



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



**A complexidade de macrófitas aquáticas
influencia os atributos funcionais de
invertebrados aquáticos?**

Aluna: Bárbara Oleinski Parada

Orientadora: Edélti Faria Albertoni

Rio Grande
2022



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais



A complexidade de macrófitas aquáticas influencia os atributos funcionais de invertebrados aquáticos?

Aluna: Bárbara Oleinski Parada

Orientadora: Edélti Faria Albertoni

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande
2022

Ficha Catalográfica

P222c Parada, Bárbara Oleinski.

A complexidade de macrófitas aquáticas influencia os atributos funcionais de invertebrados aquáticos? / Bárbara Oleinski Parada. – 2022.

47 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2022.

Orientadora: Dra. Edélti Faria Albertoni.

1. Macroinvertebrados 2. Plantas aquáticas 3. Atributos funcionais 4. Riacho arenoso I. Albertoni, Edélti Faria II. Título.

CDU 581.526.32

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE -
FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 008/2022

Às 08h30 (oito horas e trinta minutos) do dia 21 (vinte e um) do mês de dezembro de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa-de-dissertacao-barbara-oleinski-parada>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado da acadêmica Bárbara Oleinski Parada. A Dissertação intitulada “**A complexidade de macrófitas aquáticas influencia a diversidade funcional de invertebrados aquáticos?**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Prof^a. Dra. Edélti Faria Albertoni (Orientadora e Presidente da Banca); Prof^a Dra. Cristina Stenert Maltchik Garcia (FURG) e Prof^a Dra. Rozane Maria Restello (URI). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou a acadêmica **APROVADA**. Desta forma, a acadêmica concluiu mais uma das etapas necessárias para a obtenção do grau de **MESTRE EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 12h00h (doze horas) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Documento assinado digitalmente



EDELTI FARIA ALBERTONI
Data: 02/01/2023 11:05:18-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a. Dra. Edélti Faria Albertoni

Documento assinado digitalmente



CRISTINA STENERT MALTCHIK GARCIA
Data: 22/12/2022 13:29:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a Dra. Cristina Stenert Maltchik Garcia

Prof^a Dra. Rozane Maria Restello

Bárbara Oleinski Parada

Documento assinado digitalmente



ROGERIO TUBINO VIANNA
Data: 02/01/2023 12:34:53-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

“Aos que estiveram comigo ao longo desta caminhada, dedico.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha mãe Simone, e ao meu paidrasto Edilon, pelo incentivo aos estudos e por terem me dado a oportunidade de ser a primeira mulher de nossa família a conquistar a pós-graduação. Por terem me auxiliado em cada etapa deste processo, pela paciência, pelo amor e carinho. À minha irmã Syngrid, pelas conversas, pelos momentos que dividimos que me auxiliaram a percorrer este caminho. Vocês são muito importantes para mim, amo vocês!

Ao meu companheiro Mikael, que me encoraja sempre. Obrigada por ser tão presente na minha vida, por toda dedicação, carinho e amor ao longo de todos estes anos. Este trabalho é resultado do seu incentivo diário. O quanto amadureci, é graças a você. Te amo muito meu amor!

Aos meus dindos, Darlan e Nika que estão sempre presentes na minha vida, mesmo de longe. Obrigado por serem incentivadores das coisas que almejo.

Ainda sobre família, agradeço aos meus pets Amora, Jerry, Tom, Jojô, Chico, Surya, Bibi, Logan e Tatá que estão diariamente ao meu lado. Tornam os meus dias mais felizes! Deixo também meu eterno agradecimento também ao Zidane e Dakota que amo muito (in memoriam).

Em especial, à minha querida orientadora Edélti Albertoni, pilar deste lindo ciclo que vivemos juntas. Obrigada por ser uma mulher tão inspiradora! Obrigada por compartilhar sua experiência, seu conhecimento e principalmente por ser uma amiga ímpar para além da academia, que levarei para a vida toda.

Às minhas amigas do CEAMECIM (FURG), Sarah Menezes, Fafá Branco e Fafá Stein. Vocês são mulheres incríveis! Obrigada pela linda amizade. Amo vocês.

À minha amiga Ingrid Souza, a idealizadora da “mana, que bico”. Obrigada por ser minha âncora durante essa caminhada que compartilhamos juntas, por tornar tudo mais leve. Por toda força que me dá mesmo de longe, você me inspira!

À minha amiga Paola Pires, por ser minha dupla durante todos esses anos. Obrigada pela nossa linda amizade, conte comigo sempre.

Ao meu amigo de infância Daniel Burd, obrigada pela amizade leal de anos, és muito importante para mim.

Às amigas que a limnologia me deu, Thaís Carneiro e Karoline Martins, obrigada por cada momento partilhado, pelas trocas, pelos ensinamentos. Vocês fazem parte deste processo também.

Aos técnicos da limnologia: Cláudio Trindade, Clara Lima, Leonardo Furlanetto, por toda dedicação.

*Com carinho,
Bárbara Oleinski*

RESUMO

As macrófitas aquáticas atuam como elo na estruturação e manutenção de sistemas de água doce através de produção primária, ciclagem e estocagem de nutrientes. Além disso, desempenham o papel de recurso alimentar e abrigo para organismos aquáticos. A vegetação aquática é primordial para o estabelecimento e desenvolvimento de comunidades, contribuindo para a heterogeneidade de habitats de ecossistemas aquáticos. A complexidade de habitat é o conjunto de estruturas físicas no ambiente que fornecem substratos (*e.g.*, troncos submersos, pedras e superfícies) que permitem a colonização e o estabelecimento de organismos. As macrófitas possuem o potencial de elevar a complexidade do habitat devido as variações de biotipos, fornecendo diferentes recursos para a comunidade associada. A complexidade pode ser definida através de diferentes abordagens, sendo uma delas através da biomassa vegetal. Compreender as relações acerca da complexidade vegetal permite investigar os efeitos das mesmas sobre as assembleias de invertebrados, visto que cada biotipo pode fornecer condições específicas e diferentes tipos de uso da superfície. Estudos envolvendo este tema vêm demonstrando a existência de uma relação entre os níveis mais elevados de complexidade com maior riqueza e abundância de organismos colonizadores. Os invertebrados são utilizados como organismos de estudo para avaliar sistemas de água doce, e a abordagem funcional tem se mostrado eficiente para descrever as relações entre essas comunidades com o ambiente. A abordagem funcional permite compreender as relações acerca de processos ecossistêmicos, estudos de biomonitoramento, relações alimentares e sobre impactos ambientais. Dessa forma, o objetivo deste estudo é investigar se a complexidade das macrófitas pode influenciar nas métricas da comunidade de invertebrados aquáticos em arroio subtropical. O riacho escolhido para este estudo foi o Riacho Cabeças localizado no município de Rio Grande, RS, Brasil.

Palavras-chave: Macroinvertebrados, plantas aquáticas, atributos funcionais, riacho arenoso

ABSTRACT

Aquatic macrophytes act as a link in structuring and maintaining freshwater systems through primary production, cycling and nutrient storage. In addition, they play the role of food resource and shelter for aquatic organisms. Aquatic vegetation is essential for the establishment and development of communities, contributing to the heterogeneity of habitats in aquatic ecosystems. Habitat complexity is the set of physical structures in the environment that provide substrates (e.g., submerged logs, rocks, and surfaces) that allow organisms to colonize and establish. Macrophytes have the potential to increase habitat complexity due to biotype variations, providing different resources for the associated community. Complexity can be defined through different approaches, one of which is through plant biomass. Understanding the relationships around plant complexity allows investigating their effects on invertebrate assemblages, since each biotype can provide specific conditions and different types of surface use. Studies involving this topic have demonstrated the existence of a relationship between higher levels of complexity and greater richness and abundance of colonizing organisms. Invertebrates are used as study organisms to evaluate freshwater systems, and the functional approach has been shown to be efficient to describe the relationships between these communities and the environment. The functional approach allows understanding the relationships about ecosystem processes, biomonitoring studies, food relationships and about environmental impacts. Thus, the objective of this study is to investigate whether the complexity of macrophytes can influence the metrics of the aquatic invertebrate community in a subtropical stream. The creek chosen for this study was the Riacho Cabeças located in the municipality of Rio Grande, RS, Brazil.

Key-words: Macroinvertebrates, aquatic plants, functional traits, sandy stream

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação apresenta em sua estrutura: introdução geral, referências bibliográficas, capítulo 1 e considerações finais e perspectivas, bem como as normas para a publicação na revista *Aquatic Ecology*. É apresentado na introdução geral informações e aspectos relevantes para essa dissertação sobre macrófitas aquáticas e comunidade de invertebrados aquáticos. A introdução geral, referências bibliográficas e considerações finais e perspectivas seguem as normas da ABNT. O capítulo 1, refere-se a um artigo a ser submetido para a revista *Aquatic Ecology*, intitulado “Relações entre a complexidade de macrófitas aquáticas e variáveis ambientais sobre os atributos funcionais de invertebrados de um riacho subtropical no sul do Brasil”, apresentando informações acerca do tema de complexidade de macrófitas aquáticas e atributos funcionais de invertebrados aquáticos. Esse artigo segue as normas de formatação segundo essa revista, exceto o idioma do artigo que se encontra em português.

SUMÁRIO

Lista de figuras	9
Lista de tabelas	10
Introdução geral.....	11
Macrófitas aquáticas.....	11
Comunidade de invertebrados aquáticos.....	13
Área de estudo	14
Referências bibliográficas.....	18
Capítulo 1	23
Introdução.....	26
Material e métodos.....	27
Resultados	30
Discussão.....	34
Considerações.....	37
Referências	37
Perspectivas.....	42

LISTA DE FIGURAS

Introdução geral

Figura 1: Formas biológicas de macrófitas aquáticas.

Figura 2: Localização do Riacho (Arroio Cabeças) e Lagoa dos Patos.

Figura 3: *Stuckenia pectinata* (L.) Börner.

Figura 4: *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.)

Figura 5: *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth

Capítulo 1

Figura 1: Localização do Riacho (Arroio Cabeças) e Lagoa dos Patos.

Figura 2: Frequência dos atributos funcionais para cada complexidade.

Figura 2: Análise RLQ com dados das variáveis ambientais, complexidade das macrófitas e atributos funcionais dos invertebrados.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1: Valores de variáveis ambientais do Riacho Cabeças.

Tabela 2: Categorização dos diferentes níveis de complexidade das macrófitas aquáticas

Tabela 3: Categorização dos atributos funcionais de invertebrados aquáticos utilizado para caracterizar a amostragem.

Tabela 4: Valores de riqueza, indivíduos e Índices de diversidade dos três níveis de complexidade das macrófitas aquáticas.

