



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

ABNER JOSÉ DE SOUZA VICENTE

**O estabelecimento de *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) é positivamente afetado pela mudança do nível d'água, mas negativamente afetado pela densidade de uma macrófita invasora e pela riqueza de espécies**

Maringá  
2022

ABNER JOSÉ DE SOUZA VICENTE

**O estabelecimento de *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) é positivamente afetado pela mudança do nível d'água, mas negativamente afetado pela densidade de uma macrófita invasora e pela riqueza de espécies**

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

Área de concentração: Ecologia e Limnologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Fidanza Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Márcio José da Silveira

Maringá  
2022

“Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)”  
(Biblioteca Setorial – UEM, Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

V632e

Vicente, Abner José de Souza, 1997-

O estabelecimento de *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) é positivamente afetado pela mudança do nível d'água, mas negativamente afetado pela densidade de uma macrófita invasora e pela riqueza de espécies / Abner José de Souza Vicente. -- Maringá, 2022.

49 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2022.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Fidanza Rodrigues.

Coorientador: Dr. Márcio José da Silveira.

1. *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) - Comunidades, Ecologia de - Competição - Reservatório de Itaipu - Paraná, Rio, Bacia. 2. Poaceae (Gramineae) “brachiaria” - Espécies invasoras - Estufas - Experimentos. 3. Macrófitas aquáticas invasoras emergentes. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -584.9178309816

ABNER JOSÉ DE SOUZA VICENTE

**O estabelecimento de *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) é positivamente afetado pela mudança do nível d'água, mas negativamente afetado pela densidade de uma macrófita invasora e pela riqueza de espécies**

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

COMISSÃO JULGADORA

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Fidanza Rodrigues  
Nupélia/ Universidade Estadual de Maringá (Presidente)( UEM)

Dr.<sup>a</sup> Aline Rosado (Nupélia/UEM)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edneia Aparecida de Souza Paccola (UniCesumar)

Aprovada em: 26 de abril de 2022.

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

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) pelo suporte e estrutura.

À Capes pela bolsa concedida e a Itaipu Binacional pelo financiamento desta pesquisa por meio do projeto (13.144 14): Estudos de Macrófitas Aquáticas.

À minha orientadora, Karina Fidanza Rodrigues, pela paciência que sempre teve comigo e por todo o apoio fornecido ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao meu coorientador, Márcio José da Silveira, pela colaboração na elaboração da ideia do projeto da dissertação e por sempre estar disposto a sanar minhas dúvidas.

À Danielle Petsch, Aline Rosado, Edson Fontes e Edneia Paccola por toparem compor a banca de defesa da minha dissertação, tenho certeza que contribuirão enormemente com nosso trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Biogeografia e Sistemática Vegetal, Adrian César e Lorena Julia, pelo companheirismo ao longo do mestrado.

Aos amigos que a UEM me apresentou ao longo dos anos, Giullia Iunklaus, Tais Protzek, Eduardo Sabatine, Aline Cristina, João Otávio dos Santos.

Aos meus pais, Ana Lucia de Souza e Jair Vicente, por todos os ensinamentos ao longo da minha ainda curta vida e por sempre me apoiarem em meus objetivos.

Ao pessoal da secretaria do PEA, especialmente Bete e Jocemara, pelo constante apoio nas questões burocráticas.

Aos professores da Disciplina “Modelos Regressivos e Análises Multivariadas”, Matheus Baumgartner e Fernando Lansac-Tôha pelos apontamentos em relação a parte estatística do meu projeto.

À todos os funcionários que me auxiliaram nas coletas de campo: Seu Ni, Gazo, Celso e Tato.

À Karoliny Catossi pela ajuda prestada durante o desenvolvimento do experimento em casa de vegetação.

À Aline de Oliveira Barbosa pelo auxílio psicológico e amizade durante esse período. Elevamos o conceito “da graduação para a vida”.

À todos os profissionais de Saúde e cientistas, especialmente do SUS, que de alguma forma contribuíram para a vacinação contra a Covid-19.

**O estabelecimento de *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) é positivamente afetado pela mudança do nível d'água, mas negativamente afetado pela densidade de uma macrófita invasora e pela riqueza de espécies**

**RESUMO**

Mudanças do nível d'água influenciam o estabelecimento e as interações ecológicas desenvolvidas entre macrófitas aquáticas. Com o objetivo de investigar como mudanças no nível d'água, a densidade da macrófita invasora *Urochloa arrecta* e a riqueza de espécies influenciam no estabelecimento da macrófita nativa *Paspalum repens*, foram montados dois experimentos em casa de vegetação com três níveis d'água (alto, médio e estático) e dois níveis de densidade e riqueza de espécies. Ao final do experimento foram mensuradas as seguintes variáveis resposta: superfície da área foliar, biomassa aérea, biomassa da raiz, biomassa total, comprimento aéreo e comprimento da raiz de *Paspalum repens*. Utilizando a biomassa total, foi calculado o índice de interação relativa (RII) para verificar o tipo de interação ecológica desenvolvida entre *P. repens* e suas espécies vizinhas. Cada variável resposta foi analisada com uma Anova bifatorial. Dentre os resultados obtidos, destacamos: i) os valores preponderantemente negativos do RII, indicando competição de *P. repens* com suas vizinhas em todas as condições testadas neste trabalho e ii) valores positivos da superfície da área foliar e biomassa aérea em níveis d'água alto, especialmente no experimento que foi analisado o efeito da densidade de *U. arrecta* sobre *P. repens*, o que evidencia as estratégias adotadas por esta espécie para se estabelecer em ambientes com altas densidades da espécie invasora em cenários de mudanças do nível d'água. Esses resultados indicam, por fim, os efeitos da mudança do nível da água, da densidade de *U. arrecta* e da riqueza de espécies sobre *P. repens*, contribuindo para o entendimento da dinâmica das comunidades de macrófitas em ambientes aquáticos continentais.

**Palavras-chave:** Regime d'água. *Urochloa arrecta*. Índice de interação relativo. Hipótese do gradiente de estresse (SGH). Competição. Adaptação morfológica.

**The establishment of *Paspalum repens* P. J. Bergius (Poaceae) is positively affected by water levels change, but negatively affected by the density of an invasive macrophyte and species richness**

***ABSTRACT***

Changes in water level influence the establishment and ecological interactions developed between aquatic macrophytes. With the aim of investigate how changes in water level, the density of the invasive macrophyte *Urochloa arrecta* and the species richness influence the establishment of *Paspalum repens*, we set up two experiments in a greenhouse with three water levels (high, medium and static) and two levels of density and species richness. At the end of the experiments, we measured the following response variables: leaf area surface, shoot biomass, root biomass, total biomass, shoot length, and root length of *P. repens*. Using the total biomass, we calculated the relative interaction index (RII) to verify the type of ecological interaction developed between *P. repens* and its neighbors species. Each response variable was analyzed with a two-way ANOVA. Among the results obtained, we highlight: i) the predominantly negative values of the RII, indicating competition between *P. repens* and its neighbors in all the conditions tested in this work and ii) positive values of leaf area surface and shoot biomass at water levels high, especially in the experiment that analyzed the effect of the density of *U. arrecta* on *P. repens*, which highlights the strategies adopted by this species to establish itself in environments with high densities of the invasive species in scenarios of water level changes. Finally, these results indicate the effects of changes in water level, density of *U. arrecta* and species richness on *P. repens*, contributing to the understanding of the dynamics of macrophyte communities in freshwater ecosystems.

**Keywords:** Water regime. *Urochloa arrecta*. Stress-gradient hypothesis. Relative interaction index. Competition. Morphological adaptation.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Aquatic Botany*.  
Disponível em:  
<https://www.elsevier.com/journals/aquatic-botany/0304-3770/guide-for-authors>.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	12
<b>2.1</b>	<b>Coleta e preparo do material botânico</b> .....	12
<b>2.2</b>	<b>Montagem dos experimentos em casa de vegetação</b> .....	14
2.2.1	Experimento I.....	14
2.2.2	Experimento II.....	17
<b>2.3</b>	<b>Mensurações de parâmetros abiótico</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	18
<b>2.5</b>	<b>Índice de interação ecológica entre as espécies</b> .....	19
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	19
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	32
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34
	<b>APÊNDICE A</b> - Tabela suplementar 1. Mensurações do PH em cada mesocosmo do experimento I .....	42
	<b>APÊNDICE B</b> - Tabela suplementar 2. Mensurações da condutividade em cada mesocosmo do experimento I.....	44
	<b>APÊNDICE C</b> - Tabela suplementar 3. Mensurações do PH em cada mesocosmo do experimento II.....	46
	<b>APÊNDICE D</b> - Tabela suplementar 4. Mensurações da condutividade em cada mesocosmo do experimento II.....	48
	<b>APÊNDICE E</b> - Tabela suplementar 5. Mensurações da luminosidade em casa de vegetação.....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Ambientes aquáticos continentais são frequentemente influenciados por alterações em variáveis hidrológicas (Song et al., 2021; Wang et al., 2016). Mudanças no nível d'água, por exemplo, são essenciais na manutenção da biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas de água doce (Liang et al., 2021; Santos & Thomaz, 2007; Riis & Hawes, 2002). Essas mudanças do nível d'água podem ocorrer naturalmente, como é o caso das mudanças sazonais devido aos períodos de inundação (Junk et al., 1989; Petrow & Merz, 2009) ou serem influenciadas por ações antrópicas como a construção de barragens (Aroviita & Hamalainen 2008; Rocha, 2010) e mudanças climáticas (Doell & Zhang, 2010; Junk et al., 2013).

O reservatório de Itaipu (24° 05' a 25° 33'S e 50° 00' a 50° 30'W), um reservatório grande (1.350 km<sup>2</sup>) e profundo (22.5 metros), localizado entre a fronteira Brasil-Paraguai, possui níveis d'água relativamente estáveis, oscilando menos de 1 metro por ano (Thomaz, Souza & Bini, 2003; Thomaz et al., 2006). No entanto, rebaixamentos extremos do nível d'água foram registrados para esse reservatório entre os anos de 2013 a 2015 e, após esse intervalo de tempo, houve uma recuperação do nível d'água médio nos anos subsequentes (Dainez-Filho et al., 2019).

Mudanças nos níveis d'água correspondem a um dos principais fatores na determinação do estabelecimento de macrófitas aquáticas (Murillo et al., 2019; Song et al., 2021; Zhou et al., 2018). Essas plantas podem exibir uma ampla variedade de respostas adaptativas em relação à elevação ou à redução do nível d'água (Wang et al., 2016; Thomaz et al., 2006). Por exemplo, ao estudar os efeitos da mudança do nível d'água em *Myriophyllum spicatum* L. (Haloragaceae), Zhang et al. (2013) notaram um aumento da biomassa total desta espécie em níveis d'água que oscilaram de 15 a 30 cm. Outros estudos, por sua vez, apontam que baixos níveis d'água podem afetar negativamente o estabelecimento de macrófitas aquáticas (Coops et al. 2003; O'Farrell et al. 2011). Ou seja, maiores níveis d'água geralmente beneficiam o estabelecimento de macrófitas aquáticas.

