em μm , de campo e casa de vegetação, respectivamente.

B e D: Aerênquima, em μm , em campo e casa de vegetação, respectivamente.

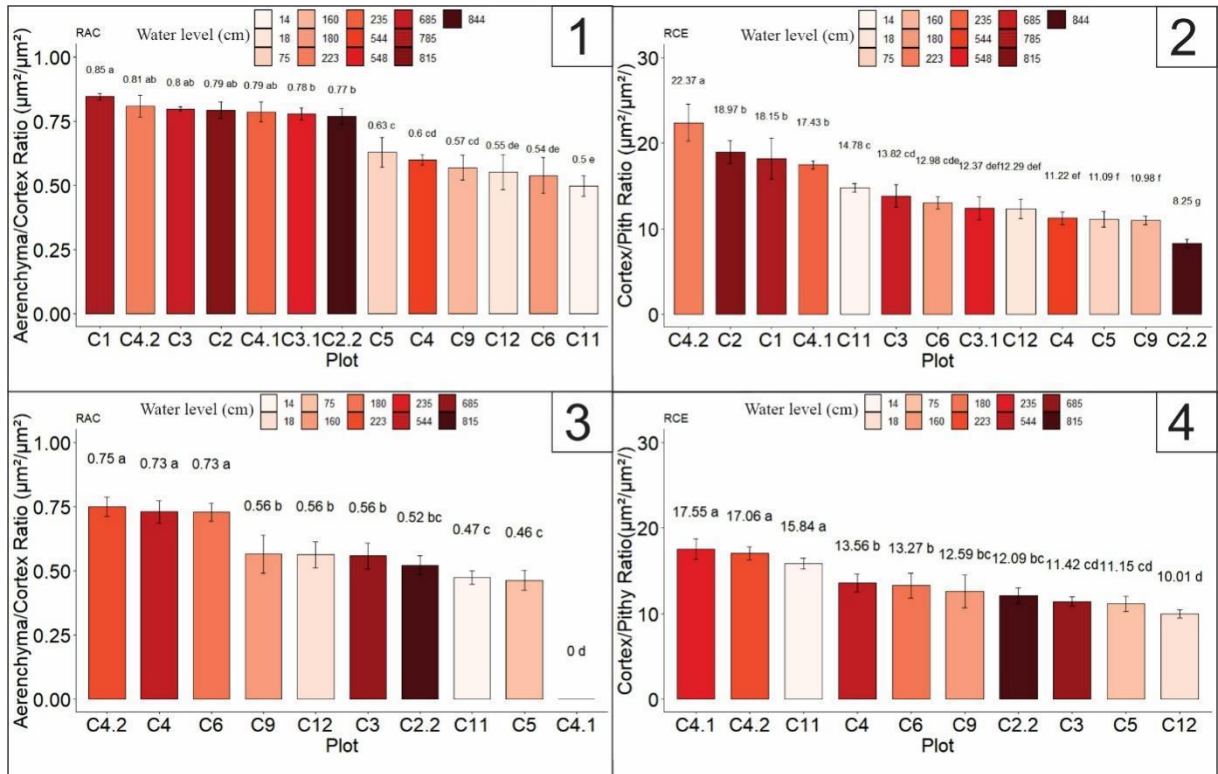


Fig. I. Gráfico de barras dos atributos funcionais da raiz de *Ischnosiphon puberulus* nas parcelas ao longo do gradiente de inundação em plantas coletadas em campo (A e B) e casa de vegetação (C e D).
 A e C: Razão aerênquima/córtex, em $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$, de campo e casa de vegetação, respectivamente.
 B e D: Razão córtex/estelo, em $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$, de campo e casa de vegetação, respectivamente.
 Legendas: razão aerênquima/córtex, RAC; razão córtex/estelo, RCE.

TABELAS SUPLEMENTARES

Table A. Parcela em campo, altura da coluna d'água, período de inundação e parcelas que tiveram indivíduos de *Ischnosiphon puberulus* cultivados em casa de vegetação.

Field plots	Water level (cm)	Flooding period (months)	Plant nursery plots
C1	785	8	-
C2	815	6	-
C2.2	844	7	C2.2
C3	685	6	C3
C3.1	548	6	-
C4	544	6	C4
C4.1	235	3	C4.1
C4.2	223	3	C4.2
C5	75	6	C5
C6	180	0	C6
C9	160	3	C9
C11	14	0	C11
C12	18	1	C12

Table B. Significado funcional dos atributos funcionais mensurados em folhas de *Ischnosiphon puberulus*. Significado funcional adaptado de Liu et al. (2019) e de Paula et al. (2019).