Tabela 5: Abundância e frequência de ocorrência dos invertebrados colonizadores das três complexidades de macrófitas aquáticas diferentes.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Macrófitas aquáticas

Macrófitas aquáticas são caracterizadas como organismos fotossintetizantes que se desenvolvem de forma permanente ou periodicamente submersos, flutuando ou sobre a superfície aquática (Chambers et al. 2008), fazendo parte deste grupo as plantas de pequenas até grandes dimensões (Tundisi & Tundisi, 2008). A vegetação aquática atua como chave na estruturação e manutenção em sistemas de água doce (Nunes et al. 2020), atuando como produtora primária, participando da ciclagem e estocagem de nutrientes, controle de poluição e de eutrofização artificial (Hari et al. 2006; Thomaz & Esteves, 2011; Schneider et al. 2012). Além disso, são recurso alimentar e abrigo contra predadores de organismos aquáticos (*e.g.* peixes, anfíbios, invertebrados) (Trindade et al. 2010; Brito et al. 2021; Quirino et al. 2021) e contribuem contra as forças físicas da água (Tokeshi & Arakaki, 2012) como a correnteza, conferindo proteção nesse sentido.

As macrófitas são classificadas em grupos ecológicos (Thomaz & Esteves, 2011) com base nas formas biológicas, ou ainda, biotipo. A classificação considera a localização dos órgãos vegetais em relação à água (Fig. 1). São grupos ecológicos (Pompêo & Moschini- Carlos, 2003; Thomaz & Esteves, 2011):

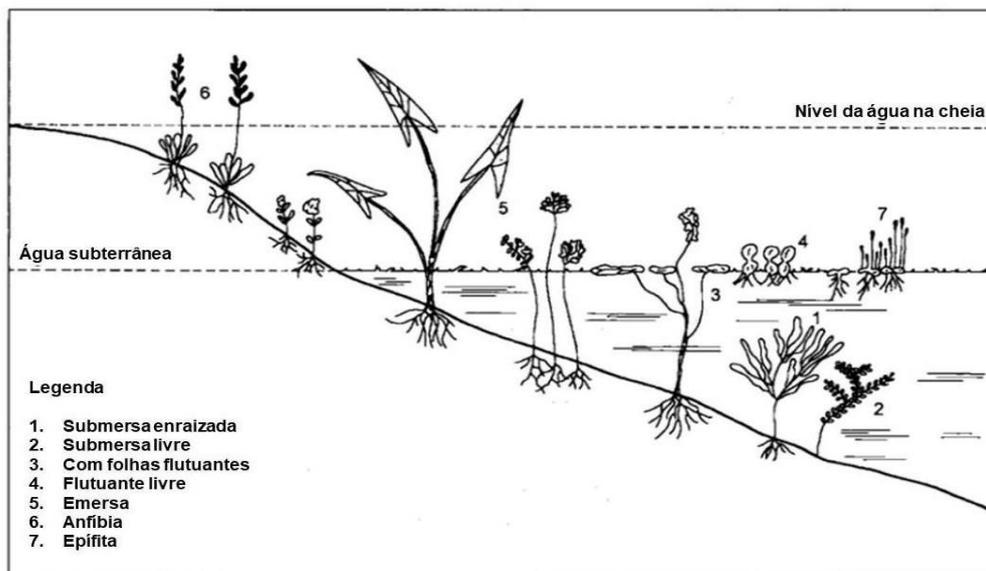


Figura 1. Formas biológicas de macrófitas aquáticas. Adaptado de Trindade et al (2010).

- a) Submersas enraizadas: plantas enraizadas no sedimento que crescem totalmente submersas na água;
- b) Submersas livres: plantas com raízes pouco desenvolvidas que flutuam submersas na água;
- c) Flutuantes livres: plantas enraizadas que flutuam na coluna d'água;

d) Com folhas flutuantes: plantas enraizadas em que as folhas flutuam na coluna d'água;

e) Emersas: plantas enraizadas no sedimento com folhas acima da coluna d'água.

Ainda, Pedralli (2000) considera além das categorias anteriores, duas categorias:

f) Anfíbias: plantas que se desenvolvem na interface entre ambiente aquático e terrestre;

g) Epífitas: plantas que se estabelecem e se desenvolvem sobre outros indivíduos de espécies flutuantes.

A vegetação aquática atua como elo para o estabelecimento de diversas comunidades contribuindo para a heterogeneidade de habitats nesses ecossistemas (Rolon et al. 2011). A complexidade de habitat é o conjunto de estruturas físicas no ambiente que fornecem substratos (e.g., troncos submersos, pedras e superfícies) que permitem a colonização e o estabelecimento de organismos (Tokeshi & Arakaki, 2012). MacArthur & MacArthur (1961) desenvolveram o estudo ecológico pioneiro envolvendo a temática, onde foi constatado que a estrutura física de folhas e galhos em florestas temperadas influenciavam a diversidade de comunidades de aves. Ao decorrer dos anos, outros estudos sobre complexidade de habitat foram realizados (Gallardo et al. 2017; Silva & Henry, 2020; Brito et al. 2021), relatando padrões semelhantes. Autores constataram em suas pesquisas que a diversidade de espécies de plantas aquáticas de uma localidade possui potencial de elevar a complexidade do habitat devido a variedade de biotipos que possuem (Kovalenko et al. 2012; Brito et al. 2021), além de fornecer diferentes recursos para seus colonizadores (Yofukuji et al. 2021).

A complexidade morfológica das macrófitas é determinada pela estrutura das folhas, caules, pecíolos e raízes, ou ainda pela biomassa (Nascimento Filho et al. 2021). Compreender a complexidade vegetal permite investigar os efeitos das mesmas sobre organismos (Ferreiro et al. 2011; Casartelli & Ferragut, 2018; Nascimento Filho et al. 2021), visto que a comunidade associada depende diretamente do biotipo (Wolters et al. 2018). Estudos demonstraram a relação entre a biomassa e densidade macrófitas aquáticas com a composição da comunidade associada (Albertoni et al. 2001; Albertoni & Palma-Silva, 2006). Outros autores sugerem que macrófitas mais complexas subsidiadas tanto pela morfologia quanto pela biomassa podem fornecer uma área de superfície maior do que macrófitas mais simples, suportando maior biomassa e densidade de invertebrados associados (Ferreiro et al. 2011; Ferreiro et al. 2013; Wolters et al. 2018; Nascimento Filho et al. 2021). Assim a biomassa atingida pelos estandes de macrófitas aquáticas aliada à sua morfologia, são um *proxy* para caracterizar a complexidade de habitat fornecida pelas plantas. Por este motivo, a morfologia, a área de superfície das macrófitas e biomassa vegetal têm sido utilizadas como índice para estimar a complexidade de macrófitas (Ferreiro et al., 2011; Ferreiro et al., 2013; Nascimento Filho et al., 2021).

1.2 Comunidade de Invertebrados Aquáticos

Em especial para os invertebrados aquáticos, as macrófitas fornecem micro habitats, substrato para reprodução e atuam como fonte alimentar (Ribeiro et al. 2022; Santana et al. 2021; Son et al. 2021). Os insetos são um dos principais grupos a colonizar esse tipo de vegetação, alguns em fase larval e adulta e outros somente em fase larval (Whatley et al. 2014; Garcia Rios et al. 2022). Um estudo de Poi et al. (2021) sugere que os invertebrados atuam como elo em relações entre plantas, peixes, anfíbios e pássaros, dessa forma, torna-se necessário compreender as relações acerca desse tema.

Os invertebrados aquáticos são utilizados como organismos de estudo para avaliar ecossistemas aquáticos em diversas regiões (Lamouroux et al. 2004; Schiller et al. 2017). Esses estudos, em sua maioria, consideram duas abordagens para realizar essa avaliação: a composição taxonômica e a abordagem funcional (Merritt et al. 2014). Estudos que consideram somente os aspectos taxonômicos, utilizam principalmente a riqueza e abundância de táxons (Mereta et al. 2013; Gleason & Rooney, 2017), enquanto os de diversidade funcional abordam aspectos como: grupos funcionais de alimentação (GFA) (Cummins, 2005); Mandomguia et al. 2016; Castro et al. 2018); tamanho corporal, estágio aquático, modo de reprodução, forma corporal (Stalter et al. 2013; Castro et al. 2018; Conceição et al. 2020). Outras abordagens são relacionadas à comportamento ou fisiologia (Sodré & Bozelli, 2019). A categorização em diferentes traços funcionais tem se mostrado eficiente como ferramenta para descrever a estrutura de comunidades em sistemas aquáticos (Serra et al. 2017; Gomes et al. 2019). Essa abordagem permite compreender as relações acerca de processos ecossistêmicos (Diaz & Cabido, 2001), sendo utilizada para estudos de biomonitoramento (Saito et al. 2015), compreender relações alimentares (Silva et al. 2008) e sobre impactos ambientais (Gomes et al. 2018).

O nível de perturbação do sistema aquático possui potencial de influenciar o tamanho corporal, no qual tamanhos pequenos são característicos de ambientes altamente perturbados (Boets et al. 2013; Serra et al. 2017; Castro et al. 2018). Outro formato de classificação comumente utilizado é a categorização em grupos funcionais de alimentação. Através desta, pode-se obter informações acerca da utilização e disponibilidade de recursos alimentares, assim como entender o processo de dinâmica trófica do ecossistema (Feio & Doledec, 2012; Gebrehiwot et al. 2017).

Em relação à categorização em grupos funcionais de alimentação, os invertebrados são classificados nos seguintes grupos conforme Cummins et al (2005):

- Fragmentadores: consomem tecidos vegetais condicionados pela microbiota que constituem a matéria orgânica particulada grossa (MOPG) > 1 mm de diâmetro, convertendo-a em matéria orgânica particulada fina (MOPF).

- Coletores-catadores: consomem matéria orgânica particulada fina (MOPF) <1 mm de diâmetro (também conhecidos como alimentadores de depósitos, que ingerem sedimento ou coletam partículas soltas);
- Coletores filtradores: consomem matéria orgânica particulada fina (MOPF) <1 mm de diâmetro (também chamados de alimentadores de suspensão, no qual filtram partículas da coluna da água);
- Raspadores: alimentam-se de perifíton (principalmente de algas presentes nos substratos);
- Predadores: consomem outros organismos (através de seus fluídos ou capturam e consomem a presa).

Dessa forma, considerando o acima exposto, esta dissertação buscou avaliar a comunidade de invertebrados aquáticos associados à macrófitas aquáticas em um riacho na planície costeira do sul do Brasil, buscando responder se a complexidade de macrófitas aquáticas pode influenciar na diversidade funcional de invertebrados aquáticos. A hipótese deste estudo é de que macrófitas com maiores complexidades irão apresentar maiores valores de riqueza, abundância e atributos funcionais.

2. Objetivo geral

Investigar se a complexidade das macrófitas pode influenciar nas métricas da comunidade de invertebrados aquáticos em arroio subtropical.

2.1 Objetivos específicos

Investigar a riqueza, abundância e atributos funcionais de invertebrados a partir da influência de:

- a) Complexidade das macrófitas
- b) Variáveis ambientais

2.2 Área de estudo

Os ecossistemas aquáticos continentais abrangem grande diversidade de corpos hídricos, podendo ser classificados como lênticos ou lóticos. Os ecossistemas lóticos são caracterizados principalmente pela correnteza na coluna da água. Esses corpos hídricos também podem ser diferenciados de ambientes lênticos pela presença de maiores concentrações de oxigênio, maior heterogeneidade de habitats e uniformidade de nutrientes na água (Salles & Ferreira-Júnior, 2014).