Juntamente com variáveis hidrológicas, variáveis bióticas como a densidade e a riqueza de espécies podem influenciar diretamente no estabelecimento de macrófitas aquáticas (Vicente et al., 2022; Li et al., 2014; Michelan et al., 2013). Através de abordagens experimentais, Silveira, Alves e Thomaz (2018) concluíram que o estabelecimento de *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) é limitado em locais com

alta densidade da invasora *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (Hydrocharitaceae). Ainda sobre abordagens experimentais, Michelan et al. (2013) encontraram que a riqueza de espécies nativas pode afetar negativamente o estabelecimento de espécies invasoras.

Somando-se aos efeitos no estabelecimento, como os citados acima, variáveis como mudança do nível d'água, riqueza e densidade de espécies também podem provocar mudanças entre as interações ecológicas desenvolvidas entre as macrófitas (Thiébaud et al., 2019; Zhou et al., 2018; Luo et al., 2010). Cabe destacar, portanto, a hipótese do gradiente de estresse (SGH). Segundo esta hipótese, é esperado efeitos competitivos mais intensos em ambientes de baixo estresse (Brooker et al., 2005; Smit et al., 2009; He et al., 2013) e efeitos facilitadores em ambientes de alto estresse (Bertness & Calaway 1994). Apesar de ser uma hipótese amplamente apoiada na literatura (Lortie & Calaway, 2006; Maestre et al., 2009; Malkinson & Tielborger, 2010), Zhou et al. (2018) destacam que poucos estudos se concentraram em investigar como variáveis hidrológicas como mudanças do nível d'água afetam as interações ecológicas entre macrófitas emergentes.

Investigar como esses fatores influenciam no estabelecimento e nas interações ecológicas de espécies nativas em relação a suas espécies vizinhas torna-se importante para entender a dinâmica e as regras de estruturação das comunidades de macrófitas aquáticas, inclusive do ponto de vista da conservação. *Paspalum repens* P. J. Bergius, por exemplo, é uma macrófita aquática emergente nativa da América do Sul e habitualmente distribuída por ambientes aquáticos naturais e artificiais brasileiros (Oliveira & Valls, 2015). Em ambientes do rio Paraná, monitorados ao longo de mais de 20 anos pelo Programa Ecológico de Longa Duração (PELD), *P. repens* coexiste com uma ampla gama de espécies, entre elas *Urochloa arrecta* (Hack. Ex t. Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga, uma importante espécie invasora que tem causado impactos negativos na comunidade de macrófitas nativas (Michelan et al., 2010).

Com o objetivo de investigar como as mudanças do nível d'água, a densidade de *U. arrecta* e a riqueza de espécies influenciam no estabelecimento e nas interações de *P. repens* com suas espécies vizinhas, foram conduzidos dois experimentos independentes entre si em casa de vegetação para testar as seguintes hipóteses: I) As interações interespecíficas desenvolvidas entre *P. repens* e suas espécies vizinhas mudarão de competitivas para facilitadoras a medida que o estresse ambiental aumentar; II) altas densidades de *U. arrecta* aliadas a menores níveis d'água afetam negativamente o

estabelecimento de *P. repens*; III) O estabelecimento de *P. repens* é negativamente afetado em ambientes com maior riqueza de espécies e menores níveis d'água.

A fundamentação hipótese I é baseada na hipótese do gradiente de estresse. Considera-se, para efeitos de comparação, que o estresse ambiental para *P. repens* é maior quando esta espécie co ocorre com maior riqueza ou densidade de espécies, uma vez que a quantidade de recursos em um determinado ambiente é finito e aumentar o número de indivíduos implicaria em aumentar a competição (Damuth 1981; Silvertown & Charlesworth 2001). A lógica das hipóteses II e III é baseada no fato de que espécies invasoras como *U. arrecta* e maiores riqueza de espécies podem afetar negativamente a comunidade de macrófitas nativas e seu estabelecimento (Vicente et al., 2022; Michelan et al., 2010) e esses efeitos poderiam ser potencializados em situações estressantes como as representadas por baixos níveis d'água.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e preparo do material botânico

Coletamos seis espécies de macrófitas emergentes no rio Arroio Guaçu (24° 23'35.7" S 54° 14'10.8" W), um dos afluentes do rio Paraná, localizado no município de Mercedes- PR, nos arredores do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, em agosto de 2021 (Tabela 1). O nome aceito destas espécies, bem como de sua classificação e origem, são descritos abaixo segundo o site Flora do Brasil (Senna L, 2015; Melo E, 2015; Silva & Oliveira 2020; Oliveira & Valls 2015; Shirasuna 2015).

**Tabela 1.** Relação das espécies de macrófitas empregadas nos experimentos destacando suas respectivas famílias, origem e sua caracterização neste estudo.

Espécie	Família	Origem	Caracterização nesse estudo
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Amaranthaceae	Nativa	Espécie vizinha
<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd.	Polygonaceae	Nativa	Espécie vizinha
<i>Polygonum acuminatum</i> Wedd.	Polygonaceae	Nativa	Espécie vizinha
<i>Hymenachne pernambucensis</i> (Spreng.) Zuloaga	Poaceae	Nativa	Espécie vizinha
<i>Paspalum repens</i> P.J. Bergius	Poaceae	Nativa	Espécie foco
<i>Urochloa arrecta</i> (Hack. Ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga	Poaceae	Naturalizada	Espécie vizinha

Os ramos vegetativos de cada uma das espécies de macrófitas coletados em campo, localizavam na porção mediana do eixo caulinar e consistiam em estruturas bem desenvolvidas. Houve descarte de porções senescentes ou que ainda estivessem em fase de desenvolvimento, como as do ápice caulinar. Em laboratório (Nupélia-UEM) o material botânico passou por uma lavagem com água corrente para retirar material aderido (perifiton, por exemplo) e houve remoção de folhas e raízes presentes em cada região do nó. Assim, cada ramo coletado passou a constituir um propágulo portando apenas dois nós cada e com comprimento de aproximadamente 15 cm. Inseriu-se os propágulos assim preparados em bandejas plásticas (43,5 cm x 29,3 cm x 7,7 cm) contendo uma camada de 5 cm de sedimento mantido úmido pela presença de uma lâmina d'água de 2 cm.

Os propágulos acomodados nas bandejas permaneceram sob essas condições até o enraizamento e surgimento de novas folhas. Após 37 dias nessas condições, os propágulos apresentavam-se desenvolvidos e com aproximadamente 15 cm de altura, tamanho este adequado para a utilização nos experimentos. Utilizou propágulos de tamanhos similares em cada mesocosmo para garantir uma uniformização das plantas utilizadas nos experimentos. Na fase seguinte, transplantou os propágulos para baldes plásticos experimentais de 60 litros (mesocosmos), contendo uma camada de 20 cm de sedimento laterítico cada um.

De acordo com experimentos anteriores (Leal et al., 2021; Bando et al., 2016), o sedimento laterítico é apropriado para o desenvolvimento de macrófitas emergentes como as utilizadas neste estudo. Adicionou-se 12,5 gramas de fertilizante mineral Vitaplan NPK (4-14-8) no sedimento de cada mesocosmo para evitar que os resultados obtidos fossem afetados pela escassez de nutrientes (Murillo et al., 2019; Machado et al., 2021).

Portanto, montamos dois experimentos independentes entre si em casa de vegetação entre os dias 20/09/2021 a 10/11/2021: o experimento I, que avaliou os efeitos da mudança do nível d'água e da densidade de *U. arrecta* sob o estabelecimento de *P. repens* e o experimento II, que avaliou os efeitos da mudança do nível d'água e da riqueza de espécies sob o estabelecimento de *P. repens*. Os experimentos duraram 52 dias após o transplante dos propágulos para os baldes plásticos experimentais.

## 2.2 Montagem dos experimentos em casa de vegetação

### 2.2.1 Experimento I

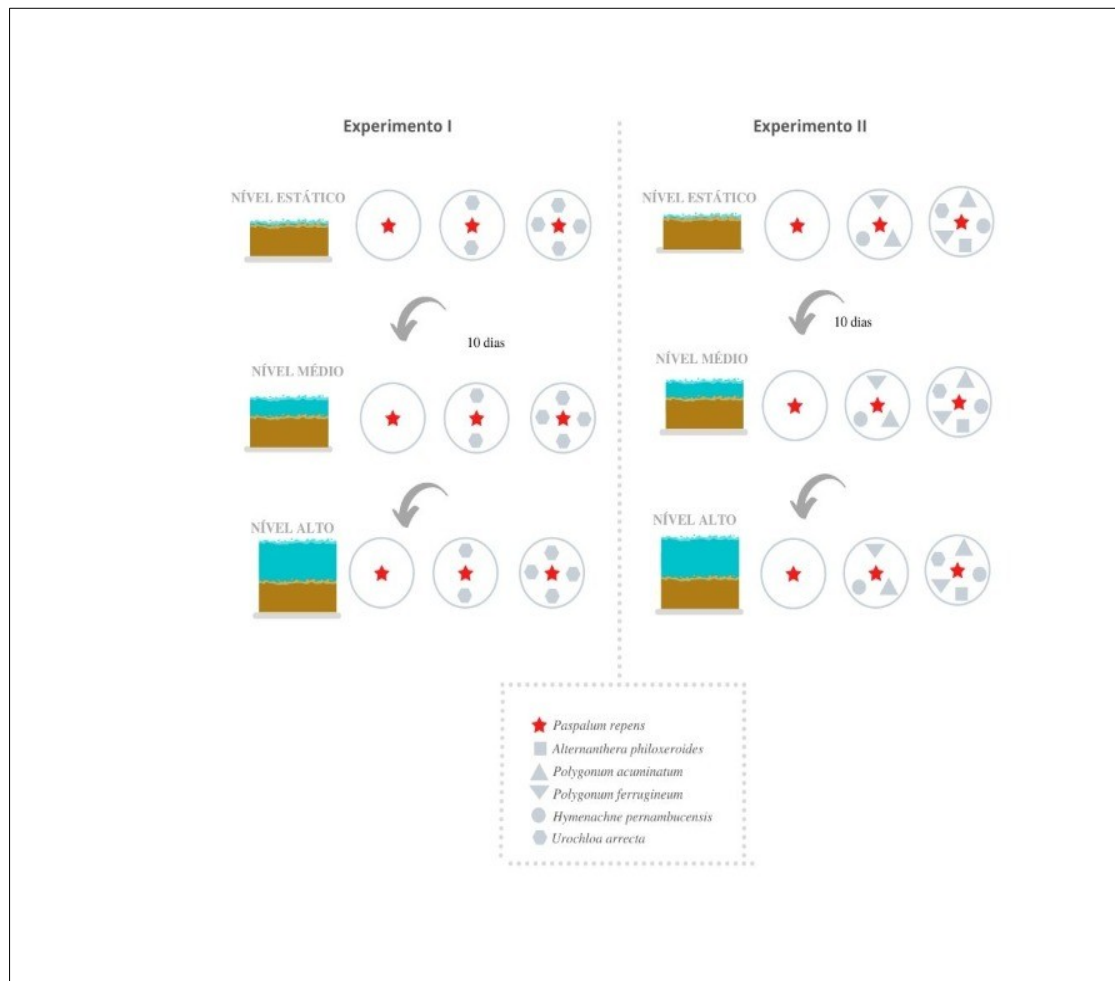
Para testar o efeito das mudanças do nível d'água e da densidade de *U. arrecta* (invasora) sobre o estabelecimento de *P. repens* (nativa), seguiu-se o modelo aditivo proposto por Gibson et al. (1999). Desta forma, *P. repens* é considerada a espécie foco deste estudo, ou seja, aquela cujos atributos mensurados são considerados como variáveis respostas, ao passo que, *U. arrecta* é considerada a espécie vizinha e com densidade manipulada dentro dos mesocosmos. Ambas espécies foram submetidas a mudanças do nível d'água. Nesse tratamento, a densidade de indivíduos da invasora *U. arrecta*, em cada mesocosmo, foi padronizada em dois propágulos como sendo baixa densidade da espécie, e quatro propágulos representaram a alta densidade.