Attributes	Feature	Functional meaning
Epidermal thickness	Anatomical	Support and protection; water saving
Sub-epidermal layers	Anatomical	Support; water saving
Mesophyll organization, presence of stomata	Anatomical	Carbon gain; water saving
Thickness of palisade parenchyma	Anatomical	Carbon gain; protection against irradiation
Thickness of spongy parenchyma	Anatomical	Carbon gain
Presence of sclerenchyma	Anatomical	Mechanical support; defense
Aquifer cells or tissues	Anatomical	Water saving
Aeration channels	Anatomical	Aeration
Leaf thickness	Morphological	Resource procurement and protection
Stomatal density	Hydraulic	Gas exchange. Ex: CO ₂ and H ₂ O
Stomatal index	Hydraulic	Gas exchange. Ex: CO ₂ and H ₂ O

Table C. FunctionSignificado funcional dos atributos funcionais mensurados em raízes de *Ischnosiphon puberulus*. Significado funcional adaptado de Yamauchi et al. (2020).

Attributes	Feature	Functional meaning
Root thickness	Morphological	Acquisition and transport of water, nutrients and gas
Epidermal thickness	Anatomical	Support and protection; water saving
Aerenchyma proportion and thickness	Anatomical	Internal oxygen diffusion
Aerenchyma-Cortex ratio	Anatomical	Internal oxygen diffusion
Cortex-Pith ratio	Anatomical	Aerenchyma production

Comentários à coordenação do PPGBEES:

O trabalho segue as normas do PPGBEES e está bem escrito em inglês, em formato de artigo científico. As sugestões dadas durante a qualificação do discente foram, em sua maioria (as que eram possíveis), acatadas, então não tenho sugestões específicas a fazer, e deixo essa tarefa para os referees da revista em que o artigo será submetido. Desejo sucesso ao Kleyton!

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada ()

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Alice Pita Barbosa

Data: 08/11/2022

Assinatura:



Documento assinado digitalmente

ALICE PITA BARBOSA

Data: 08/11/2022 17:54:54-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Comentários à coordenação do PPGBEES:

Prezados, os comentários e sugestões propostas a dissertação INFLUÊNCIA DO GRADIENTE DE INUNDAÇÃO NA VARIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS DE *Ischnosiphon puberulus* Loes. (MARANTACEAE) EM ZONA RIPÁRIA AMAZÔNICA foram realizadas diretamente no texto submetido. Deste modo, foram apontados problemas, que podem ser solucionados pelo discente e seu orientador. Assim, meu parecer é aprovado com necessidades de correções. Se possível peço o encaminhamento imediato dessa avaliação para que discente e orientador possam trabalhar no arquivo enquanto recebem as demais avaliações.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (X)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Sheyla Regina Marques Couceiro

Data: 10.11.2022



Documento assinado digitalmente
SHEYLA REGINA MARQUES COUCEIRO
Data: 10/11/2022 12:03:59-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Assinatura:

Comentários à coordenação do PPGBEES:

Como já havia participado do exame de qualificação vi que o estudante incorporou a maioria das sugestões e trouxe os dados bem detalhados e discutidos. Por isso, proponho a **APROVAÇÃO** do estudante. Além disso, gostaria de parabenizar toda a equipe pelo excelente trabalho. Fiz pouquíssimas anotações que seguem no arquivo em anexo.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (X)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: JAQUELINE DIAS PEREIRA

Data: 22 de novembro de 2022.

Assinatura:



Documento assinado digitalmente
JAQUELINE DIAS PEREIRA
Data: 22/11/2022 10:03:14-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação em referência possui 57 páginas e encontra-se organizada em introdução geral e capítulo único (este com introdução, material e métodos, resultados, discussão, referências e material suplementar), através do qual o mestrando apresenta, com clareza e rigor acadêmico, a influência do gradiente de inundação na variação de atributos funcionais de órgãos vegetativos em *Ischnosiphon puberulus*.