Riachos são caracterizados como rios de pequena ordem com áreas de inundação descontínuas (Tundisi & Tundisi, 2008), possuem fluxo unidirecional, e ritmo hidrológico dependente do clima (Albertoni & Palma-Silva, 2010). Os riachos possuem características diversas e diferentes níveis de complexidade (Tundisi & Tundisi, 2008). A sua correnteza pode ser

influenciada por diversos fatores, como por exemplo a declividade. A baixa declividade faz com que esses ambientes desenvolvam limitada correnteza (Telöken et al. 2014).

O município de Rio Grande localiza-se na porção sul da planície costeira do estado do Rio Grande do Sul (PCRS), estando inserido na unidade mórfica arenosa do litoral (Albertoni et al. 2007). A planície costeira é a porção sedimentar de origem mais recente do Rio Grande do Sul, sendo resultante de diversas transgressões e regressões do nível do mar no período quaternário (Buchmann et al. 2009), formando paisagem de terras baixas e grande quantidade de lagoas interconectadas por canais e arroios (Albertoni & Palma-Silva, 2010). Em sistemas lóticos da planície costeira a baixa profundidade é prevalente, permitindo o desenvolvimento e o estabelecimento de espécies vegetais (Vieira & Rangel, 1988).

O riacho (Fig. 2) deste estudo é popularmente conhecido como “Arroio Cabeças” ou ainda, “Arroio das Cabeças” (32°04'35''S 52°15'08''W), localizado no bairro Vila da Quinta na região oeste do Município de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil desemboca na Lagoa dos Patos. O clima da região é subtropical úmido com temperaturas médias anuais oscilando entre 17 e 19°C, e precipitações anuais entre 1200 e 1500mm (Alvares et al. 2014).

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram coletadas três espécies de macrófitas abundantes no riacho, que apresentam diferentes características morfológicas, hábitos e biomassa, sendo as espécies: *Stuckenia pectinata* (L.) Börner, *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.), e *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth.



Figura 2. Localização do Riacho (Arroio Cabeças) e Lagoa dos Patos. Fonte: *Google Earth* adaptado.

A espécie *Stuckenia pectinata* (Fig. 3) é uma macrófita aquática submersa enraizada da família Potamogetonaceae, apresenta distribuição ampla em ecossistemas aquáticos límnicos e

costeiros com profundidade de 0,5 – 1,5 m (Rodrigues & Irgang, 2001; Costa et al. 2018). Esta espécie cresce em quase todos os tipos de substratos de fundo, e adaptou-se ao seu modo de vida, crescendo suas raízes em sedimentos com baixos níveis de oxigênio (Costa et al. 2018). Possui folhas finas e alongadas, com muita ramificação no ápice, seu rizoma apresenta o comprimento de 0,2 – 0,25 cm, caule cilíndrico no tamanho de 0,07 – 0,24 cm, folhas submersas com 1,8 – 13 cm de comprimento, 0,03 – 0,46 cm de largura, e sua floração ocorre nos meses de outubro a abril (Rodrigues & Irgang, 2001).



Figura 3 *Stuckenia pectinata* (L.) Börner. A) Flor. B) Folhas. Direitos autorais de imagem: <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/stuckenia/pectinata/>. Acesso em 15/09/2022.

A espécie *Ludwigia hexapetala*, (Fig. 4) é representante da família Onagraceae, que possui cerca de 650 espécies distribuídas nas regiões temperadas e subtropicais (Bertuzzi et al. 2011). Segundo Ramamoorthy & Zardini (1987) o gênero *Ludwigia* é um dos mais diversos e maior gênero de Onagraceae, com 82 espécies, sendo 45 ocorrentes na América do Sul. Essa espécie apresenta um estágio de crescimento horizontal sobre a água com pequenas folhas redondas, e um estágio de crescimento com folhas eretas alongadas (Thiebaut et al. 2018). É amplamente encontrada no Brasil, estando mais associada a ecossistemas aquáticos, principalmente aqueles eutrofizados como pequenos riachos e lagos (Souza & Lorenzi, 2008; Thiebaut et al. 2018). Além disso, a espécie é considerada erva ou subarbustos perenes de 04 a 1 m, com ramos florais eretos, apresentando cerca de 24 – 30 cm de ramificação, caule não alado, folhas do ramo floral 3 – 9 medindo 1,5 – 2,5 cm (Bertuzzi et al. 2011; Pesamosca & Boldrini, 2015). Com suas flores pentâmeras, pecíolo com 0,5 – 3 cm de comprimento e período de floração e frutificação de novembro a março (Bertuzzi et al. 2011; Pesamosca & Boldrini, 2015). Dessa forma, *L. hexapetala* é considerada uma macrófita aquática anfíbia.



Figura 4. *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.). A) Flor. B) Folhas. Direitos autorais de imagem: <https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/ludwigia-hexapetala>. Acesso em 15/09/2022.

A espécie *Eichhornia azurea* (Fig. 5) da família Pontederiaceae, é considerada uma macrófita enraizada de folhas flutuantes, caules alongados, folhas sésseis no ápice das hastes e folhas pecioladas distribuídos ao longo das hastes, pecíolos de 10 – 28 cm de comprimento, folhas de 9 – 14 medindo 6 – 13 cm, amplamente elíptica a estreitamente obovada e flores de lilás a roxo (Pellegrini & Guarnier, 2022). É amplamente distribuída na região neotropical do México ao Uruguai, e no Brasil é encontrada em quase todos os estados, exceto em alguns estados mais ao norte (Pellegrini & Guarnier, 2022).



Figura 5. *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. A) Flor. B) Folhas. Direitos autorais de imagem: <https://www.ufrgs.br/floracampestre/eichhornia-azurea>. Acesso em 15/09/2022

Diferentes plantas aquáticas apresentam distintas composições em termos de biomassa. Este fator pode atuar como determinante no estabelecimento de comunidades de invertebrados

associados a estas plantas (Ferreiro et al. 2011; Cunha et al. 2012; Wolters et al. 2018; Nascimento Filho et al. 2021).

Referências Bibliográficas

Albertoni, E. F & Palma-Silva, C. 2010. Caracterização e importância dos invertebrados de águas continentais com ênfase nos ambientes de Rio Grande. *Cadernos de Ecologia Aquática*. 5:1.

Albertoni, E. F., Palma-Silva, C. 2006. Macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas flutuantes em canais urbanos de escoamento pluvial (Balneário Cassino, Rio Grande, RS). *Neotropical Biology and Conservation* 1(2): 90-100.

Albertoni, E. F., Palma-Silva, C., Esteves, F. A. 2001. Macroinvertebrates associated with *Chara* in a tropical coastal lagoon (Imboassica Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil). *Hydrobiologia* 457: 215–224.

Albertoni, E. F., Prellvitz, L. I., Palma-Silva, C. 2007. Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* in subtropical lakes (South Brazil). *Braz. J. Biol.* 67(3): 499-507.

Alvares, C. A., Stape, J. L. Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22(6):711- 728.

Bertuzzi, T., Grigoletto, D., Canto-Dorow, T.S., Eisinger, S. M. 2011. O gênero *Ludwigia* L. (Onagraceae) no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciências e Natura*, UFSM, 33(1): 43 – 73.

Boets, P., Thas, O., Vijver, E. V., Lock, K., Topke, K., Cooman, W. D., Janssen, C. R., Goethals, P. L. 2013. Relating taxonomy-based traits of macroinvertebrates with river sediment quality based on basic and zero-inflated Poisson models. *Ecology Information*. 18:49-60.

Brito, J. S., Michelin, T. S., Juen, L. 2021. Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology*, 22:139-149.

Buchmann, F. S. C., Caron, F., Lopes, R. P., Ugri, A., Lima, L. G. Panorama Geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. In: Quaternário do Rio Grande do Sul: Integrando conhecimentos. 2009. 35-56.

Casartelli, M.R., Ferragut, C. 2018. The effects of habitat complexity on periphyton biomass accumulation and taxonomic structure during colonization. *Hydrobiologia* 807:233–246.

Castro, D. M. P., Dolédec, S., Callisto, M. 2018. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savana streams. *Ecological Indicators*. 84:573-582

Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., Thomaz, S. M. 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Freshwater Animal Diversity Assessment*. 9-26.

Conceição, A. A., Albertoni, E. F., Milesi, S. V., Hepp, L. H. 2020. Influence of Antropic Impacts on the Funcional Structure of Aquatic Invertebrates in Subtropical Wetlands. *General Wetland Science*. 40:2287-2296

Costa, M. B., Tavares, F. V., Martinez, C. B., Colares, I. C., Martins, C. M. G. 2018. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 155:117–124.

Cummins, K. W., Merrit, R. W., Andrade, P. C. N. 2005. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem atributes in selected streams and rivers in South Brazil. *Studes on Neotropical Fauna and Environment*. 40(1): 69-89.

Cunha, E. R., Thomaz, S. M., Mormul, R. P., Cafofo, E. G., Bonaldo, A. B. 2012. Macrophyte Structural Complexity Influences Spider Assemblage Attributes in Wetlands. *Wetlands*. 32: 369-377.

Diaz, S. & Cabido, M. 2001. Vive la difference: Plant functional diversity matters to ecosystem process. *Trends in Ecology & Evolution*. 16: 646-655.

Ferreiro N., Giorgi, A., Feijoo, C. 2013. Effects of macrophyte architecture and leaf shape complexity on structural parameters of the epiphytic algal community in a Pampean stream. *Aquat Ecol* 47:389–401.

Ferreiro, N., Feijoo, C., Giorgi, A., Leggieri, L. 2011. Effects of macrophyte heterogeneity and food availability on structural parameters of the macroinvertebrate community in a Pampean stream. *Hydrobiologia* 664: 199–211.

Gallardo, L.I., Romina, P.C., Porcel, E.A., Poi, A.S.G. 2017. Does the effect of aquatic plant types on invertebrate assemblages change across seasons in a subtropical wetland? *Limnetica* 36(1):87–98.

Garcia Rios, R., Moi, D. A., Melo, A. S., Mormul, R. P. 2022. Insect dispersal ability is crucial to overcome limitations in patch colonization of *Eichhornia crassipes* floating meadows. *Limnology*, 23: 287-298.

Gleason, J. E. & Rooney, R. C. 2017. Aquatic macroinvertebrates are poor indicators of agricultural activity in Northern Prairie pothole wetlands. *Ecological Indicators*. 81:333-339.

Gomes, L. F., Pereira, H. R., Gomes, A. C. A. M., Vieira, M. C., Martins, P. R., Roitman, I., Vieira, L. C. G. 2019. Zooplankton functional-approach studies in continental aquatic environments: a systematic review. *Aquatic ecology*. 53:191-203.

Gomes, W. I. A., Jovem-Azevêdo, D. S., Paiva, F. F., Milesi, S. V., Molozzi, J. 2018. Functional attributes of Chironomidae for detecting anthropogenic impacts on reservoirs: a biomonitoring approach. *Ecological Indicators*. 93:404-410.