Quanto as mudanças manipuladas para o nível d'água estabeleceu-se três tipos de tratamentos: I) Nível estático: simulando condições onde o nível d'água é constante, apenas com uma fina camada de água para umedecer o sedimento, mas sem que as macrófitas ficassem totalmente submersas pela coluna d'água; II) Nível médio: simulando condições de 20 cm de água acima do sedimento, onde as plantas permanecessem com metade de sua estrutura vegetativa abaixo e metade acima do nível d'água; III) Nível alto: nessa condição, o nível d'água atingiu 40 cm acima do sedimento, simulando períodos de cheia em planícies de inundação, no qual as macrófitas geralmente ficam cobertas por água. Os níveis d'água descritos acima foram adaptadas de outras investigações acerca dos efeitos da mudança de nível d'água em macrófitas emergentes (Luo et al., 2010).

Em seguida, após as padronizações de densidade e nível d'água, realizou-se os seguintes tratamentos em cada mesocosmo: I) Controle: um único propágulo de *P. repens* foi plantado em nível d'água estático, em nível d'água médio e em nível d'água alto. II) Densidade baixa: um propágulo de *P. repens* plantado com dois propágulos de *U. arrecta* em nível d'água estático, em nível d'água médio e em nível d'água alto, respectivamente. III) Densidade alta: um propágulo de *P. repens* plantado com quatro propágulos de *U. arrecta* em nível d'água estático, em nível d'água médio e em nível d'água alto, respectivamente. Cada um desses tratamentos contou com cinco réplicas cada, totalizando 45 mesocosmos alocados de modo aleatório dentro de casa de vegetação (Figura 1).

Os níveis d'água de cada tratamento mudaram em um intervalo de 10 dias entre uma manipulação e outra. É importante ressaltar que o período de 10 dias entre uma mudança e outra do nível da água foi determinado durante o preparo dos propágulos, como as espécies levaram em média 10 dias para desenvolver novos brotos, foi utilizado esse tempo para evitar mortalidade dos propágulos ainda em fase inicial de desenvolvimento.

Nos 10 primeiros dias todas as réplicas ficaram submetidas ao nível d'água estático. Após 10 dias em nível estático, o nível d'água foi elevado para 20 cm de altura acima do sedimento (nível médio) em 30 dos mesocosmos dispostos em casa de vegetação. Nesse período, 15 réplicas continuaram submetidas a níveis d'água estáticos. Sucessivamente, após mais 10 dias, o nível d'água foi alterado dentro de 15 dos mesocosmos que estavam com os níveis d'água em 20 cm para 40 cm de altura acima do sedimento (nível alto). Portanto, após 20 dias, o experimento I contava com tratamentos em nível d'água estático, nível d'água médio e nível d'água alto para cada combinação de densidade de *U. arrecta* que a espécie foco foi submetida. Para prevenir possíveis perdas relacionadas à evaporação, os mesocosmos foram monitorados diariamente, sendo o respectivo nível da água repostado sempre que necessário.



**Figura 1.** Desenho representativo do delineamento experimental evidenciando os níveis d'água (alto, médio e estático), densidade de *U. arrecta* (alta ou baixa) e a riqueza de espécies (alta ou baixa) empregadas.

Após 52 dias, as plantas foram retiradas dos tratamentos e lavadas com água corrente para a retirada do sedimento aderido às raízes. Os valores do comprimento da parte aérea e o comprimento da raiz principal foram mensurados com uma fita métrica. Para obter as médias dos valores da superfície da área foliar, mediu-se cinco folhas de *P. repens* localizadas na porção mediana do eixo caulinar com o auxílio de um paquímetro digital. A superfície da área foliar para cada réplica, portanto, foi igual a média de suas respectivas folhas mensuradas. O caule e as raízes foram separados, e cada uma das porções das plantas fora embrulhadas em papel jornal e levadas para secagem em estufa, a temperatura contínua de 60 ° C, até obtenção de biomassa constante. O material vegetal foi então retirado da estufa e sua biomassa seca, da parte aérea e da raiz fora mensuradas por uma balança digital de precisão. A biomassa total foi obtida através da soma da biomassa aérea e da biomassa da raiz de cada réplica.



## 2.2.2 Experimento II

Para testar os efeitos das mudanças do nível d'água e a riqueza de espécies no estabelecimento de *P. repens*, foi conduzido um experimento seguindo o modelo aditivo descrito por Gibson et al. (1999). Nesse experimento, igualmente ao experimento I, *P. repens* foi considerada a espécie foco, e suas respectivas espécies vizinhas foram *Alternanthera philoxeroides*, *U. arrecta*, *H. pernambucensis*, *P. acuminatum* e *P. ferrugineum*. As espécies vizinhas escolhidas para esse experimento são normalmente encontradas coexistindo com *P. repens* em áreas úmidas (Souza et al. 2017; Ferreira et al., 2011). O uso de três e cinco espécies diferentes para representar alta e baixa riqueza em que *P. repens* foi submetida foi baseado em resultados obtidos *in situ*. Para isso, durante a coleta das espécies utilizadas neste estudo, utilizou-se um quadrado de metal de 0,25 m<sup>2</sup> para avaliar a riqueza de espécies em bancos de macrófitas com a presença da espécie foco, similar a metodologia empregada em outros trabalhos que testaram as relações ecológicas entre macrófitas emergentes (Murillo et al., 2019; Vicente et al., 2022).

Para selecionar cinco espécies que coocorrem com *P. repens* e as considerar como espécies vizinhas nesse estudo, foi feita a consulta dos dados obtidos durante o Programa Ecológico de Longa Duração (PELD), sítio 6, que há mais de 20 anos monitora as macrófitas aquáticas no rio Paraná. Após essa consulta, foi possível verificar que, *A. philoxeroides*, *H. pernambucensis*, *P. ferrugineum*, *P. acuminatum* e *U. arrecta* poderiam configurar juntas o cenário de alta e baixa riqueza de espécies no tratamento de mudanças do nível d'água e seus impactos sob o estabelecimento de *P. repens*.

Por conseguinte, os diferentes tratamentos simulando as mudanças do nível d'água foram idênticos aos do experimento I, com reposição de água sempre que necessário para evitar perdas relacionadas a evaporação. Sendo assim, o experimento II teve os seguintes tratamentos: I) Controle: um único propágulo de *P. repens* foi plantado em nível d'água estático, em nível d'água médio e em nível d'água alto. II) Baixa riqueza: um propágulo de *P. repens* plantado com um propágulo de *H. pernambucensis*, *P. acuminatum* e *P. ferrugineum*, e em nível d'água estático, nível d'água médio e nível d'água alto (primeira associação de coocorrência para testar a riqueza). III) Alta riqueza: um propágulo de *P. repens* plantado com um propágulo de *A. philoxeroides*, *H. pernambucensis*, *P. acuminatum*, *P. ferrugineum* e *U. arrecta* em

nível d'água estático, nível d'água médio e nível d'água alto (segunda associação de coocorrência para testar a riqueza) (Figura 1).

Assim como realizado no experimento I, nas condições de mudanças no nível d'água e riqueza de espécies que constituem o experimento II, foram mensurados as seguintes variáveis respostas de *P. repens*: comprimento da parte aérea, comprimento da raiz principal, superfície da área foliar, biomassa aérea, biomassa da raiz e biomassa total.

### 2.3 Mensuração dos parâmetros abióticos

Os valores de parâmetros abióticos da água foram mensurados dentro de cada mesocosmo experimental, a cada 15 dias, com intuito de monitorar a qualidade da água disponível as espécies. Também foram aferidos os valores de pH e condutividade da água com um medidor de pH (Digimed) e um condutímetro (Digimed), respectivamente (Apêndice A, B, C e D). O monitoramento dessas variáveis foi importante, pois verificou-se a necessidade de trocar a água dentro das unidades experimentais, pois em alguns momentos, houve desenvolvimento exagerado de fitoplâncton. A luminosidade dentro do ambiente de estufa foi estimada a cada 15 dias, com utilização de luxímetro (MLM-1011; Minipa) até o final do experimento (Apêndice E).

### 2.4 Análises Estatísticas

Para analisar estatisticamente os valores registrados para *P. repens* após o período submetida a mudanças do nível d'água e densidade de *U. arrecta* (experimento I) e mudanças do nível d'água e riqueza de espécies (experimento II), considerou-se as seguintes variáveis resposta: comprimento da parte aérea e biomassa aérea, comprimento da raiz principal e biomassa da raiz, superfície da área foliar e biomassa total. Para cada uma dessas variáveis resposta, testou-se os pressupostos de normalidade e homocedasticidade sobre os resíduos com o teste de Shapiro-Wilk e teste de Levene, respectivamente, ambos com o nível de significância de  $> 0.05$ . Em seguida, utilizou-se uma Anova bifatorial para testar essas variáveis respostas ( $p < 0.05$ ) pelo software Statistica 7.0, considerando o nível d'água e densidade (experimento I) e nível d'água e riqueza (experimento II) como variáveis independentes. Testes de Tukey HSD foram realizados sempre que o resultado da Anova bifatorial apontava uma interação significativa entre as duas variáveis independentes. Buscando adequar os dados obtidos

aos pressupostos necessários para realizar uma Anova realizamos transformações com  $\log_{10}(x + 1)$  para as seguintes variáveis respostas: biomassa da raiz, comprimento da raiz e biomassa total (experimento I) e somente para biomassa total no experimento II.

## 2.5 Índice de interação ecológica entre as espécies

Para mensurar e classificar as interações ecológicas que ocorreram nos diferentes tratamentos empregados nos dois experimentos conduzidos nesse estudo, calculou-se o índice de interação relativa (RII) proposto por Armas et al. (2004) sobre a variável resposta biomassa total de *P. repens*. Para isso, utilizou-se a fórmula:

$$RII = \frac{(Bp + N) - (Bp - N)}{(Bp + N) + (Bp - N)}$$

onde  $Bp + N$  é o valor da biomassa total da planta-alvo na presença de vizinhos e  $Bp - N$  é o valor da biomassa total da planta-alvo na ausência de vizinhos, conforme empregado em Souza et al. 2020. O RII é um índice com valores variando de -1 a 1, onde valores negativos e positivos indicam interações ecológicas do tipo competição e facilitação, respectivamente. Valores próximos ao 0 implicam em relações neutras.

## 3 RESULTADOS

Os resultados obtidos no experimento I indicam os efeitos da mudança do nível d'água e da densidade de *U. arrecta* sobre o estabelecimento de *P. repens* (Tabela 2), enquanto que os resultados obtidos no experimento II indicam os efeitos da mudança do nível d'água e da riqueza de espécies sobre o estabelecimento de *P. repens* (Tabela 3).