No geral, o esforço despendido na dissertação do mestrando Kleyton Kleber dos Santos Corrêa é de grande relevância para entender o estabelecimento de *I. puberulus* em zona ripária amazônica, sob influência de gradientes de inundação e, provavelmente, com qualidade suficiente para se configurar como dissertação de potencial para publicação. A introdução é clara, no qual a revisão da literatura ajuda a preparar o terreno para o resto do artigo. Os métodos são completos e bem documentados. Os resultados foram apresentados de forma clara e bem documentado. A discussão mescla a pesquisa com o corpo da literatura sobre *I. puberulus*. Em todo o conteúdo a argumentação do mestrando revela experiência com traços funcionais da espécie estudada.

Os poucos ajustes que pontuei no arquivo, não são capazes de impedir a finalização positiva dessa etapa, e desta forma, sou de parecer favorável à aprovação da dissertação de mestrado de Kleyton Kleber dos Santos Corrêa, "Influência do gradiente de inundação na variação de atributos funcionais de *Ischnosiphon puberulus* Loes. (Marantaceae) em zona ripária amazônica".

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (x)**

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: José Max Barbosa de Oliveira Junior

Data: 25/11/2022

Assinatura:



Documento assinado digitalmente
JOSE MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR
Data: 25/11/2022 09:02:55-0390
Verifique em <https://verificador.j5.br>

Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação é interessante e traz aspectos relevantes ao estudo de anatomia vegetal aplicada à eventos de inundação. No entanto, necessita de uma revisão textual. Os principais pontos observados, são descritos a seguir.

Resumo:

Linha 153: Rever a 1ª frase a "Este estudou a influência"

Linha 159: deixar claro o que é uma relação positiva (aumento ou diminuição)

Linhas 159-161: Verificar a sentença "apesar da presença de aerênquima sob quaisquer condições de inundação em campo os indivíduos apresentaram proporções maiores de aerênquima sob maior alagamento. Confuso.

Linhas 166-168: Unir as informações sobre densidade estomática descrita anteriormente. Está repetitivo!

Linha 168: Indicar quais os atributos avaliados.

Palavras-chave: Sugiro substituir "adaptatção" por "ajuste" ou "aclimatação", uma vez que você não observou adaptações, mas sim ajustes a condição relacionada ao alagamento.

Introdução:

No item "1.2 Como a pesquisa foi realizada?" Sugiro indicar quais os atributos avaliados no estudo e explicar melhor como foi montado o experimento em casa de vegetação. Não está claro como replicaram as condições de campo.

Uma vez que esse tópico, aparentemente, refere-se a metodologia utilizada na pesquisa, sugiro explicar melhor: n amostra – 1. Quantas amostras foram utilizadas para os cortes?; 2. Quanta medidas foram feitas?; 3. Quais as regiões específicas utilizadas para fazer os cortes anatômicos (região mediana, ápice, qual a região da raiz, rizoma, etc.); 4. Qual a versão do R?

Se possível, sugiro incluir referências.

Ainda no item "1.2 Como a pesquisa foi realizada?", mais precisamente sugiro remover a descrição das Linhas 384-386: "Para isso, esta espécie apresentou atributos funcionais plásticos que são

essenciais para sobreviver em diferentes intensidades de inundação.", uma vez que se trata de uma resultado e não de um tema introdutório.

Capítulo/artigo:

Abstract: as mesmas sugestões descritas anteriormente.

Introdução: ok

Metodologia: incluir número de amostras, regiões dos órgãos vegetativos que foram analisadas.

Na figura 3: incluir letras e descrever o que é cada uma delas na legenda.

Substituir: "light microscopy" por "optic microscopy"; indicar a resina utilizada e o modelo do microscópio e do mictótomo rotativo.

Indicar ainda o número de medidas realizadas para cada um dos parâmetros avaliados.

Comentário geral: O artigo é bastante interessante, mas não ficou muito claro o objetivo de comparar a situação de campo e em casa de vegetação. Porque não utilizar apenas uma ou outra situação?

Explicar melhor o delineamento experimental. Não está claro quais as condições de inundação avaliada: o que seria mais e menos inundado? No mais considerar que o estudo necessita apenas de pequenos ajustes de modo a deixar mais claro para o leitor.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (X)**

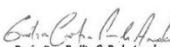
Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

Data: 30/11/2022

IV - Reprovada ()

Assinatura:

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.


Prof. Dra. Emilia C. P. de Arruda
Prof. Adjunto 4
Depto. de Botânica - UFPE
UFPE SIAPE: 1836260