Hari, R., Livingstone, D., Siber, R., Burkhardt-Holm, P., Guttinger, H. 2006. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in alpine rivers and streams. *Glob Chang Biol* 12(1):10–26.

Kovalenko, K. E., Thomaz, S. M., Warfe, D. M. 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685:1–17.

Lamouroux, N., Dolédec, S., Gayraud, S. 2004. Biological traits of stream macroinvertebrate communities: effects of micro-habitat, reach, and basic filters. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 23(3): 449-466.

MacArthur RH, MacArthur JW. 1961. On bird species diversity. *Ecology.* 42:594–598.

Madomguia, D., Zebaze Togouet, S. H., Fomena, A. 2016. Macro Invertebrates Funcional Feeding Groups, Hilsenhoff Biotic Index, Percentage of Tolerant Taxa and Intolerant Taxa as Major Indices of Biological Assessment in Ephemeral Stream in Sudano-Sahelian Zone (Far-North, Cameroon). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 5(10):792-806.

Mereta, S. T., Boets, P., Meester, L. D., Goethals, P. L. M. 2013. Development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates for the assessment of natural wetlands in Southwest Ethiopia. *Ecological Indicators.* 29: 510-521.

Merrit, W. R., Cummins, K. W., Campbell, E. Y. Uma Abordagem Funcional Para a Caracterização de Riachos Brasileiros. In: Hamada, N., Nessimian, J. L., Querino, R. B. *Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia.* Editora do INPA. 2014. 69-80.

Nascimento-Filho, S. L., Gama, W. A., Moura, A. N. 2021. Effect of the structural complexity of aquatic macrophytes on epiphytic algal, macroinvertebrates, and their interspecific relationships. *Aquatic Sciences.* 83:57.

Nunes, L. S. C., Saito, V. S., Camargo, F. M. 2020. Local and regional drivers of macrophyte beta diversity in tropical coastal rivers. *Freshwater Science.* 40(1): 138-150.

Pedralli, G. 2000. Padrões florísticos como subsídios à conservação da biodiversidade de macrófitas aquáticas. *Tópicos Atuais em Botânica, Brasília, EMBRAPA.* 335-339.

Pellegrini, M. O. O & Guarnier, J. C. 2022. *Flora of Espírito Santo, Brazil. Rodriguésia.* 73.

Pesamosca, S. C. & Boldrini, I. I. 2015. O gênero *Ludwigia* L. (Onagraceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. Teses e Dissertações defendidas na UFRGS. Repositório digital da UFRGS.

Poi, A. S. G., Gallardo, L., Casco, S. L., Sabater, L. M., Úbeda, B. 2021. Influence of Macrophyte Complexity and Environmental Variables on Macroinvertebrate Assemblages Across a Subtropical Wetland System. *Wetlands*. 41:105.

Pompêo M. L. M, Moschini-Carlos V. 2003. *Macrófitas aquáticas e perifíton: aspectos ecológicos e metodológicos*. São Carlos: RiMa.

Quirino, B. A., Lansac-Toha, F. M., Thomaz, S. M., Heino, J., Fugi, R. 2021. Macrophyte stand complexity explains the functional α and β diversity of fish in a tropical river-floodplain. *Aquatic Sciences*. 83:12.

Ramamoorthy, T. P., Zardini, E.M. 1987. The systematics and evolution of *Ludwigia* sect. *Myrtocarpus* s.l. (Onagraceae). *Ann. Missouri Bot. Gard.* 19:1-120.

Ribeiro, C., Almeida, A. A., Couto, C. 2022. The aquatic macrophytes as bioindicators of heavy metal contamination in estuarine ecosystems. *Scientific Letters*. 1: 5.

Rodrigues, R. S. & Irgang B. E. 2001. *Potamogetonaceae* Dumort. No Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Sér. Bot., Porto Alegre*. 56: 3-49.

Rolon, A. S., Rocha, O., Maltchik, L. 2011. Diversidade de macrófitas aquáticas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe. *Neotropical Biology and Conservation*. 6(1):5-12.

Saito, V. S., Siqueira, T., Fonseca-Gessner, A. A. 2015. Should phylogenetic and functional diversity metrics compose macroinvertebrate multimetric índices for stream biomonitoring. *Hydrobiologia*. 745: 167-179.

Salles, F. F & Ferreira-Júnior, N. Hábitat e hábitos. In: Hamada, N., Nessimian, J. L., Querino, R. B. *Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Editora do INPA. 2014. 39-49.

Santana, M. S., Santos, C. B., Mitsuka, P. M. 2021. Composição de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas como parâmetro para avaliação da qualidade da água de um reservatório no semiárido baiano. *Biotemas*. 34(3): 1-14.

Schiller, A. P., Kunh, A., Manfrin, J., Ferronato, M.C., Schwantes, D., Leismann, E. A. V., Gonçalves-Júnior, A. 2017. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta de impacto ambiental de uma bacia hidrográfica. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*. 6(3): 165-180.

Schneider, S.C., Lawniczak, A.E., PicínskaI, F. J., Szoszkiewicz, K. 2012. Do macrophytes, diatoms and non-diatom benthic algae give redundant information? Results from a case study in Poland. *Limnologica*. 42(3):204-211.

Serra, S. R. Q., Calapez, A. R., Simões, N. E., Marques, J. A. A. S., Laranjo. M., Feio, M. J. 2019. Effects of variations in water quantity and quality in the structure and functions of invertebrates Community of a Mediterranean urban stream. *Urban Ecosystems*. 22: 1173-1186.

Silva, C.V., Henry, R. 2020. Aquatic invertebrates assemblages associated with two floating macrophytes species of contrasting root systems in a tropical wetland. *Limnology* 21:107–118.

Silva, F. L., Moreira, D. C., Bochini, G. L., Ruiz, S. S. 2008. Hábitos alimentares de larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) do córrego Vargem Limpa, Bauru, SP, Brasil. *Biotemas*. 21(2): 155-159.

Sodré, E. O. & Bozelli, R. L. 2019. How planktonic microcrustaceans respond to environment and affect ecosystem: a functional trait perspective. *Int. Aquatic Res*. 11:207-223.

Son, S.H., Kwon, S. J., Kim, S.K., Kong, D., Choi, J. Y. 2021. Aquatic Macrophytes Determine the Spatial Distribution of Invertebrates in a Shallow Reservoir. *Water*. 13:1455.

Souza, V. C & Lorenzi, H. 2008. *Botânica Sistemática*. 2ª edição. São Paulo: Instituto Plantarum. p. 293.

Stalter, D., Magdeburg, A., Quednow, K., Botzat, A., Oehlmann, J. 2013. Do Contaminants Originating from State-of-the-Art Treated Wastewater Impact the ecological Quality of Surface Waters? *PLoS One*. 8(4): 1-10.

Teloken, F., Albertoni, E. F., Hepp, L. U., Palma-Silva, C. 2014. Invertebrados aquáticos associados a serrapilheira de *Salix humboldtiana* em um riacho subtropical. *Ecologia Austral*. 24:220-228.

Thiebaut, G., Thouvenot, L., Rodriguez-Perez, H. 2018. Allelopathic effect of the invasive *Ludwigia hexapetala* on Growth of three macrophyte species. *Frontiers in plant Science*. 9:1835.

Thomaz, S. M., Esteves, F.A. Comunidade de Macrófitas Aquáticas. In: Esteves, F.A. Fundamentos de Limnologia. Editora Interciência. 2011. 3º ed.

Tokeshi M, Arakaki S. 2012. Habitat complexity in aquatic systems: Fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685(1):27–47.

Trindade, C. R. T., Pereira, S. A., Albertoni, E.F., Palma-Silva, C. 2010. Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do Campus Carreiros-FURG, Rio Grande, RS. *Cadernos de Ecologia Aquática*. 5:2.

Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631p.

Vieira, E. F. & Rangel, S. S. 1988. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica. Editora Sagra. 256p.

Whatley, M.H., Van Loon, E.E., Vonk, J.A., Van der Geest, H.G., Admiraal, W. 2014. The role of emergent vegetation in structuring aquatic insect communities in peatland drainage ditches. *Aquat Ecol* 48:267–283.

Wolters, J. W., Verdonschot, R. C. M., Schoelynck, J., Verdonschot, P.F.M., Meire, P. 2018. The role of macrophyte structural complexity and water flow velocity in determining the epiphytic macroinvertebrate community composition in a lowland stream. *Hydrobiologia* 806:157–173.

Yofukuji, K, Y., Cardozo, A. L. P., Quirino, B. A., Aleixo, M. H. F., Fugi, R. 2021. Macrophyte diversity alters invertebrate Community and fish diet. *Hydrobiologia*. 848: 913-927.

CAPÍTULO 1

Relações entre a complexidade de macrófitas aquáticas e variáveis ambientais sobre a diversidade funcional de invertebrados de um riacho subtropical no sul do Brasil

Bárbara Oleinski Parada, Mikael Luiz Morales Pereira, Edélti Faria Albertoni

Manuscrito a ser submetido à revista “Aquatic Ecology”

Relações entre a complexidade de macrófitas aquáticas e variáveis ambientais sobre os atributos funcionais de invertebrados de um riacho subtropical no sul do Brasil

Bárbara Oleinski Parada^{1*}; Mikael Luiz Morales Pereira²; Edélti Faria Albertoni¹

1. Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.
 2. Programa de Pós-graduação em Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, RS, Brasil
- *e-mail: barbaraoleinski@gmail.com

Resumo

As macrófitas aquáticas desempenham funcionalidades em ecossistemas aquáticos: atuam como produtoras primárias, participam da ciclagem de nutrientes, servem como alimento para invertebrados e proteção contra predadores. A vegetação aquática possui o potencial de aumentar a complexidade do habitat fornecendo diferentes recursos para a fauna associada. Os invertebrados utilizados para avaliar sistemas de água doce e a abordagem funcional é uma ferramenta utilizada para descrever as relações acerca desses ecossistemas. O objetivo deste trabalho é investigar se a complexidade das macrófitas pode influenciar nas métricas da comunidade de invertebrados aquáticos em um riacho subtropical. Coletamos as macrófitas com amostrador com área de 0,07m², e os níveis de complexidade foram definidos através da biomassa vegetal e tipos de folhas. As macrófitas foram lavadas em água corrente sobre peneira de 250µm e os invertebrados foram preservados em álcool 80% e identificados em menor nível taxonômico possível. Definimos cinco atributos funcionais: tamanho, estágio de vida, reprodução, forma de corpo, grupo funcional de alimentação. Calculamos riqueza, abundância, frequência de ocorrência e densidade de organismos, Shannon, dominância de Simpson, e equitabilidade e frequência dos atributos funcionais, além da ordenação de RLQ. A maior riqueza foi encontrada em C1 e C2, e a maior abundância em C1 e C3. Observamos que os níveis de complexidade influenciam a abundância e riqueza de invertebrados, porém a RLQ demonstra que as variáveis testadas (ambientais, níveis de

complexidades, atributos funcionais e abundância) não possuíram nenhuma relação. A ordenação do eixo 1 da RLQ explica 79,26% da variação total dos dados. O estudo corrobora parcialmente com a hipótese inicial, demonstrando a importância das diferentes arquiteturas das macrófitas aquáticas na estruturação de comunidades de invertebrados.