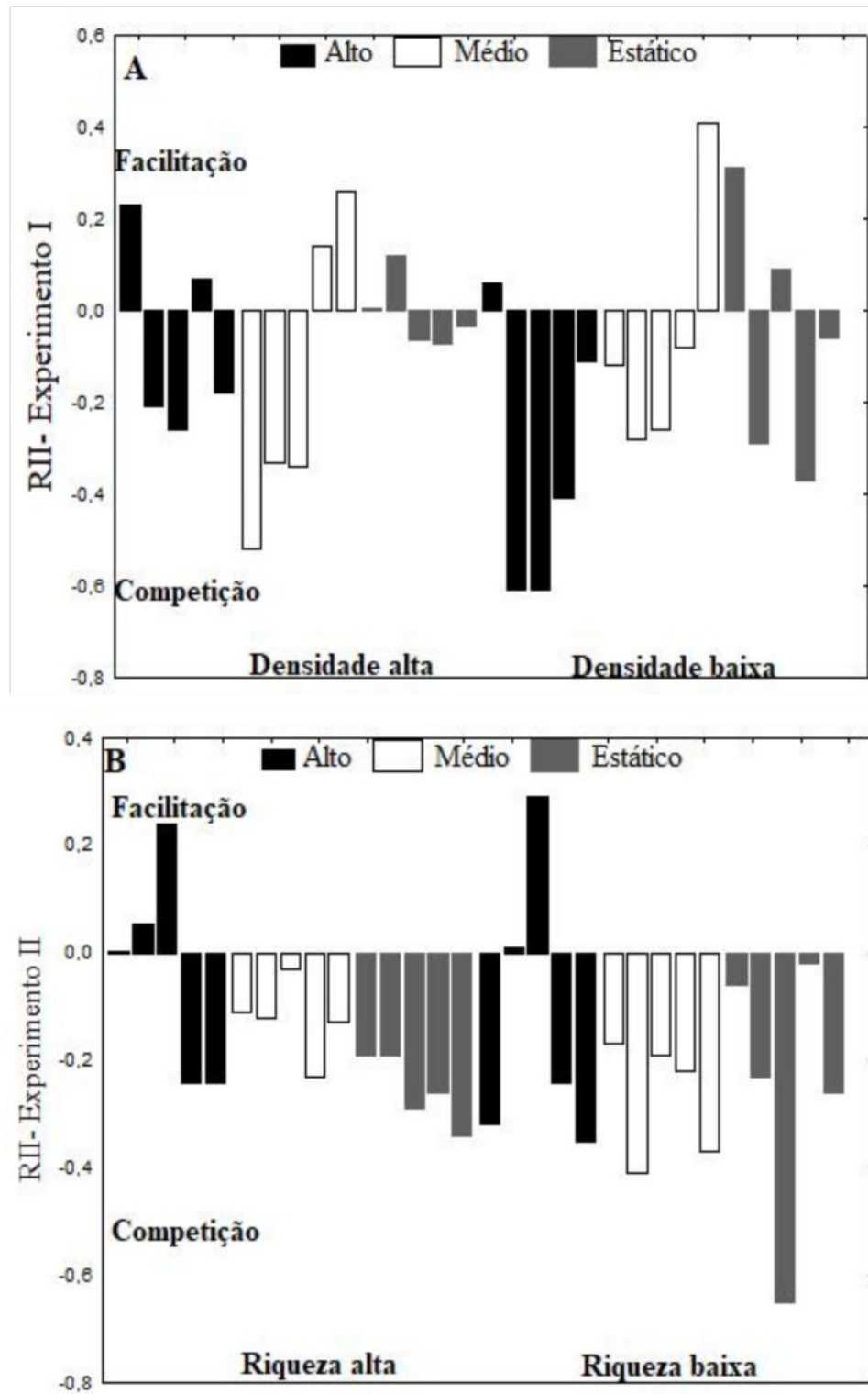
**Tabela 2.** Resultados da Anova bifatorial testando os efeitos do nível d'água, densidade e suas interações em traços morfofisiológicos de *Paspalum repens*. (Df- graus de liberdade; F – teste de significância; p – significância).

<b>Traços morfológicos</b>	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<b>RH</b>			
Nível d' água	2	1,013	0,377
Densidade	1	0,636	0,432
Nível d'água x Densidade	2	1,181	0,323
<b>Superfície da área foliar</b>			
Nível d'água	2	<b>6,025</b>	<b>0,005</b>
Densidade	2	1,305	0,283
Nível d'água x Densidade	4	<b>4,024</b>	<b>0,008</b>
<b>Biomassa aérea (g PS)</b>			
Nível d'água	2	<b>7,885</b>	<b>0,001</b>
Densidade	2	0,985	0,383
Nível d'água x Densidade	4	<b>3,240</b>	<b>0,022</b>
<b>Biomassa da raiz (g PS)</b>			
Nível d'água	2	1,417	0,255
Densidade	2	<b>5,088</b>	<b>0,011</b>
Nível d'água x Densidade	4	0,281	0,887
<b>Biomassa total (g PS)</b>			
Nível d' água	2	<b>4,609</b>	<b>0,016</b>
Densidade	2	2,799	0,074
Nível d'água x Densidade	4	1,779	0,154
<b>Comprimento aéreo (m)</b>			
Nível d' água	2	1,016	0,372
Densidade	2	<b>4,114</b>	<b>0,024</b>
Nível d'água x Densidade	4	2,485	0,060
<b>Comprimento da raiz (m)</b>			
Nível d' água	2	<b>3,81</b>	<b>0,031</b>
Densidade	2	0,03	0,971
Nível d'água x Densidade	4	<b>2,92</b>	<b>0,034</b>

**Tabela 3.** Resultados da Anova bifatorial testando os efeitos do nível d'água, riqueza de espécies e suas interações em traços morfofisiológicos de *Paspalum repens*. (Df- graus de liberdade; F – teste de significância; p – significância).

<b>Traços morfológicos</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>RII</b>			
Nível d' água	2	2,275	0,124
Riqueza	1	1,247	0,275
Nível d'água x Riqueza	2	0,476	0,627
<b>Superfície da área foliar</b>			
Nível d' água	2	<b>4,067</b>	<b>0,025</b>
Riqueza	2	<b>9,514</b>	<b>0,000</b>
Nível d'água x Riqueza	4	2,330	0,074
<b>Biomassa aérea (g PS)</b>			
Nível d' água	2	<b>3,714</b>	<b>0,034</b>
Riqueza	2	<b>4,854</b>	<b>0,013</b>
Nível d'água x Riqueza	4	0,976	0,432
<b>Biomassa da raiz (g PS)</b>			
Nível d' água	2	0,632	0,537
Riqueza	2	<b>10,34</b>	<b>0,000</b>
Nível d'água x Riqueza	4	1,175	0,338
<b>Biomassa total (g PS)</b>			
Nível d' água	2	2,895	0,068
Riqueza	2	<b>11,85</b>	<b>0,000</b>
Nível d'água x Riqueza	4	1,190	0,331
<b>Comprimento aéreo (m)</b>			
Nível d' água	2	0,067	0,935
Riqueza	2	<b>7,838</b>	<b>0,001</b>
Nível d'água x Riqueza	4	2,128	0,097
<b>Comprimento da raiz (m)</b>			
Nível d' água	2	<b>7,219</b>	<b>0,002</b>
Riqueza	2	2,101	0,137
Nível d'água x Riqueza	4	<b>4,088</b>	<b>0,007</b>

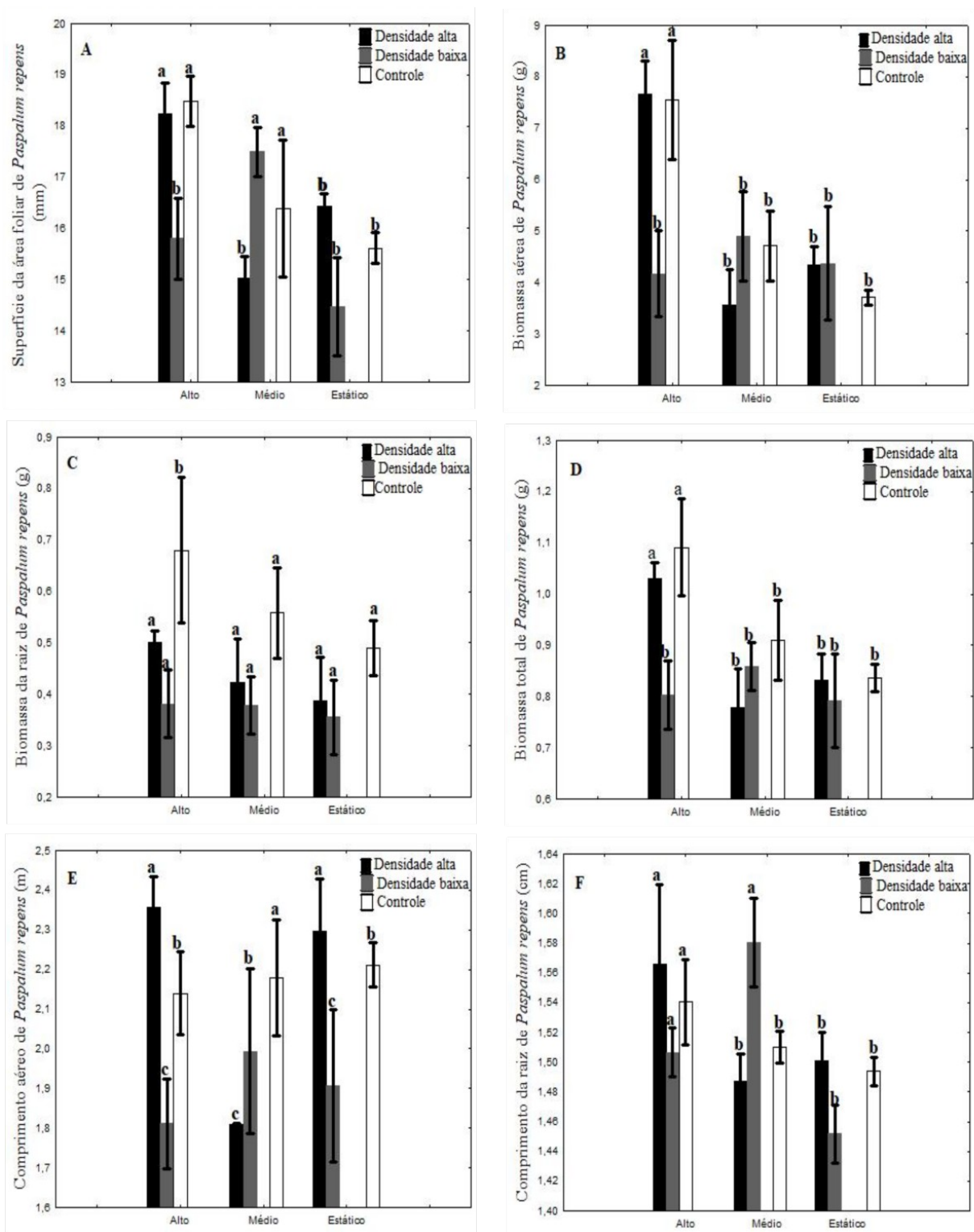
Os resultados obtidos pela Anova bifatorial quanto ao índice de interação relativa (RII) não detectaram efeitos significativos para os experimentos I e II em relação aos níveis d'água, densidade de *U. arrecta* e riqueza de espécies (Tabela 2 e 3). Apesar disto, é possível observar que o RII evidenciou os efeitos da competição em todos os tratamentos analisados (Figura 2A e 2B). Nos tratamentos com baixa densidade de *U. arrecta* (experimento I) e baixa riqueza de espécies (experimento II), a competição foi mais intensa para *P. repens* do que em alta densidade ou riqueza de espécies. Uma exceção a este cenário, considerando o experimento I, é que no tratamento com níveis d'água médio, as interações competitivas eram maiores em altas densidades do que em baixas densidades.