Palavras-chave: Atributos funcionais; ecossistemas lóticos subtropicais; fauna associada; biomassa vegetal

Abstract

Aquatic macrophytes perform functions in aquatic ecosystems: they act as primary producers, participate in nutrient cycling, serve as food for invertebrates and protection against predators. Aquatic vegetation has the potential to increase habitat complexity by providing different resources for associated fauna. The invertebrates used to evaluate freshwater systems and the functional approach is a tool used to describe the relationships about these ecosystems. The objective of this work is to investigate whether the complexity of macrophytes can influence the metrics of the aquatic invertebrate community in a subtropical stream. We collected the macrophytes with a sampler with an area of 0.07m², and the levels of complexity were defined through plant biomass and types of leaves. The macrophytes were washed in running water over a 250µm sieve and the invertebrates were preserved in 80% alcohol and identified at the lowest possible taxonomic level. We defined five functional attributes: size, life stage, reproduction, body shape, functional feeding group. We calculated richness, abundance, frequency of occurrence and density of organisms, Shannon, Simpson dominance, and evenness and frequency of functional attributes, in addition to RLQ ordering. The greatest richness was found in C1 and C2, and the greatest abundance in C1 and C3. We observed that the levels of complexity influence the abundance and richness of invertebrates, however the RLQ demonstrates that the variables tested (environmental, levels of complexities, functional attributes and abundance) did not have any relationship. The ordering of RLQ axis 1 explains 79.26% of the total data variation. The study partially corroborates the initial hypothesis, demonstrating the importance of different architectures of aquatic macrophytes in structuring invertebrate communities.

Key-words: Functional attributes; subtropical lotic ecosystems; associated fauna; plant biomass

Introdução

A complexidade de habitat é definida pelo conjunto de estruturas físicas que subsidiam substratos para a colonização de organismos (Tokeshi & Arakaki, 2012). Em 1961, MacArthur & MacArthur desenvolveram o primeiro estudo deste tema, em que observaram que a estrutura física de folhas e galhos em florestas temperadas influenciavam na diversidade de comunidades de aves. Posteriormente, outros estudos (Gallardo et al. 2017; Silva & Henry, 2020; Brito et al. 2021) encontraram padrões similares ao estudo de MacArthur & MacArthur. As macrófitas aquáticas fornecem diversos habitats que podem ser colonizados por mamíferos, peixes, anfíbios e invertebrados aquáticos (Brito et al. 2021), além de atuar como substrato para reprodução, servir de refúgio contra predadores (Thomaz & Cunha, 2010; Quirino et al. 2021) e são importantes recursos alimentares para organismos aquáticos devido a elevada produção de biomassa vegetal (Thomaz & Cunha, 2010). Em estudos sobre complexidade de macrófitas, o nível de complexidade morfológica é avaliado pelas folhas, caules, pecíolos e raízes e pela biomassa (Nascimento Filho et al. 2021). Os resultados encontrados por diversos autores (Growder & Cooper, 1982; Ferreiro et al. 2011; Wolters et al. 2018; Nascimento Filho et al. 2021) sugerem que macrófitas com maiores níveis de complexidade e com maior biomassa estão associadas a maiores densidades de comunidades de invertebrados aquáticos.

Os invertebrados constituem o principal grupo de organismos de estudo para avaliar as condições ecológicas de sistemas lóticos (Madomguia et al. 2016), devido à grande distribuição, riqueza e abundância (Santana et al. 2021), e por serem bioindicadores (Callisto et al. 2002; Schiller et al. 2017). Os atributos funcionais (*e.g.* tamanho corporal, hábito alimentar, estágio de vida, forma corporal, modo de reprodução) têm sido utilizados por diversos autores (Tachet et al. 2002; Castro et al. 2018; Sodré & Bozelli, 2019; Concei o et al. 2020) para desenvolver estes estudos. O uso da categoriza o através de traços funcionais vem se mostrando como uma ferramenta eficiente para descrever a estrutura de comunidades em sistemas aquáticos (Serra et al. 2017; Gomes et al. 2019), visto que permite compreender as rela es acerca de processos ecossistêmicos (Diaz & Cabido, 2001). Saito et al (2015)

utilizou a abordagem de diversidade funcional aliada a diversidade filogenética para fins de biomonitoramento através de índices multimétricos de macroinvertebrados. Já os grupos funcionais de alimentação em especial, permitem compreender a distribuição energética dentro de sistemas aquáticos (Silva et al. 2008). Em outra abordagem, um estudo de Gomes et al (2018) avaliou os traços funcionais de Chironomidae para verificar os impactos antropogênicos em reservatórios.

Considerando o pressuposto de que macrófitas com maiores níveis de complexidade e maiores valores de biomassa sustentam maior riqueza e abundância de invertebrados, este estudo tem como objetivo avaliar a comunidade de invertebrados associados à macrófitas aquáticas em um riacho na planície costeira do sul do Brasil, visando responder se a complexidade de macrófitas pode influenciar a riqueza, abundância e diversidade funcional de invertebrados. A hipótese deste estudo é de que macrófitas com maiores níveis de complexidade irão apresentar maiores valores de riqueza, abundância e diversidade funcional de invertebrados.

Material e métodos

O município de Rio Grande está localizado na porção sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, fazendo parte da unidade mórfica arenosa do litoral (Albertoni et al. 2007). Recentemente formada, a planície costeira originou-se através de constantes transgressões e regressões do nível do mar (Buchmann et al. 2009) e, atualmente abrange ricos ecossistemas aquáticos (Vieira & Rangel, 1988). A porção da planície onde Rio Grande está inserido possui baixa altitude (Trindade et al. 20210), o que facilita o desenvolvimento e o estabelecimento de espécies vegetais em sistemas lóticos (Vieira & Rangel, 1988).

O riacho (32°04'35''S 52°15'08''W) deste estudo encontra-se no interior do bairro Vila da Quinta na zona oeste da cidade, e é conhecido popularmente na região como “Arroio Cabeças”. Durante a amostragem, o riacho esteve exposto a fontes externas de enriquecimento oriundos de efluentes domésticos do bairro. O riacho (Tabela 1) é bem oxigenado e levemente alcalino, com temperatura da água oscilando entre 16 a 20°C. Trata-se de um ecossistema de pequeno porte (Figura 1) com largura mediana, além de baixa profundidade e fluxo lento. O clima da região é subtropical úmido conforme a classificação de Köppen, as temperaturas médias anuais entre 17 e 19°C e as precipitações anuais entre 1200 e 1500mm (Alvares et al. 2014).

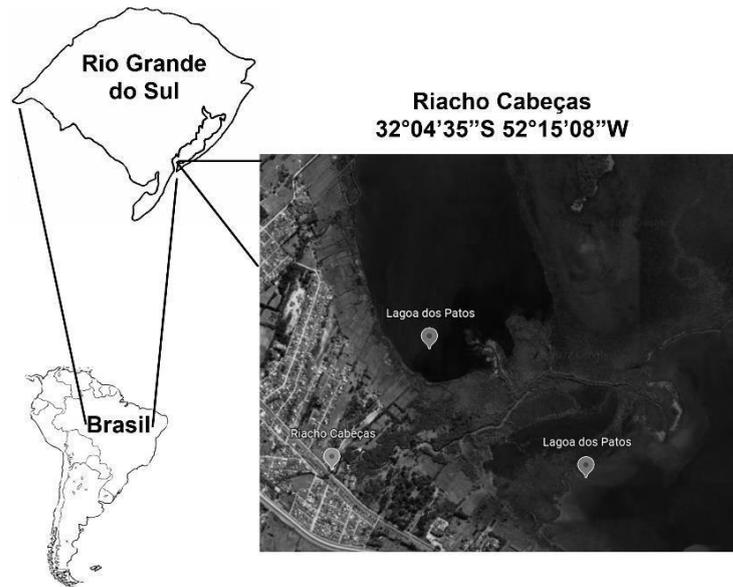


Figura 1: Localização do Riacho (Arroio Cabeças) e Lagoa dos Patos. Fonte: *Google Earth* adaptado

Tabela 1. Valores de variáveis ambientais do Riacho Cabeças. DP= desvio padrão. Min= mínimo, Máx= máximo.

	Média ± DP	Mín - Máx
Condutividade elétrica ($\mu\text{S. cm}^{-1}$)	141 ± 0,04	0,09 - 0,19
Oxigênio dissolvido (mg. L^{-1})	10,19 ± 3,49	6,03 - 14,7
pH (mV)	7,46 ± 1,36	6,40 - 9,5
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	18,5 ± 1,36	16,80 - 20,0
Clorofila a ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	7,78 ± 5,18	1,50 - 18,60
Fósforo total (mg. L^{-1})	0,07 ± 0,02	0,03 - 0,10
Nitrogênio total (mg. L^{-1})	1,17 ± 0,42	0,60 - 1,80
Largura (m)	7,7 ± 1,96	4,20 - 12,60
Profundidade (m)	0,6 ± 0,40	0,20 - 1,70
Fluxo (m. s^{-1})	3,9 ± 1,66	2,10 - 9,15

Realizamos as amostragens em maio e setembro de 2021, onde posteriormente os dados foram integrados. Amostramos três espécies de macrófitas aquáticas abundantes no riacho, que possuíam diferentes características morfológicas e pertencessem a diferentes grupos ecológicos. Desta forma, coletamos as espécies: *Stuckenia pectinata* (L.) Börner, *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.) e *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth. Utilizamos o amostrador manual com área de 0,07m² com rede de 300 μm , onde o material vegetal retido nesta área foi considerado uma amostra. Realizamos ao total seis amostragens para cada espécie. Coletamos todo o corpo vegetal de cada planta, incluindo raízes e partes fotossintetizantes e, armazenamos em sacos plásticos. Medimos as variáveis ambientais com a sonda

multiparâmetros (Horiba ®) onde consideramos trinta amostragens, e coletamos também, seis amostras de água para determinar as concentrações de nitrogênio total, fósforo total e clorofila-a (Mackereth et al. 1978; Baumgarten et al. 1996; Valderrama, 1981). Além disso, medimos largura em metros), profundidade (em metros) e fluxo ($m.s^{-1}$), totalizando dez amostragens.

Em laboratório, as macrófitas foram lavadas com água corrente sobre peneira de $250\mu m$ e secas em estufa para determinar a biomassa seca. Definimos a complexidade das macrófitas em três níveis: Pequena complexidade (C1) – *Stuckenia pectinata*; Média complexidade (C2) – *Ludwigia hexapetala*; Grande complexidade (C3) – *Eichhornia azurea*. Os diferentes níveis foram definidos através dos respectivos valores de biomassa seca, tipos de folhas e grupos ecológicos (Tabela 2):

Tabela 2. Categorização dos diferentes níveis de complexidade das macrófitas aquáticas.

Espécie	<i>Stuckenia pectinata</i>	<i>Ludwigia hexapetala</i>	<i>Eichhornia azurea</i>
Nível de complexidade	Pequeno	Médio	Grande
Tipo de folha	Longa e estreita	Obovada	Arredondada
Biomassa seca ($g.m^{-2}$)	153,57 $g.m^{-2}$	299,42 $g.m^{-2}$	513,40 $g.m^{-2}$
Código	C1	C2	C3

Posteriormente a lavagem das macrófitas, a fauna retida foi preservada em álcool 80% com corante “rosa de bengala” e separados com o auxílio de microscópio estereomicroscópio e de microscópio óptico. Contabilizamos e identificamos os invertebrados através do menor nível possível com base na literatura (Merritt & Cummins, 1996; Domínguez & Fernández, 2009; Trivinho-Strixino, 2011) e classificamos os atributos funcionais (hábito alimentar e forma de reprodução) conforme autores (Tachet et al. 2002; Cummins et al. 2005; Conceição et al. 2020). Para o atributo funcional tamanho corporal, medimos todos os indivíduos de cada táxon em milímetros (mm) e realizamos as médias para cada táxon. Para os atributos, estágio de vida e forma corporal, atribuímos as categorias com base na visualização dos indivíduos amostrados (Tabela 3). Calculamos a riqueza, a abundância total de táxons e frequência de ocorrência de cada táxon, a densidade de organismos (indivíduos. $g. MS^{-1}$) nos diferentes Níveis de complexidade das macrófitas e a frequência de atributos funcionais. Avaliamos a composição e a estrutura da fauna de invertebrados nos diferentes graus de complexidade através da diversidade (Índice de Shannon-Wiener), dominância de Simpson e equitabilidade em cada macrófita.

Tabela 3. Categorização dos atributos funcionais de invertebrados aquáticos utilizado para caracterizar a amostragem.

Atributo funcional	Categoria do traço	Código da categoria
Hábito alimentar	Coletor	FFG1
	Fragmentador	FFG2
	Raspador	FFG3
	Predador	FFG4
Tamanho corporal	0,5 - 1,5mm	BS1
	1,51 - 3,0mm	BS2
	3,1 - 5mm	BS3
Reprodução	Ovos isolados, cimentados	R1
	Massa de ovos livres	R2
	Massa de ovos, cimentadas ou fixas	R3
Estágio aquático	Larva	EA1
	Pupa	EA2
	Adulto	EA3
Forma do corpo	Cilíndrico	BF1
	Achatado	BF2
	Concha	BF3
	Hidrodinâmico	BF4

Para verificar a diferença dos níveis de complexidades das macrófitas na abundância total, riqueza, densidade e índices de diversidade, utilizamos ANOVA *one-way*, seguido de teste post hoc Tukey de comparações múltiplas. Para verificar se as variáveis ambientais e os níveis de complexidade influenciavam os atributos funcionais dos invertebrados aquáticos, utilizamos a análise de RLQ. A RLQ é uma análise multivariada de ordenação simultânea de três matrizes, onde a matriz R ordena as variáveis ambientais e os níveis de complexidade para cada sítio, a matriz L ordena os valores de abundância de táxons por sítio e, a matriz Q os atributos funcionais de cada táxon (Dolédec et al. 1996). Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2022).

Resultados

Contabilizamos ao total, 2878 indivíduos distribuídos em 29 táxons. Desses, 1046 organismos estavam associados ao pequeno nível de complexidade (C1) representado por *Stuckenia pectinata* totalizando 36,3% da abundância total. Na macrófita de médio nível (C2) caracterizado por *Ludwigia hexapétala*, contabilizamos 809 indivíduos, compreendendo 28,2 % da abundância total. Encontramos na macrófita de grande nível de complexidade (C3) representado por *Eichhornia azurea*, o total de 1023

organismos, totalizando 35,5 % da abundância encontrada. Os maiores valores de riqueza de fauna foram associados aos maiores níveis de complexidade (C2 e C3), em contrapartida, encontramos maiores resultados de abundância total no pequeno e grande nível de complexidade (C1 e C3) (Tabela 4). Encontramos uma maior densidade de organismos (indivíduos. g. MS⁻¹) no pequeno nível de complexidade (C1), enquanto a menor densidade esteve relacionada ao grande nível de complexidade (C3). Quanto aos índices de diversidade, no nível mais complexo representado por *Eichhornia azurea* apresentou menor diversidade, menor equitabilidade e consequentemente maior dominância (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de riqueza, indivíduos e Índices de diversidade dos três níveis de complexidade das macrófitas aquáticas. Letras diferentes = apresentam diferença estatística quando comparado às outras complexidades (p < 0,05). Abd total = Abundância total; Densidade inv = Densidade de indivíduos.

	Riqueza	Abd total	Densidade inv (g. MS ⁻¹)	Dominância	Shannon	Equitabilidade
Complexidade 1	14 a	1046 a	6,81 a	0,271 a	1,628 a	0,364 a
Complexidade 2	22 b	809 b	2,70 b	0,228 a	1,948 b	0,318 a
Complexidade 3	23 b	1023 a	1,99 c	0,477 b	1,378 c	0,164 b

Os táxons mais frequentes foram *Orthocladius* (41,97 %), Cicadellidae (41,66 %) e *Chironomus* (67,74 %) respectivamente para a C1, C2 e C3 (Tabela 5). Na macrófita de pequena complexidade, Ceratoponidae apresentou menor ocorrência (0,10%), enquanto no nível de média complexidade encontramos a ocorrência de 0,12% compartilhada pelos táxons Arachnida, Hydrophilidae, Culicidae, Hyalellidae, Ichneumonidae, Diapriidae e Perlidae. Já para a grande complexidade, os táxons Elmidae, Culicidae, Caenidae, Diapriidae, Gomphidae e Nematoda representaram 0,10% da ocorrência de táxons.

Tabela 5: Abundância e frequência de ocorrência dos invertebrados colonizadores das três complexidades de macrófitas aquáticas diferentes.

	Pequeno nível (C1)		Médio nível (C2)		Grande nível (C3)	
	Abundância	Frequência (%)	Abundância	Frequência (%)	Abundância	Frequência (%)
Arachnida						
Arachnida	0	0,00	1	0,12	2	0,20
Hydracarina	28	2,68	16	1,98	4	0,39
Annelida						
Hirudinea	50	4,78	16	1,98	19	1,86
Gastropoda						
Ancylidae	0	0,00	13	1,61	4	0,39
Hydrobiidae	6	0,57	4	0,49	3	0,29

Planorbidae	2	0,19	0	0,00	0	0,00
Coleoptera						
Curculionidae	0	0,00	0	0,00	1	0,10
Hydrophilidae	5	0,48	1	0,12	6	0,59
Elmidae	0	0,00	0	0,00	1	0,10
Diptera						
Culicidae	0	0,00	1	0,12	1	0,10
Simuliidae	23	2,20	30	3,71	0	0,00
Ceratopogonidae	1	0,10	0	0,00	0	0,00
Chironomidae	45	4,30	17	2,10	34	3,32
<i>Chironomus</i>	156	14,91	112	13,84	693	67,74
<i>Rienthia</i>	270	25,81	117	14,46	0	0,00
<i>Orthocladius</i>	439	41,97	75	9,27	60	5,87
<i>Tanytarsus</i>	0	0,00	11	1,36	8	0,78
<i>Cladopelma</i>	0	0,00	3	0,37	4	0,39
<i>Zavrelimyia</i>	0	0,00	35	4,33	110	10,75
Trichoptera						
Hydroptilidae	14	1,34	14	1,73	4	0,39
Hemiptera						
Cicadellidae	5	0,48	337	41,66	34	3,32
Ephemeroptera						
Caenidae	2	0,19	2	0,25	1	0,10
Anfipode						
Hyaellidae	0	0,00	1	0,12	19	1,86
Hymenoptera						
Ichneumonidae	0	0,00	1	0,12	0	0,00
Diapriidae	0	0,00	1	0,12	1	0,10
Plecoptera						
Perlidae	0	0,00	1	0,12	0	0,00
Colembolo						
Isotomidae	0	0,00	0	0,00	12	1,17
Odonata						
Gomphidae	0	0,00	0	0,00	1	0,10
Nematoda	0	0,00	0	0,00	1	0,10
Total	1046	100,00	809	100,00	1022	100,00

Os grupos funcionais de alimentação (GTA) variaram conforme os graus de complexidade das macrófitas aquáticas. Amostramos maiores valores de indivíduos coletores-catadores em *Stuckenia pectinata* (C1) e em *Eichhornia azurea* (C3), em *Ludwigia hexapetala* (C2) encontramos maior organismos predadores (Figura 2A). O atributo tamanho do corpo variou entre os diferentes níveis de complexidade, sendo os tamanhos médios de 3,1- 5mm mais ocorrentes na menor e maior complexidade (C1 e C3), enquanto para o nível médio, os tamanhos corporais foram de 0,51- 1,5mm (Figura 2B). O atributo reprodução oscilou entre ovos isolados cimentados, massa de ovos livres e massa de ovos,

cimentadas ou fixas, onde a reprodução por massa de ovos livres foi mais representativa na *Stuckenia pectinata* (C1), enquanto a reprodução por massa de ovos cimentadas ou fixas apresentou maior frequência nos maiores níveis (*Ludwigia hexapétala* e *Eichhornia azurea*) (Figura 2C). Já para a forma de corpo, visualizamos a predominância do tipo cilíndrico nas três complexidades (Figura 2D). Para o menor (C1) e maior (C3) complexidade, o estágio de vida com maior ocorrência foi de larva, enquanto para o nível intermediário (C2), a forma adulta (Figura 2E).