**Figura 2.** Índice de interação ecológica (RII) demonstrando as interações de *P. repens* em relação: A) a densidade de *U. arrecta* e o nível d'água e B) a riqueza de espécies e o nível d'água. Valores: 0 indica neutralidade, < 0 indica competição e > 0 indica facilitação.

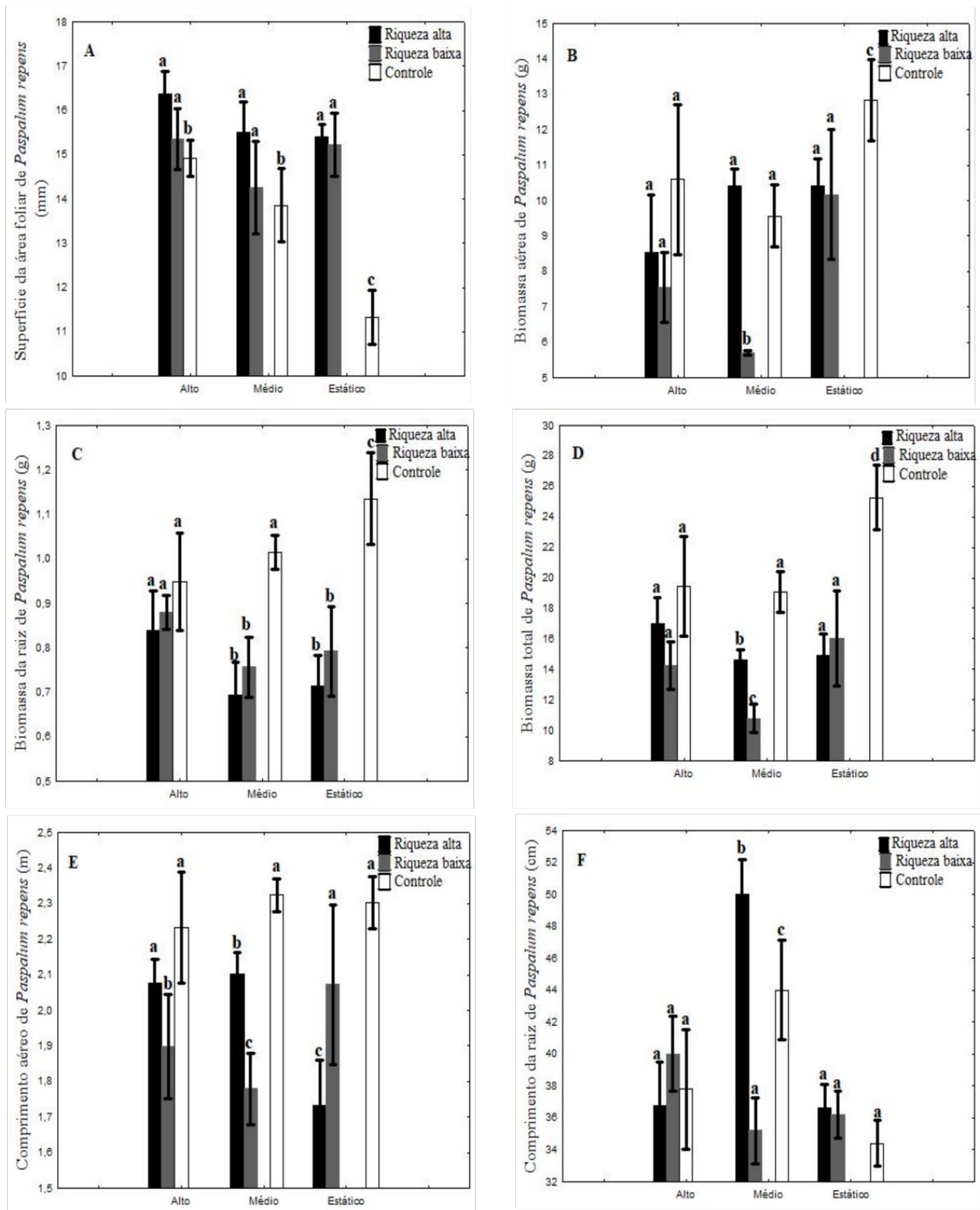
A superfície da área foliar de *P. repens* foi positivamente afetada pelo nível d'água ( $p > 0,005$ ) no experimento I, embora esse efeito tenha diferido entre as diferentes densidades de *U. arrecta*, conforme indicado pela interação significativa entre nível d'água e densidade ( $p > 0,008$ ). De forma geral, *P. repens* teve maior superfície área foliar nos tratamentos com alto nível d'água do que no tratamento em nível estático com baixa densidade de *U. arrecta* ou no tratamento de nível d'água médio com alta densidade de *U. arrecta* (Figura 3A).





**Figura 3.** Superfície da área foliar, biomassa aérea, biomassa da raiz, biomassa total, comprimento aéreo e comprimento da raiz de *P. repens* de acordo com a densidade de *U. arrecta* (alta ou baixa), nível d'água (alto, médio ou estático) e o controle. As letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Para o experimento II, a superfície da área foliar de *P. repens* foi positivamente afetada pelo nível d'água ( $p > 0,025$ ) e pela riqueza de espécies ( $p > 0,000$ ). Regularmente, a superfície da área foliar foi maior na presença de espécies vizinhas, diferindo significativamente do tratamento controle em quaisquer níveis d'água (Figura 4B).



**Figura 4.** Superfície da área foliar, biomassa aérea, biomassa da raiz, biomassa total, comprimento aéreo e comprimento da raiz de *P. repens* de acordo com a riqueza de espécies (alta ou baixa), nível d'água (alto, médio ou estático) e o controle. As letras minúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Verificou-se que altos níveis d'água afetaram de forma positiva a biomassa aérea de *P. repens* ( $p > 0,001$ ) juntamente com a interação entre as variáveis preditoras ( $p > 0,022$ ) para o experimento I. No entanto, a densidade de *U. arrecta* ( $p > 0,383$ ) não teve efeitos significativos para essa variável resposta. Resumidamente, *P. repens* teve maior biomassa aérea nos tratamentos controle e em alta densidade de *U. arrecta*, em condição de alto nível d'água do que em quaisquer outros tratamentos (Figura 3B). Houve um efeito negativo na biomassa aérea de *P. repens* ( $p > 0,034$ ) no experimento II em maiores níveis d'água, mas um efeito positivo sobre essa variável resposta com o aumento da riqueza de espécies ( $p > 0,013$ ). Em nível d'água médio, por exemplo, a biomassa aérea em alta riqueza foi em média 1,82 vezes maior do que a biomassa aérea em baixa riqueza de espécies (Figura 4B).

Não foram encontradas diferenças significativas na biomassa da raiz quanto aos níveis d'água testados ( $p > 0,255$ ) nem entre a interação entre nível d'água e densidade ( $p > 0,887$ ) no experimento I. Houve, contudo, um efeito negativo da densidade de *U. arrecta* ( $p > 0,011$ ) sobre a biomassa da raiz de *P. repens*: a biomassa da raiz foi menor na presença de qualquer das densidades de *U. arrecta* em relação ao tratamento controle com nível d'água alto (Figura 3C). No experimento II a Anova bifatorial revelou que não houve efeitos significativos do nível d'água ( $p > 0,537$ ) e da interação entre nível d'água e riqueza ( $p > 0,338$ ) para a biomassa da raiz. A riqueza de espécies, porém, foi altamente significativa sobre esta variável resposta ( $p > 0,000$ ). Em todos os níveis d'água testados, a biomassa da raiz foi maior nos tratamentos controles (Figura 4C). A biomassa da raiz de *P. repens* no tratamento controle em nível d'água estático, por exemplo, foi em média 31,97% maior do que no tratamento com alta riqueza de espécies.

Ao analisar o experimento I, observamos que biomassa total de *P. repens* foi significativamente maior em nível d'água alto ( $p > 0,016$ ) tanto para o tratamento controle, quanto para o tratamento em alta densidade de *U. arrecta*. Não foram identificados efeitos significativos da densidade ( $p > 0,074$ ) nem da interação entre as duas variáveis preditoras ( $p > 0,154$ ) (Figura 3D). Não houve efeitos significativos do nível d'água ( $p > 0,068$ ) nem da interação ( $p > 0,331$ ) sobre a biomassa total no experimento II, mas a riqueza de espécies teve efeitos significativos ( $p > 0,000$ ) sobre a biomassa total de *P. repens*. De fato, verificou-se que em todos os níveis d'água a biomassa total da espécie foco foi maior no tratamento controle do que nos tratamentos com presença de espécies vizinhas. A única exceção a essa observação é no tratamento

com nível d'água alto, onde não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre o controle e os demais tratamentos (Figura 4D).

O comprimento aéreo de *P. repens* foi positivamente afetado pela densidade de *U. arrecta* ( $p > 0,024$ ), embora não seja afetado pelo nível d'água ( $p > 0,37$ ) nem pela interação ( $p > 0,060$ ) no experimento I. Ao ser submetido aos níveis d'água alto e estático, *P. repens* apresentou maior comprimento aéreo na presença de alta densidade de *U. arrecta* em comparação com o grupo controle. Nestes casos, ainda cabe destacar que em baixa densidade, o comprimento aéreo foi menor em relação ao grupo controle (Figura 3E). A riqueza de espécies afetou negativamente o comprimento da parte aérea de *P. repens* ( $p > 0,001$ ) no experimento II. Essa variável resposta foi maior no tratamento controle do que nos tratamentos com a presença de espécies vizinhas, exceto para o nível d'água alto, em que não houve diferenças significativas entre o tratamento controle e o tratamento com alta riqueza de espécies (Figura 4E).

Os níveis d'água ( $p > 0,031$ ) e a interação entre o nível d'água e a densidade ( $p > 0,034$ ) tiveram efeitos significativamente positivos no comprimento da raiz de *P. repens* no experimento I. Não ocorreram efeitos significativos da densidade ( $p > 0,971$ ) sobre essa variável resposta. Houve uma tendência de aumento no comprimento da raiz na medida que o nível d'água aumentou, sendo que em altos níveis d'água o comprimento da raiz foi maior em relação aos outros níveis d'água, independente da densidade a qual *P. repens* (espécie foco) foi submetida. O comprimento da raiz foi significativamente maior no tratamento com nível médio d'água e baixa densidade de *U. arrecta* do que nos tratamentos submetidos a níveis d'água estáticos (Figura 3F). Para o experimento II, houve um efeito significativo do nível d'água ( $p > 0,002$ ) sobre o comprimento da raiz de *P. repens*. Em nível d'água médio houve um maior comprimento da raiz em alta riqueza de espécies vizinhas e, esse maior crescimento foi estatisticamente maior em relação a todos os outros tratamentos quando consideramos esta variável resposta. Ainda sob esse mesmo nível d'água, o comprimento da raiz principal foi menor em baixa riqueza de espécies do que no tratamento controle, embora não seja estatisticamente diferente aos outros tratamentos submetidos a nível d'água estático ou a nível d'água alto (Figura 4F).

#### 4 DISCUSSÃO

Neste estudo, o estabelecimento da espécie foco *P. repens* foi significativamente afetado pela mudança no nível d'água, pela densidade da espécie invasora *U. arrecta* e pela riqueza de espécies. De acordo com o índice de interação relativa (RII), não houve mudança nas interações ecológicas de *P. repens* de negativas para positivas à medida que o estresse ambiental aumentou, portanto, a hipótese I não foi confirmada. Houve redução nas variáveis respostas mensuradas em *P. repens* com o aumento da densidade de *U. arrecta* em menores níveis d'água, validando assim a hipótese II. A hipótese III, por sua vez, pode ser corroborada uma vez que o estabelecimento de *P. repens* foi negativamente influenciado pela riqueza de espécies vizinhas, especialmente em menores níveis d'água.

A respeito da hipótese não validada, os resultados não estão de acordo com o proposto pela hipótese do gradiente de estresse (SGH), visto que as interações ecológicas de *P. repens* com suas vizinhas foram preponderantemente negativas (competição), apesar de as interações competitivas seguirem a tendência de serem mais fortes em níveis de estresse menores. Outros estudos que utilizaram índices de interação ecológica para mensurar as interações entre macrófitas submetidas a diferentes condições encontraram resultados contraditórios: Luo et al. (2010), por exemplo, verificaram que as interações de *Carex lasiocarpa* e *Deyeuxia angustifolia* mudaram de competição para facilitação na presença de plantas vizinhas e à medida que o nível d'água subiu de 20 cm para 40 cm. Sob outra perspectiva, Zhou et al. (2018) encontraram valores positivos para *Scirpus planiculumis* quando cultivado em 10 cm de nível d'água e valores negativos quando plantados em níveis d'água de 30 cm. Os resultados obtidos para *P. repens*, portanto, são discordantes em relação aos resultados apresentados pelos referidos autores. Dessa forma, o tipo de interação ecológica desenvolvida entre uma espécie foco e suas espécies vizinhas, vai depender, predominantemente, da espécie foco estudada.

Para os dois experimentos, a característica foliar de *P. repens* foi influenciada positivamente nos tratamentos de níveis d'água médio e alto, onde a superfície da área foliar em ambos os tratamentos foram maiores que no tratamento em nível d'água estático. Outro ponto a ser destacado é que a riqueza de espécies (experimento II) também afetou positivamente essa variável resposta. Essa adaptação morfológica pode

ser importante em cenários de elevação do nível d'água, uma vez que as folhas estão envolvidas em processos como a captura de gases atmosféricos (CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) e luminosidade, importantes para a realização da fotossíntese. Ao analisar os efeitos da oscilação do nível d'água em *P. ferrugineum* e *P. acuminatum*, Machado et al. (2021) descobriram que características foliares dessas duas espécies eram afetadas positivamente em maiores níveis d'água, resultados compatíveis com os nossos.

Constata-se que houve um efeito positivo do nível d'água na biomassa aérea no experimento I, enquanto que essa variável resposta foi afetada negativamente pelo nível d'água e pela riqueza no experimento II. Estes resultados indicam que *P. repens* adota diferentes estratégias para lidar com o estresse da mudança do nível d'água, a depender de suas espécies vizinhas. Semelhante ao encontrado neste estudo, Zhou et al (2018), perceberam que houve uma maior alocação de biomassa para a parte aérea de *Scirpus planiculumis* e *Phragmites australis* quando essas espécies se desenvolviam sem a presença de outras espécies vizinhas em níveis d'água mais elevados, ao passo que suas biomassas aéreas eram fortemente reduzidas na presença de espécies vizinhas, mesmo aliado a maiores níveis de água.

Os indivíduos de *P. repens* tiveram a biomassa da raiz afetada negativamente tanto pela densidade da espécie invasora, quanto pela riqueza de espécies. Tais resultados demonstram os efeitos supressivos das espécies vizinhas sobre essa variável resposta, sendo esse achado apoiado por outros estudos. Ao examinar os efeitos da riqueza e da abundância de espécies sobre *U. arrecta*, Michelan et al. (2013) detectaram uma redução na biomassa radicular conforme a riqueza de espécies aumentava. Ainda de acordo com abordagens experimentais, Vicente et al. (2022) observaram um menor acúmulo de biomassa da raiz em *A. philoxeroides* submetida a maiores densidades de *P. ferrugineum*.

A biomassa total de *P. repens* foi afetada positivamente pelo nível d'água no experimento I, mas foi afetada negativamente só pela riqueza de espécies no experimento II. Esse é outro aspecto que evidencia a plasticidade fenotípica de *P. repens* relacionado as suas espécies vizinhas. O aumento da riqueza de espécies provavelmente reflete em uma maior competição por recursos do ambiente, o que, por fim, afetaria negativamente a biomassa total da espécie foco. Estes resultados, entretanto, não estão de acordo com o encontrado por Luo et al. (2010): *C. lasiocarpa* e *D. angustifolia* tiveram uma biomassa total maior na presença de vizinhos. O efeito positivo do nível d'água na biomassa total, demonstrado no experimento I, é embasado

em outros estudos que relataram maior produção de biomassa em plantas aquáticas submetidas a alterações do nível d'água em curtos intervalos de tempo (Wang et al., 2016; Smith & Brock, 1996, 2007), como o empregado neste experimento (52 dias).

O comprimento aéreo de *P. repens* foi afetado positivamente pela densidade de *U. arrecta* e negativamente pela riqueza de espécies. Conforme explicado anteriormente para outras características, o menor comprimento da parte aérea no experimento II pode ser explicado pela maior competição por recursos. O maior crescimento da parte aérea no experimento I, pode ser justificado por uma estratégia de compensação por parte de *P. repens* para lidar com maiores densidades da espécie invasora. Nesses cenários, a espécie foco aumentaria o investimento no alongamento da parte aérea para obter recursos limitantes como luz e gases envolvidos na fotossíntese. Alguns autores afirmam que as plantas geralmente investem mais energia em órgãos que obtêm os recursos mais limitantes do ambiente (Chapin et al. 1987) e, neste experimento, o alongamento de *P. repens* seria afetado principalmente pela disponibilidade de luz, conforme sugerem Paciullo et al (2011).

Por fim, o maior comprimento da raiz encontrado em nível médio d'água pode ser interpretado como uma adaptação para explorar recursos do solo. A partir do momento em que é atingido níveis altos d'água, com uma porção maior do corpo das plantas abaixo d'água (e.g. algumas folhas), a luminosidade e não os nutrientes presentes no solo, passam a ser os recursos mais limitantes para *P. repens*. Isso explicaria o porquê não houve diferenças significativas no comprimento da raiz em níveis d'água altos. Isto posto, estes resultados discordam do encontrado em outros trabalhos em que os autores comumente encontram um menor comprimento da raiz em plantas submetidas a maiores profundidades d'água (Zhu et al., 2012; Yang et al., 2004; Luo & Xie, 2009).

## 5 CONCLUSÕES

Conclui-se que mudanças no nível d'água, quando associadas a fatores bióticos como riqueza de espécies e densidade da invasora *U. arrecta*, podem influenciar o estabelecimento de *P. repens*. Especialmente para o experimento I, o desempenho de *P. repens* foi melhor em maiores níveis d'água. Devido aos possíveis efeitos sinérgicos entre as espécies vizinhas no experimento II, seria difícil prever qual espécie (individualmente) mais afetou o estabelecimento da espécie foco. Apesar desses resultados, serem importantes para o entendimento da dinâmica e das regras de



estruturação das comunidades de macrófitas em cenários de mudanças do nível d'água, há algumas limitações devido a organização experimental.

Juntamente com os caracteres morfológicos vegetativos investigados, verifica-se que é fundamental incorporar a esses dados, caracteres reprodutivos como floração, produção e dispersão de sementes, para um entendimento mais amplo dos efeitos da mudança do nível d'água, riqueza de espécies e densidade de *U. arrecta* sobre a história de vida de *P. repens*. Considerando também que as potenciais mudanças climáticas podem alterar os padrões de inundação seca em planícies de inundação, a análise dos efeitos de frequência, amplitude e duração dessas inundações, também podem ser importantes para melhor compreender as interações entre a flora aquática, especialmente quando relacionadas as plantas nativas e suas vizinhas invasoras. Portanto, estes dados poderiam ser aplicados, por exemplo, na conservação de macrófitas nativas como *P. repens* em cenários de mudanças de níveis d'água, principalmente quando estas espécies coexistem com invasoras como *U. arrecta*.

## REFERÊNCIAS

Armas, C., Ordiales, R., Pugnaire, F. I., 2004. Measuring plant interactions: a new comparative index. *Ecology* 85 (10) 2682-2686. <https://doi.org/10.1890/03-0650>.

Aroviita, J., Hamalainen, H., 2008. The impact of water-level regulation on littoral macroinvertebrate assemblages in boreal lakes. *Hydrobiologia* 613:45–56. DOI:10.1007/s10750-008-9471-4.

Bando, F.M., Michelin, T.S., Thomaz, S.M., 2016. Propagule success of an invasive Poaceae depends on size of parental plants. *Acta Limnol. Brasiliensia* 28, e23. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2216>.

Bertness, M. & Callaway, R.M., 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 9, 191–193.

Brooker, R., Kikvidze, Z., Francisco, I. P., Callaway, R. M., Choler, P., Lortie, C. J., Michalet, R., 2005. The importance of importance. *Oikos* 109, 63-70.

Chapin, F.S., Bloom, A.J., Field, C.B., Waring, R. H., 1987. Plant responses to multiple environmental factors: Physiological ecology provides tools for studying how interacting environmental resources control plant growth. *BioScience* 37: 49-57. <https://doi.org/10.2307/1310177>.

Coops H., Brink F.W.B., Velde G., 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. *Aquat Bot* 54:11–24. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(96\)01025-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(96)01025-X).

Dainez-Filho, M. S., Michelin, T. S., Louback-Franco, N., Souza, D. C., Cafoto, E. G., Thomaz, S. M., 2019. Role of sediment structuring by detritus on colonization and interspecific competition of one native and one invasive submerged macrophyte. *Hydrobiologia* 834, 63-74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-3909-8>.

Damuth, J. 1981. Population density and body size in mammals. *Nature* 290, 669-700.

Doell, P., Zhang, J., 2010. Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 14, 783–799. DOI:10.5194/hess-14-783-2010.

Ferreira, F.A., Mormul, R.P., Thomaz, S.M., Pott, A., & Pott, V.J., 2011. Macrophytes in the Upper Paraná River Floodplain: checklist and comparison with other large South American Wetlands. *Rev. Biol. Trop.* 59(2), 541-556. PMID:21717850.

Gibson, D. J., Connoly, J., Hartnett, D. C., Weidenhamer, J. D., 1999. Designs for Greenhouse studies of interactions between plants. *J. Ecol.* 87 (1): 1-16. <https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00321.x>.

He, Q., Bertness, M. D., Altieri, A. H., 2013. Global shifts towards positive species interactions with increasing environmental stress. *Ecol. Lett.* 16, 695–706. doi: 10.1111/ele.12080.

Junk, W. J., Bayley, P. B., Sparks, R. E., 1989. The floodpulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 106, 110–127.

Junk, W.J., An, S., Finlayson, C., Gopal, B., Květ, J., Mitchell, S.A., Mitsch, W.J., Robarts, R.D., 2013. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquat. Sci.* 75, 151–167. <https://doi.org/10.1007/s00027-012-0278-z>.