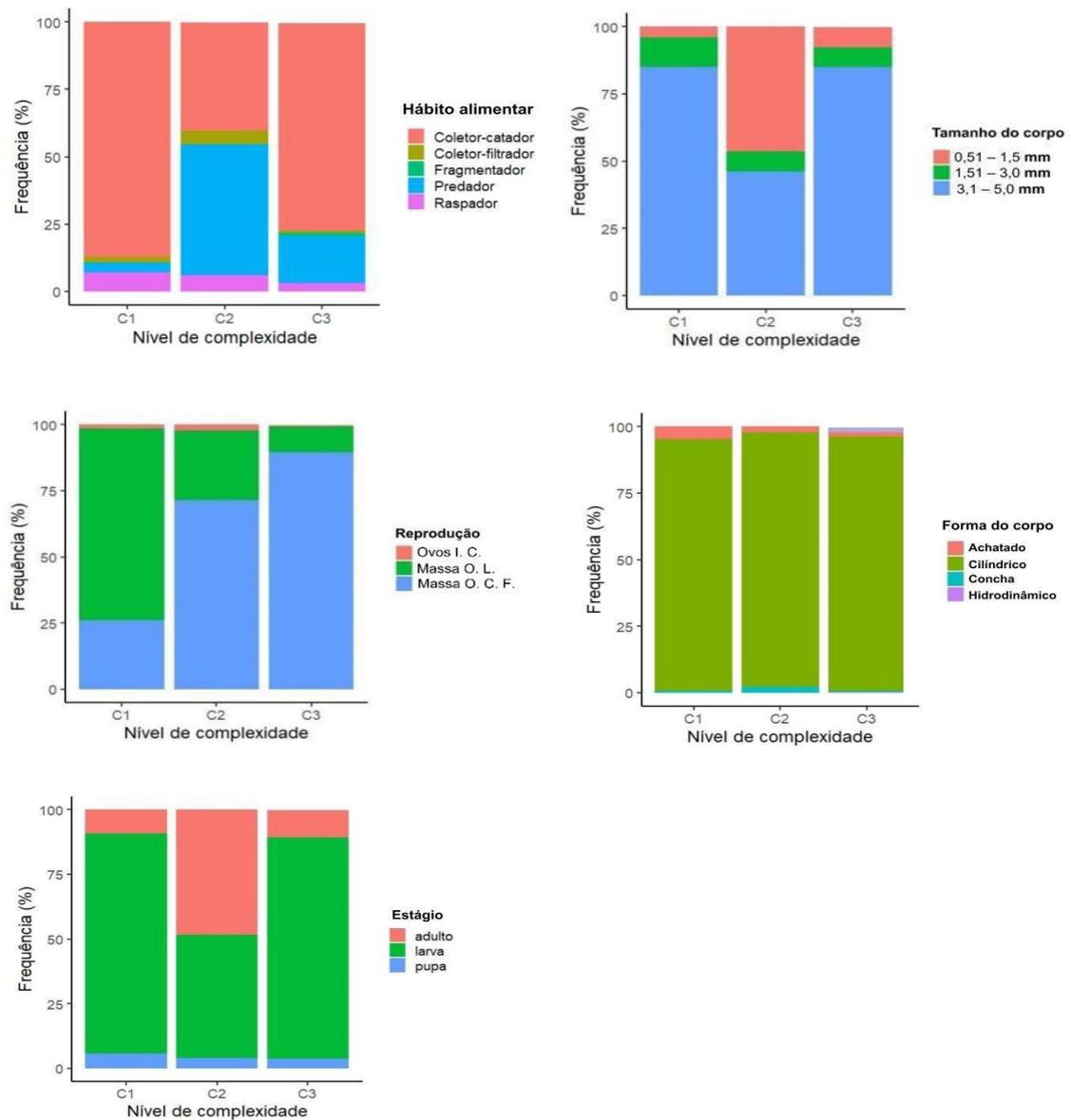


Figura 2. Frequência dos atributos funcionais para cada complexidade. A - Hábito alimentar; B - Tamanho do corpo; C - Reprodução: 1 - Ovos isolados cimentados, 2 - Massa de ovos livres, 3 - Massa de ovos, cimentadas ou fixas; D - Forma do corpo; E - Estágio

Observamos através da RLQ que as variáveis testadas (ambientais, níveis de complexidades, atributos funcionais e abundância) não possuíram nenhuma relação. A ordenação do eixo 1 da RLQ explica 79,26% da variação total dos dados amostrados (Figura 3).

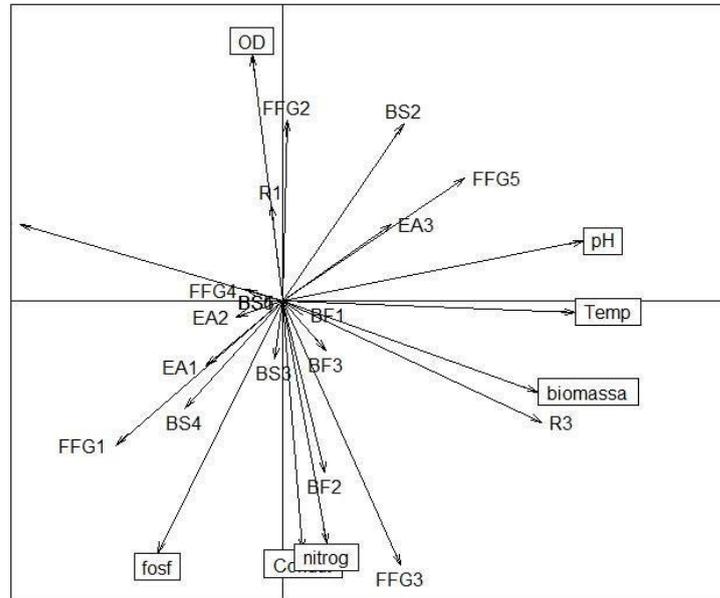


Figura 3. Análise RLQ com dados das variáveis ambientais, complexidade das macrófitas e atributos funcionais dos invertebrados. Temp = Temperatura; Condu = Condutividade elétrica; OD = Oxigênio dissolvido; Nitrog = nitrogênio; Fosf = fósforo; FFG = Grupo Funcional de alimentação, 1 – Coletor Catador, 2 – Coletor Filtrador, 3 – Fragmentador, 4 – Raspador, 5 – Predador; BS = Tamanho corporal, 1 - < 0,5 mm, 2 – 0,5 até 1,5 mm, 3 – 1,51 até 3,0 mm, 4 – 3,1 até 5 mm, 5 - > 7 mm; R = Reprodução, 1 – Ovos isolados, cimentados, 2 – Massa de ovos livres, 3 – Massa de ovos, cimentadas ou fixas; EA – Estágio aquático, 1 – Larva, 2 – Pupa, 3 – Adulto; BF = Forma do corpo, 1 – Cilíndrico, 2 – Achatado, 3 – Concha, 4 - Hidrodinâmico.

Discussão

Nossos resultados indicam que os níveis de complexidade das macrófitas aquáticas *Stuckenia pectinata*, *Ludwigia hexapetala* e *Eichhornia azurea* avaliadas através da biomassa vegetal possuem importância na estruturação das assembleias de invertebrados aquáticos. A hipótese inicial de nosso estudo era de que encontraríamos maior riqueza e abundância de invertebrados associados aos maiores níveis de complexidade, onde ela foi parcialmente aceita, observando apenas a relação da riqueza com os maiores níveis de complexidade. Nossos padrões encontrados foram semelhantes ao de Nascimento Filho et al. (2021), onde as macrófitas *Ludwigia helminthorrhiza* e *Eichhornia crassipes* caracterizadas por níveis mais complexos sustentaram uma maior riqueza de fauna associada. A riqueza de indivíduos associados às macrófitas pode ser afetada através da disponibilidade de alimento que está relacionada as diversas arquiteturas dessas plantas (Quirino et al. 2021), pelas diversas condições de substrato e

proteção (Santana et al. 2021). Outro fator limitante é a superfície fornecida por unidade de peso por planta que também é variável, dessa forma sustentando uma riqueza de fauna específica (Diarra et al. 2018).

As ordens Díptera e Hemíptera possuem organismos considerados bioindicadores por possuírem tolerância a diferentes níveis de contaminação aquática (Weston & Lydy, 2014). Entre as famílias de dípteros ocorrentes em nosso trabalho, encontramos uma predominância de Chironomidae em específico. Autores com estudos em ecossistemas lóticos (Milesi et al. 2009; Serra et al. 2019) e em ecossistemas lênticos (Nascimento-Filho et al. 2021; Santana et al. 2021) encontraram padrões semelhantes. A fase larval de Chironomidae é utilizada em estudos para indicar a qualidade de sistemas aquáticos (Kleine & Trivinho-Strixino, 2005), visto que essa família possui gêneros sensíveis e gêneros tolerantes às alterações ambientais (Saito et al. 2015). Um dos gêneros de Chironomidae encontrados em nosso trabalho foi o *Chironomus*. O gênero é descrito na literatura como altamente tolerante devido a capacidade de estocar oxigênio associado à hemoglobina (Trivinho-Strixino). Apesar do riacho de estudo possuir considerável volume de oxigênio dissolvido, o mesmo recebe aporte orgânico de esgoto não tratado oriundo do bairro, podendo refletir em períodos de baixa oxigenação da água.

A maior diversidade de organismos encontrados na *L. hexapetala* elucidou uma menor dominância, demonstrando a probabilidade de dois indivíduos selecionados ao acaso na amostra pertencerem a mesma espécie é baixa. Enquanto a alta dominância e uniformidade mínima visualizada em *E. azurea* pode ser explicada pela predominância de ocorrência do gênero *Chironomus*. As variáveis testadas (ambientais, complexidade, atributos funcionais e abundância) não possuíram relação, entretanto, ocorreu a predominância de padrões de atributos nas macrófitas. Estudos que envolvem a abordagem funcional utilizam em sua maioria o hábito alimentar como atributo funcional (Cummins, 2005; Albertoni et al. 2018; Gomes et al. 2018). O hábito alimentar está associado a disponibilidade de recursos e quaisquer alterações no acesso a esses recursos pode afetar diretamente a assembleia de invertebrados (Conceição et al. 2020). Os nossos resultados demonstraram a ocorrência dos cinco grupos funcionais de alimentação e, a diversidade dos GFA pode evidenciar os nichos tróficos existentes (Ehlert et al. 2021). A frequência de coletores-catadores encontrada pode ser explicada pela abundância de matéria orgânica particulada fina (Madomguia et al. 2016). Os invertebrados predadores podem estar

associados às macrófitas para fins de alimentação, visto que as raízes dessas plantas possuem potencial de abrigarem presas (Brito et al. 2021), enquanto presas por sua vez, podem estar relacionadas as mesmas plantas em busca de proteção.

Os padrões de tamanhos corporais maiores associados as macrófitas *S. pectinata* e *E. azurea* pode ser explicado pelas conformações morfológicas dessas plantas, oferecendo maiores condições de refúgio para que os organismos possam se desenvolver, quando comparado a estrutura fornecida pela *L. hexapetala*, resultando em tamanhos maiores de indivíduos. Já a reprodução por massa de ovos livres pode estar relacionada ao menor nível de complexidade (planta submersa) devido a maior disponibilidade de água e umidade para manter as condições necessárias para o desenvolvimento dos ovos em qualquer localidade da plantas, enquanto para os níveis mais complexos (planta anfíbia e planta com folhas flutuantes) a reprodução por massa de ovos pode estar relacionada a fixação dos ovos em determinada área que seja favorável para o desenvolvimento dos ovos, como uma temperatura ou passagem de luz específica. Para a forma do corpo, visualizamos o padrão cilíndrico de forma predominante nos três diferentes níveis de complexidade, a alta frequência da forma cilíndrica é explicada pela dominância de *Orthocladus*, Cicadellidae e *Chironomus* que compartilham da mesma forma. Os indivíduos associados às macrófitas com menores e maiores níveis de complexidade associaram-se majoritariamente em fases larvais, enquanto na complexidade intermediária caracterizada por ser uma macrófita anfíbia foram encontrados mais organismos em fase adulta. A complexidade fornecida pela macrófita anfíbia oportuniza a colonização por insetos (Santana et al. 2021), que pôde ser visualizado através da frequência de insetos adultos aéreos Cicadellidae em nosso estudo. Alguns atributos possuem relações mais complexas com o habitat, como os padrões de reprodução e estágios de vida, visto que os organismos podem desenvolver preferências específicas em seus diversos estágios de desenvolvimento (Lamouroux et al. 2004).