Leal, P. L., Silveira, M. J., Petsch, D. K., Mormul, R. P., Thomaz, S. M., 2021. The success of an invasive Poaceae explained by drought resilience but not by higher competitive ability. *Environ. Exp. Bot.* 194: 104717.

Li, F., Xie, Y., Zhang, C., Chen, X., Song, B., Li, Y., Tang, Y., Hu, J., 2014. Increased density facilitates plant acclimation to drought stress in the emergent macrophyte

*Polygonum hydropiper*. Ecol. Eng. 71, 66-70.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.029>.

Liang, J., Yi, Y., Li, X., Yuan, Y., Yang, S., Li, X., Zhu, Z., Lei, M., Meng, Q., Zhai, Y., 2021. Detecting changes in water level caused by climate, land cover and dam construction in interconnected river–lake systems. *Science of the Total Environ.* 788, 147692.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147692>.

Lortie, C. J. & Callaway, R. M., 2006. Re-analysis of meta-analysis: support for the stress-gradient hypothesis. *Journal of Ecology*, 94, 7-16.

Luo, W., Xie Y. H., 2009. Growth and morphological responses to water level and nutrient supply in three emergent macrophyte species. *Hydrobiol.* 624: 151-160. DOI:10.1007/s10750-008-9689-1.

Luo, W., Xie, Y., Chen, X., Li, F., Qin, X., 2010. Competition and facilitation in Three Marsh Plants in Response to a Water-Level Gradient. *Wetlands* 30: 525-530. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0064-4>.

Machado, R. S., Harthman, V. C., Murillo, R. A., Thomaz, S. M., Silveira, M. J., 2021. The anatomy of two species of emergent macrophytes of the genus *Polygonum* differentially changes in response to water level fluctuations. *Ecohydrology* 2341: 1-10.<https://doi.org/10.1002/eco.2341>.

Maestre, F. T., Callaway, R. M., Valladares, F., Lortie, C. J., 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *J. Ecol.* 97, 199-205. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2008.01476.x.

Malkinson, D., Tielborger, K., 2010. What does the stress-gradient hypothesis predict? Resolving the discrepancies. *Oikos* 199, 1546-1552.

Melo, E., 2020. *Polygonaceae* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB13722>>. Accessed on: 28 Mar. 2022.

Michelan, T.S., Thomaz, S.M., Mormul, R.P., Carvalho, P., 2010. Effects of an exotic invasive macrophyte (tropical signalgrass) on native plant community composition, species richness and functional diversity. *Freshw Biol* 55: 1315–1326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02355.x>.

Michelan, T. S., Thomaz, S. M., Bini, L. M., 2013. Native macrophyte density and richness affect the invasiveness of a tropical Poaceae. *PlosOne* 8: e60004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060004>.

Murillo, R. A, Alves, D. C., Machado, R. S., Silveira, M. J., Rodrigues, K. F., Thomaz, S. M., 2019. Response of two macrophytes of the genus *Polygonum* to water level fluctuations and interspecific competition. *Aquat. Bot.* 157: 10-16. DOI:10.1016/j.aquabot.2019.05.003.

O'Farrell, I., Izaguirre, I., Chaparro, G., Unrein, F., 2011. Water level as the main driver of the alternation between a free-floating plant and a phytoplankton dominated state: a long-term study in a floodplain lake. *AquatSci* 73:275–87. DOI:10.1007/s00027-010-0175-2.

Oliveira, R. C., Valls, J., 2015. *Paspalum* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available in: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/floradobrasil/FB13500>>.

Paciullo, D.S.C., Fernandes, P.B., Gomide, C.A.M., Castro, C.R.T., Sobrinho, F.S., Carvalho, C. A. B., 2011. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. *RevBrasZootec* 40:270–276. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200006>.

Petrow, T., Merz, B., 2009. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002. *Journal of Hydrology*. 371, 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.024>.

Riis, T., Hawes, I., 2002. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. *Aquat. Bot.* 74, 133–48. DOI:10.1016/S0304-3770(02)00074-8.

Rocha, P.C, 2010. Indicators of Hydrologic Alteration in the High Parana River Catchment: Human Interventions and Implications for Dynamic of the Fluvial Environment. *Sociedade & Natureza*, 22 (1), 205-225. doi: 10.1590/S1982-45132010000100014.

Santos, A. M., THOMAZ, S.M., 2007. Aquatic macrophytes diversity in lagoons of a tropical floodplain: The role of connectivity and water level. *Austral Ecology*, vol. 32, p. 177-190. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01665.x>.

Senna, L. R., 2020. *Alternanthera* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15403>>. Accessed on: 28 Mar. 2022.

Shirasuna, R. T., 2015. *Urochloa* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB26027>>.

Silva, C., Oliveira, R. P., 2020. *Hymenachne* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB13269>>. Accessed on 28 Mar. 2022.

Silveira, M. J., Alves, D. C., Thomaz, S. M., 2018. Effects of the density of the invasive macrophyte *Hydrilla verticillata* and root competition on growth of one native

macrophyte in different sediment. *Ecol. Res.* 33, 927-934. doi: 10.1007/s11284-018-1602-4.

Silvertown, J. & Charlesworth, D. 2001. *Introduction to plant population biology*. Blackwell, London.

Smit, C., Rietkerk, M., Wassen, M. J., 2009. Inclusion of biotic stress (consumer pressure) alters predictions from the stress gradient hypothesis. *J. Ecol.* 97, 1215–1219. doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01555.x.

Smith, R.G.B., Brock, M.A., 1996. Coexistence of *Juncus articulatus* L. and *Glyceria australis* CE Hubb. in a temporary shallow wetland in Australia. *Hydrobiologia* 340, 147–151. <https://doi.org/10.1007/BF00012747>.

Smith, R.G.B., Brock, M.A., 2007. The ups and downs of life on the edge: the influence of water level fluctuations on biomass allocation in two contrasting aquatic plants. *Plant Ecol.* 188, 103–116. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9151-2>.

Song, H., Guo, X., Yu, X., Liu, L., Wang, N., Eller, F., Guo, W., 2021. Is there evidence of local adaptation of *Phragmites australis* to water level gradients and fluctuation frequencies? *Science of the Total Envir.* 756, 144065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144065>.

Souza, D.C., Cunha, E. R., Murillo, A.R., Silveira, M.J., Pulzatto, M.M., Dainez-Filho, M.S., Lolis, L.A., & Thomaz, S.M., 2017. Species inventory of aquatic macrophytes in the last undammed stretch of the Upper Paraná River, Brazil. *Acta Limnol. Bras.* 29(0), e115. <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x6017>.

Souza, S. N. G., Piedade, M. T. F., Demarchi, L. O., 2020. Implications of global changes for the development and ecological interactions between two key Amazonian aquatic macrophytes. *Acta Bot. Bras.* 35 (1), 111-121. <https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0138>.

Thiébaud, G., Rodriguez-Perez, H., Jambom, O., 2019. Reciprocal interactions between the native *Mentha aquatica* and the invasive *Ludwigiahexapetala* in an outdoor experiment. *Aquat. Bot.* 157, 17-23. DOI:10.1016/j.aquabot.2019.05.005\_

Thomaz, S. M., Bini, L. M., Souza, M. C., Kita, K. K., Camargo, A. F. M., 1999. Aquatic macrophytes of Itaipu reservoir, Brazil: Survey of species and ecological considerations. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 42, 15-22.

Thomaz, S.M., Souza, D. C. & Bini, L. M., 2003. Species richness and beta diversity of aquatic macrophytes in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil): the influence of limnology and morphometry. *Hydrobiologia* 505, 119-128. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000007300.78143.e1>.

Thomaz, S.M., Pagioro, T.A., Bini, L.M., Murphy, K.J., 2006. Effect of reservoir drawdown on biomass of three species of aquatic macrophytes in a large sub-tropical reservoir (Itaipu, Brazil). *Hydrobiologia* 570, 53–59..DOI:10.1007/s10750-006-0161-9\_

Vicente, A. J. S., Candido, L. F., Silveira, M. J., Fidanza, K., 2022. Density effect of *Polygonum ferrugineum* Wedd. (Polygonaceae) and nutrients concentration of sediment on establishment of *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (Amaranthaceae). *Acta Limn. Bras.* 34. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X6821>.

Wang, P., Zhang, Q., Xu, Y. S., Yu, F. H., 2016. Effects of water level fluctuation on the growth of submerged macrophyte communities. *Flora* 223, 83–89. doi: 10.1016/j.flora.2016.05.005.

Yang, Y. Q., Yu, D., Li, Y. K., Xie, Y. H., Geng, X. H., 2004. Phenotypic plasticity of two submersed plants in responses to flooding. *Journal of Freshwater Ecology* 19: 69–76. <https://doi.org/10.1080/02705060.2004.9664514>.



Zhang, X., Liu, X., Ding, Q., 2013. Morphological responses to water-level fluctuations of two submerged macrophytes, *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata*. *Journal of Plant Ecology* 6: 64-70. <https://doi.org/10.1093/jpe/rts009>.

Zhou, J., Zheng, L. D., Pan, X., Li, W., Kang, X. M., Li, J., Ning, Y., Zhang, M. X., Cui, L. J., 2018. Hydrological conditions affect the interspecific interaction between two emergent wetlands species. *Front. Plant Sci.* 8: 2253. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02253>.

Zhu, G., Li, W., Zhang, M., Ni, L., Wang, S., 2012. Adaptation of submerged macrophytes to both water depth and flood intensity as revealed by their mechanical resistance. *Hydrobiol.* 696: 77-93. DOI:10.1007/s10750-012-1185-y.

**APÊNDICE A – Tabela suplementar 1. Mensurações do PH em cada mesocosmo do experimento I.**

Tratamento	4/10/21	18/10/21	1/11/21	10/11/21
Controle- Estático	6.32	6.49	6.50	6.32
Controle- Estático	6.38	6.46	6.75	6.38
Controle- Estático	6.40	6.48	6.76	6.40
Controle- Estático	6.64	6.59	6.77	6.64
Controle- Estático	6.49	6.28	6.81	6.49
Baixa densidade- Estático	5.85	6.25	6.89	5.85
Baixa densidade- Estático	6.09	6.40	6.95	6.09
Baixa densidade- Estático	6.41	6.52	6.96	6.41
Baixa densidade- Estático	6.44	6.58	6.86	6.44
Baixa densidade- Estático	6.60	6.50	6.67	6.60
Alta densidade- Estático	6.07	6.37	6.85	6.07
Alta densidade- Estático	6.07	6.34	6.91	6.07
Alta densidade- Estático	6.10	6.26	6.87	6.10
Alta densidade- Estático	6.46	6.54	6.94	6.46
Alta densidade- Estático	6.40	6.42	7.01	6.40
Controle- 20 cm	5.95	6.46	6.85	5.95
Controle- 20 cm	6.22	6.49	6.73	6.22
Controle- 20 cm	6.28	6.54	6.69	6.28
Controle- 20 cm	6.48	6.60	6.74	6.48
Controle- 20 cm	6.58	6.67	6.71	6.58
Baixa densidade – 20 cm	6.07	6.49	6.83	6.07
Baixa densidade – 20 cm	5.85	6.39	6.89	5.85
Baixa densidade – 20 cm	6.44	6.58	6.97	6.44
Baixa densidade – 20 cm	6.55	6.56	6.88	6.55
Baixa densidade – 20 cm	6.49	6.54	6.80	6.49
Alta densidade- 20 cm	6.14	6.35	6.86	6.14
Alta densidade- 20 cm	6.35	6.52	6.92	6.35
Alta densidade- 20 cm	6.45	6.64	6.91	6.45
Alta densidade- 20 cm	6.57	6.68	6.89	6.57
Alta densidade- 20 cm	6.46	6.57	6.86	6.46
Alta densidade- 40 cm	6.37	6.55	6.66	6.37
Alta densidade- 40 cm	6.49	6.56	6.62	6.49
Alta densidade- 40 cm	6.51	6.58	6.62	6.51
Alta densidade- 40 cm	6.40	6.37	6.70	6.40
Alta densidade- 40 cm	6.49	6.55	6.59	6.49