Através dos diversos atributos funcionais citados anteriormente, observamos que as diferentes complexidades fornecidas pelas macrófitas aquáticas por sua biomassa e estrutura morfológica atuam sobre a composição de invertebrados. Essas plantas possuem potencial de atuarem como substrato, proteção para larvas e recurso alimentar (Brito et al. 2021; Santana et al. 2021), podendo atuar como filtros selecionando atributos funcionais específicos.

Considerações

Os resultados demonstraram que os níveis de complexidade influenciaram a abundância e a riqueza da fauna de invertebrados, porém as variáveis ambientais, níveis de complexidades, atributos funcionais e a abundância não possuíram diferenças ou relações. Os maiores valores de riqueza estão associados aos níveis mais complexos enquanto os maiores valores de abundância foram encontrados no menor e no maior nível de complexidade. Desta forma, nosso estudo corrobora parcialmente com a hipótese inicial, demonstrando a importância das diferentes arquiteturas das macrófitas aquáticas na estruturação de comunidades de invertebrados. Por fim, para estudos futuros sugerimos avaliar a biomassa vegetal aliada a outras métricas morfológicas (*e.g.*, área foliar, comprimento de raízes, formato da folha) para compreender se a biomassa é um valor que reflete a complexidade.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Rio Grande pela estrutura que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho. Aos técnicos Cláudio Trindade, Leonardo Furlanetto e Clara Lima pelo auxílio prestado na coleta de amostras e produção das análises químicas. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado.

Referências

- Albertoni EF, Hepp LU, Carvalho C, Palma-Silva C (2018) Invertebrate composition in submerged macrophyte debris: habitat and degradation time effects. *Ecologia Austral*. 28: 93-103. <https://doi.org/10.25260/EA.18.28.1.0.462>
- Albertoni EF, Prellvitz LI, Palma-Silva C (2007) Macroinvertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* in subtropical lakes (South Brazil). *Braz J Biol* 67(3):499-507. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000300015>
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22(6):711- 728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Baumgarten M, Rocha J, Niencheski L (1996) Manual de análises em oceanografia química. Editora da FURG. Rio Grande.

Brito JS, Michelan TS, Juen L (2021) Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology* 22:139-149. <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00643-x>

Buchmann FSC, Caron F, Lopes RP, Ugri A, Gonçalves L (2009) Panorama Geológico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos*. 35-56.

Callisto M, Moreno P, Gonçalves JF Jr, Leal JJF, Esteves FA (2002) Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in a impacted coastal Lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Braz. J. Biol* 62(1): 77-84. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842002000100010>

Castro DMP, Dolédec S, Callisto M (2018) Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams. *Ecological Indicators*. 84:573- 582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.030>

Conceição AA, Albertoni EF, Milesi SV, Hepp LH (2020) Influence of Anthropogenic Impacts on the functional structure of aquatic invertebrates in subtropical wetlands. *General Wetland Science*. 40: 2287-2296. <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01317-1>

Cummins KW, Merritt RW, Andrade PCN (2005) The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in South Brazil. *Studies on Neotropical: Fauna and Environment*. 40(1): 69-89 <http://dx.doi.org/10.1080/01650520400025720>

Diarra B, Konan KJ, Yapo LM, Kouassi KP (2018) Aquatic macroinvertebrates associated with free-floating macrophytes in a marginal lentic ecosystem (Ono Lagoon, Côte d' Ivoire). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6(3): 1432-1441

Diaz S, Cabido M (2001) Vive la difference: Plant functional diversity matters to ecosystem process. *Trends in Ecology & Evolution*. 16:646-655. <https://doi.org/10.1016/S0169-5347>

Dolédec S, Chessel D, Braak CJF, Champely S (1996) Matching species traits to environmental variables a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*. 3: 133-166. <https://doi.org/10.1899/0887-3593>

Dominguez E, Fernández HR (2009) Guia para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos. 2º Ed. Tucumán: Editorial Universitaria de Tucumán. 654p.

Ehlert B, Rempel C, Dalzochio MS, Bergmann PC, Zerwes CM (2021) Insetos aquáticos e seus grupos tróficos relacionados a cobertura vegetal de propriedades leiteiras do Vale do Taquari/RS *Revista Ibero-*

<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0010>

Ferreiro N, Feijo C, Giorgi A, Leggieri L (2011) Effects of macrophyte heterogeneity and food availability on structural parameters of the macroinvertebrate Community in a Pampean stream. *Hydrobiologia* 664:199-211. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0599-7>

Gallardo LI, Romina PC, Porcel EA, Poi ASG (2017) Does the effect of aquatic plant types on invertebrate assemblages change across seasons in a subtropical wetland? *Limnetica* 36(1): 87-98. <https://doi.org/10.23818/limn.36.07>

Gomes LF, Pereira HR, Gomes ACAM, Vieira MC, Martins PR, Rotman I, Vieira LCG (2019) Zooplankton functional approach studies in continental aquatic environments: a systematic review. *Aquatic Ecology* 53:191-203 <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09682-8>

Gomes WIA, Jovem-Azevêdo DS, Paiva FF, Milesi SV, Motozzi J (2018) Functional attributes of Chironomidae for detecting anthropogenic impacts on reservoirs: A biomonitoring approach. *Ecological Indicators*. 95: 404- 410. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.006>

Growder LB, Cooper WE (1982) Habitat structural complexity and the interaction between bluegills and their prey. *Ecology* 63: 1802-1813.

Kleine P, Trivinho-Strixino S (2005) Chironomidae and Other aquatic macroinvertebrates of first order stream: Community response after habitat fragmentation. *Acta Limnol Bras* 17(1):81-90.

Lamoureaux N, Dolédec S, Gayraud S (2004) Biological traits of stream macroinvertebrate communities: effects of micro-habitat, reach, and basic filters. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 23(3):449-466. <https://doi.org/10.1899/0887-3593>

MacArthur RH, MacArthur JW (1961) On Bird Species Diversity. *Ecology* 42(3): 594-598.

Madomguia D, Togouet SHZ, Fomena A (2016) Macro Invertebrates Functional Feeding Groups, Hilsenhoff Biotic Index, Percentage of Tolerant Taxa and Intolerant Taxa as Major Indices of Biological Assessment in Ephemeral Stream in Sudano-Sahelian Zone (Far-North, Cameroon). *Int. J. Curr.*

Microbiol. App. Sciences 5(10): 792-806. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.510.086>

Mackereth J, Heron J, Talling JF (1978) *Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists.*

Merritt RW, Cummins KW (1996) Na introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt Publishing. Dubuque.

Milesi SV, Biasi C, Restelho RM, Hepp LU (2009) Distribution of benthic macroinvertebrates in subtropical streams (Rio Grande do Sul, Brazil). *Acta Limnol. Bras.* 21(4): 419-429.

Nascimento-Filho S, Gama WA, Moura NA (2021) Effect of the structural complexity of aquatic macrophytes on epiphytic algal, macroinvertebrates, and their interspecific relationships. *Aquatic Sciences* 83:57. <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00812-9>

Quirino BA, Lansac-Toha FM, Thomaz SM, Heino J, Fugi R (2021) Macrophyte stand complexity explains the functional α and β diversity of fish in a tropical river-foodplain. *Aquatic Sciences*. 83:12. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00768-2>

R Core Team (2022) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Saito VS, Siqueira T, Fonseca-Gessner AA (2015) Should phylogenetic and functional diversity metrics compose macroinvertebrate multimetric indices for stream biomonitoring? *Hydrobiologia* 745: 167-179. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2102-3>

Santana MS, Santos CB, Mitsuka PM (2021) Composição de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas como parâmetro de avaliação da qualidade da água de um reservatório no semiárido baiano. *Biotemas* 34(3): 1-14. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2021.e78598>

Santana MS, Santos CB, Mitsuka PM (2021) Composição de macroinvertebrados associados a macrófitas aquáticas como parâmetro para avaliação da qualidade da água de um reservatório no semiárido baiano. *Biotemas*. 34(3): 1-14. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2021.e78598>

Schiller AP, Kunh A, Manfrin J, Ferronato MC, Schwantes D, Leismann EAV, Gonçalves Júnior, AC (2017) Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta de impacto ambiental de uma bacia hidrográfica. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*. 6(3): <https://doi.org/10.19177/rgsav6e32017165-180>

Serra, SRQ, Calapez AR, Simões NE, Marques JAAS, Laranjo M, Feio MJ (2019) Effects of variations in water quantity and quality in the structure and functions of invertebrates community of a

Mediterranean urban stream. *Urban Ecosystems* 22:1173- 1185. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00892-4>

Silva CV, Henry R (2020) Aquatic invertebrates assemblages associated with who floating macrophytes species of contrasting root systems in a tropical wetland. *Limnology* 21:107-118. <https://doi.org/10.1007/s10201-019-00588-w>

Silva FL, Moreira DC, Bochini GL, Ruiz SS (2008) Hábitos alimentares de larvas de Chironomidae (Insecta: Diptera) do córrego Vargem Limpa, Bauru, SP, Brasil. *Biotemas* 21(2): 155-159

Sodré EO, Bozelli RL (2019) How planktonic microcrustaceans respond to environment and affect ecosystem: a functional trait perspective. *Int. Aquatic Res.* 11:207-223. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0233-x>

Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Polatera P. *Invertébrés d'Eau Douce*. 2002. 2^a ed. CNRS. Paris.

Thomaz SM, Cunha ER (2010) The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia* 22(2): 218-236. <https://doi.org/10.4322/actalb.02202011>

Tokeshi M, Arakaki S (2012) Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia* 685: 27-47. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0832-z>

Trindade CRT, Pereira AS, Albertoni EF, Palma-Silva C (2010) Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do Campus Carreiros- FURG, Rio Grande, RS. *Cadernos de Ecologia Aquática*. 5:2.

Trivinho-Strixino S (2011) *Larvas de Chironomidae. Guia de identificação*. São Carlos. UFSCAR. 371p

Valderrama JC (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Mar.Chem* 10. 109-22.

Vieira EF, Rangel SS (1988) *Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica*. Editora Sagra. 256p.

Weston DP, Lydy ML (2014) Toxicity of the insecticide fipronil and its desgradates to benthic macroinvertebrates of urban streams. *Environmental Science Technoogy*. 48(2): 1290-1297. <https://doi.org/10.1021/es4045874>

Wolters JW, Verdonschot RCM, Schoelynck J, Verdonschot PFM (2018) The role of macrophyte structural complexity and water flow in a lowland stream. *Hydrobiologia*. 806: 157-173. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3353-6>

PERSPECTIVAS

Nosso estudo foi pioneiro no Riacho Cabeças, não havendo ocorrência de dados referente a essa temática e não há registros de outras abordagens ecológicas. Dessa forma, existem diversas lacunas a serem preenchidas frente as relações ecológicas que ocorrem neste sistema que ainda não foram desvendadas. Nossas perspectivas são de realizar novas coletas de amostras através de outras abordagens, bem como dar continuidade neste estudo através da identificação de recursos alimentares oriundos do conteúdo estomacal da fauna de invertebrados para inferir de forma específica para o clima subtropical os grupos funcionais de alimentação, visto que os presentes estudos se baseiam na literatura de outras variações climáticas.