Baixa densidade- 40 cm	6.38	6.54	6.59	6.38
Baixa densidade- 40 cm	6.48	6.61	6.61	6.48
Baixa densidade- 40 cm	6.45	6.60	6.58	6.45
Baixa densidade- 40 cm	6.57	6.65	6.55	6.57
Baixa densidade- 40 cm	6.50	6.56	6.59	6.50
Controle- 40 cm	5.73	6.48	6.43	5.73
Controle- 40 cm	6.15	6.52	6.66	6.15
Controle- 40 cm	6.24	6.51	6.73	6.24
Controle- 40 cm	6.35	6.56	6.72	6.35
Controle- 40 cm	6.50	6.63	6.70	6.50

---

**APÊNDICE B -Tabela suplementar 2.** Mensurações da condutividade em cada mesocosmo do experimento I.

Tratamento	4/10/21	18/10/21	1/11/21	10/11/21
Controle- Estático	119.4	193.1	223	234
Controle- Estático	245	211	268	282
Controle- Estático	226	235	286	294
Controle- Estático	186.8	209	296	296
Controle- Estático	208	210	297	309
Baixa densidade- Estático	215	217	323	347
Baixa densidade- Estático	211	245	327	341
Baixa densidade- Estático	273	192.6	228	234
Baixa densidade- Estático	242	168.8	95.1	185.1
Baixa densidade- Estático	173.6	211	312	336
Alta densidade- Estático	276	283	333	348
Alta densidade- Estático	313	261	336	359
Alta densidade- Estático	238	275	435	447
Alta densidade- Estático	199.5	205	230	236
Alta densidade- Estático	262	277	286	292
Controle- 20 cm	214	147.8	212	212
Controle- 20 cm	222	162.5	203	207
Controle- 20 cm	242	153.1	202	209
Controle- 20 cm	209	150.1	218	225
Controle- 20 cm	220	153.1	237	246
Baixa densidade - 20 cm	176.6	135.5	195.9	206
Baixa densidade - 20 cm	254	156.9	206	214
Baixa densidade - 20 cm	242	168.8	222	230
Baixa densidade - 20 cm	246	157.6	252	256
Baixa densidade - 20 cm	205	145.2	191.2	198.1
Alta densidade- 20 cm	306	203	237	240
Alta densidade- 20 cm	221	165.7	228	234
Alta densidade- 20 cm	176.1	140.9	163.7	169.1
Alta densidade- 20 cm	219.1	150.7	202	207
Alta densidade- 20 cm	272	154.5	208	212
Alta densidade- 40 cm	275	169.5	169.9	171.4
Alta densidade- 40 cm	195.8	161.4	153.5	155.1
Alta densidade- 40 cm	269	156.3	152.2	154.7
Alta densidade- 40 cm	306	168.7	152.3	154.8
Alta densidade- 40 cm	272	152.5	146.8	149.4

Baixa densidade- 40 cm	217	138.2	156.2	158.2
Baixa densidade- 40 cm	172.1	138.5	155.2	158.4
Baixa densidade- 40 cm	209	149.1	144.8	147.3
Baixa densidade- 40 cm	228	162.7	169.1	170.7
Baixa densidade- 40 cm	229	146.3	155.6	156.1
Controle- 40 cm	194.5	151.8	153.5	149.4
Controle- 40 cm	230	183.4	171.6	172.9
Controle- 40 cm	234	148.1	148.2	149.5
Controle- 40 cm	286	159.1	142.4	144.6
Controle- 40 cm	192.6	154.6	183.8	185.1

---

**APÊNDICE C- Tabela suplementar 3.** Mensurações do PH em cada mesocosmo do experimento II.

Tratamento	4/10/21	18/10/21	1/11/2021	10/11/21
Controle- Estático	6.43	6.83	6.50	6.50
Controle- Estático	6.35	6.53	6.75	6.75
Controle- Estático	6.26	6.03	6.76	6.76
Controle- Estático	6.36	6.08	6.77	6.77
Controle- Estático	5.54	6.24	6.81	6.81
Controle- 20 cm	6.74	7.13	6.89	6.89
Controle- 20 cm	6.52	6.98	6.95	6.95
Controle- 20 cm	6.45	6.78	6.96	6.96
Controle- 20 cm	6.07	6.28	6.86	6.86
Controle- 20 cm	6.24	6.32	6.67	6.67
Controle- 40 cm	6.80	7.23	6.85	6.85
Controle- 40 cm	6.30	6.59	6.91	6.91
Controle- 40 cm	6.08	6.22	6.87	6.87
Controle- 40 cm	6.22	6.45	6.94	6.94
Controle- 40 cm	5.27	6.16	7.01	7.01
Riqueza baixa – Estático	6.78	7.22	6.85	6.85
Riqueza baixa – Estático	6.57	6.76	6.73	6.73
Riqueza baixa – Estático	6.20	6.22	6.69	6.69
Riqueza baixa – Estático	6.23	6.22	6.74	6.74
Riqueza baixa – Estático	5.54	6.31	6.71	6.71
Riqueza baixa - 20 cm	6.76	7.13	6.83	6.83
Riqueza baixa - 20 cm	6.36	6.84	6.89	6.89
Riqueza baixa - 20 cm	6.27	6.38	6.97	6.97
Riqueza baixa - 20 cm	6.32	6.30	6.88	6.88
Riqueza baixa - 20 cm	5.31	6.32	6.80	6.80
Riqueza baixa - 40 cm	6.62	7.04	6.86	6.86
Riqueza baixa - 40 cm	6.33	6.28	6.92	6.92
Riqueza baixa - 40 cm	6.16	6.37	6.91	6.91
Riqueza baixa - 40 cm	6.09	6.43	6.89	6.89
Riqueza baixa - 40 cm	5.58	6.24	6.86	6.86
Riqueza Alta – Estático	6.80	7.19	6.66	6.66
Riqueza Alta – Estático	6.42	6.73	6.62	6.62
Riqueza Alta – Estático	6.30	6.23	6.64	6.64
Riqueza Alta – Estático	6.07	6.28	6.70	6.70
Riqueza Alta – Estático	5.59	6.19	6.59	6.59
Riqueza Alta - 20 cm	6.72	7.12	6.59	6.59
Riqueza Alta - 20 cm	6.53	6.96	6.61	6.61
Riqueza Alta - 20 cm	6.17	6.24	6.58	6.58
Riqueza Alta - 20 cm	6.24	6.43	6.55	6.55
Riqueza Alta - 20 cm	5.54	6.34	6.59	6.59

---

Riqueza Alta - 40 cm	6.71	7.12	6.43	6.43
Riqueza Alta - 40 cm	6.37	6.72	6.66	6.66
Riqueza Alta - 40 cm	6.29	6.48	6.73	6.73
Riqueza Alta - 40 cm	6.18	6.29	6.72	6.72
Riqueza Alta - 40 cm	5.39	6.46	6.70	6.70

---

**APÊNDICE D- Tabela suplementar 4. Mensurações da condutividade em cada mesocosmo do experimento II.**

Tratamento	4/10/21	18/10/21	1/11/21	10/11/21
Controle- Estático	256	237	302	307
Controle- Estático	225	218	321	337
Controle- Estático	278	132.2	328	336
Controle- Estático	259	277	333	346
Controle- Estático	207	225	294	298
Controle- 20 cm	252	166.6	201	196.4
Controle- 20 cm	201	113.6	167.6	168.3
Controle- 20 cm	180.3	128.0	169.3	174.3
Controle- 20 cm	302	179.8	219	223
Controle- 20 cm	231	147.1	193.5	197.8
Controle- 40 cm	236	145.8	154.5	156.9
Controle- 40 cm	287	181.2	151.5	158.1
Controle- 40 cm	373	191.6	163.3	159.1
Controle- 40 cm	171.8	144	133.6	131.2
Controle- 40 cm	279	146.3	176.8	130.1
Riqueza baixa – Estático	274	227	235	264
Riqueza baixa – Estático	171	143.8	227	296
Riqueza baixa – Estático	242	152.1	262	288
Riqueza baixa – Estático	202	186.1	277	292
Riqueza baixa – Estático	175.7	85.7	284	104.3
Riqueza baixa - 20 cm	251	144.9	169.1	159.4
Riqueza baixa - 20 cm	197.6	91.4	102.5	95.8
Riqueza baixa - 20 cm	159.2	136.1	152.2	159.9
Riqueza baixa - 20 cm	141.6	119.2	145.6	149.5
Riqueza baixa - 20 cm	246	143.2	176.5	179.6
Riqueza baixa - 40 cm	225	114.4	125.1	120.6
Riqueza baixa - 40 cm	201	183.9	123	121.3
Riqueza baixa - 40 cm	240	144.9	107.7	104.8
Riqueza baixa - 40 cm	296	142.7	120.2	119.9
Riqueza baixa - 40 cm	214	141.8	159.5	127.1
Riqueza Alta – Estático	223	192.8	221	238
Riqueza Alta – Estático	196.7	148.3	237	256
Riqueza Alta – Estático	279	236	270	292
Riqueza Alta – Estático	302	179.8	270	292
Riqueza Alta – Estático	270	184.7	219	237
Riqueza Alta - 20 cm	235	143.3	151.5	154.9
Riqueza Alta - 20 cm	221	144.5	229	162.2
Riqueza Alta - 20 cm	259	190.2	166.1	166.4
Riqueza Alta - 20 cm	195.1	133.9	150.2	151.6
Riqueza Alta - 20 cm	175.7	113.7	165.7	147.8



Riqueza Alta - 40 cm	204	113.2	122.1	121.8
Riqueza Alta - 40 cm	246	131.3	120.6	119.2
Riqueza Alta - 40 cm	153.4	97.4	97.1	94.5
Riqueza Alta - 40 cm	244	139.5	121.6	121.3
Riqueza Alta - 40 cm	218	120.2	113.2	115.2

**APÊNDICE E- Tabela suplementar 5.** Mensurações da luminosidade em casa de vegetação.

<b>04/10/2021</b>	<b>18/10/2021</b>	<b>01/11/2021</b>	<b>10/11/2021</b>
229 Lux	232 Lux	239 Lux	499 Lux
188 Lux	1222 Lux	427 Lux	1022 Lux
291 Lux	629 Lux	876 Lux	894 Lux
784 Lux	927 Lux	673 Lux	659 Lux
198 Lux	323 Lux	988 Lux	345 Lux
1049 Lux	1123 Lux	1249 Lux	751 Lux
848 Lux	784 Lux	527 Lux	820 Lux
926 Lux	549 Lux	127 Lux	661 Lux
1212 Lux	629 Lux	763 Lux	1289 Lux
1287 Lux	1028 Lux	867 Lux	1001 Lux