



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
DIRETORIA DE PESQUISA, AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE MARINHA DO SUDESTE E SUL - CEPESUL**

**PLANO DE AÇÃO NACIONAL PARA A CONSERVAÇÃO
DOS SISTEMAS LACUSTRES E LAGUNARES DO SUL DO BRASIL**

**Teses e Dissertação Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais
(PPGBAC/FURG)**

2020 - 2021

OBJETIVO ESPECÍFICO: 4

AÇÃO: 4.26 - Estudar e utilizar indicadores biológicos e ambientais da qualidade e dinâmica dos sistemas lagunares a fim de promover a caracterização tipológica, subsidiar diretrizes de uso (ordenamento, zoneamento e licenciamento ambiental) e atividades do Observatório.

RESPONSÁVEIS PELA AÇÃO: Cleber Palma Silva, Paulo Roberto Pagliosa Alves (UFSC), Dilton de Castro (Comitê de Bacia do Tramandai), Cindy Tavares Barreto (FURG), Alessandra Larissa D'Oliveira Fonseca (UFSC), Adalto Bianchini (FURG), Alexandre Krob (Instituto Curicaca), Sérgio Netto (UNISUL) e Edélti Faria Albertoni (FURG).

COMENTÁRIOS: Teses e dissertações do PPGBAC/FURG publicadas nos anos de 2021 e 2022.

VERSÕES E DATAS: APENAS RESUMO - DISSERTAÇÕES: Amanda O. Travessas, 2021; Felipe Caseiro-Silva, 2021; Gabriela C. Cossio, 2021; Liane Naetzold, 2021; Manuela P. Tourinho, 2021; Sabrina D. Branchi, 2021; Tauana Mores, 2021; Andréa L. de M. de Moraes, 2022; Bárbara O. Parada, 2022; Caroline V. Bernabé, 2022; Celomar S. de Sena, 2022; Luiz G. A. Lopes, 2022; Saimon B Bueno, 2022; Tamires P. Pintado, 2022; Vinícius Mendes, 2022; Yan G. Gowert, 2022. **TESES:** Daiana K. Garcez, 2021; Emanuela C. de Castro, 2021; Karine M. Pereira, 2021; Rafael C. Loureiro, 2021; Thaísa B. Gautério, 2021; Muryllo S. Castro, 2022.

A divulgação do produto do PAN foi autorizada pelos autores



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



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



Dieta e repartição de recursos entre garças reproduzindo em simpatria no Sul do Brasil

Amanda Oliveira Travessas

Orientador: Leandro Bugoni

Rio Grande
2021



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



Dieta e repartição de recursos entre garças reproduzindo em sympatria no Sul do Brasil

Aluno: Amanda Oliveira Travessas

Orientador: Leandro Bugoni

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

Rio Grande
2021

Ficha Catalográfica

T781d Travessas, Amanda Oliveira.

Dieta e repartição de recursos entre garças reproduzindo em
simpatria no Sul do Brasil / Amanda Oliveira Travessas. – 2021.
64 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Leandro Bugoni.

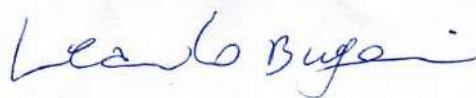
1. Ardeidae 2. Estuários 3. Colônias de Aves Aquáticas
4. Espécies Simpátricas 5. Isótopos Estáveis 6. Lagoa dos Patos
I. Bugoni, Leandro II. Título.

CDU 598.4

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

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 004/2021**

Às 14:00 hs (quatorze horas) do dia 10 (dez) do mês de agosto de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência (<https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa-de-mestrado-amanda-travessas>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da acadêmica Amanda Oliveira Travessas. A dissertação intitulada “**Dieta e repartição de recursos entre garças reproduzindo em simpatria no Sul do Brasil**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Profº Dr. Leandro Bugoni (Orientador), Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia (FURG) e Dr. Dimas Gianuca Neto (BirdLife International). 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 **MESTRA EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 16:20h (**dezesseis horas e vinte minutos**) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.



Profº Dr. Leandro Bugoni



Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia



Profº Dr. Dimas Gianuca Neto



Amanda Oliveira Travessas

Profº Dr. Rogério Tubino Vianna

Coordenador do Curso

Dedico esta dissertação aos meus pais e ao meu irmão que sempre estiveram ao meu lado me incentivando. Sem o apoio e o incentivo deles, nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

São tantas as pessoas que eu tenho que agradecer que fica até difícil organizar em palavras. Primeiramente a todos que me ajudaram, me auxiliaram ou estiveram ao meu lado me incentivando a não desistir do mestrado; saibam que eu sou eternamente grata.

Mãe, pai, irmão, avós, tios, primos entre outros integrantes da família, o meu muito obrigada, por me apoiarem e torcerem por mim.

Aos meus queridos colegas de laboratório (Aline, Bruno, Chey, Cindy, Cíntia, Felipe, Fernando, Fernanda, Gabi, Gusta, Ju, Lari, Vinícius e o restante que me auxiliou ou me ajudou de alguma forma) por me ajudarem nos campos, conselhos, confecção de mapas, análise de dados, análise de dieta, limpeza pesada dos macacões e claro, por toda parceria e momentos divertidos.

Aos técnicos Clara, Cláudio e Leo, por não deixarem faltar nada e sempre estarem dispostos a me fornecer auxílio, materiais, marcar viaturas, entre outras diversas funções.

À técnica do Laboratório de Genética Daiane por me auxiliar e me ensinar a identificar insetos, tornando tudo mais simples.

Ao técnico Márcio do Laboratório de Recursos Pesqueiros, Demersais e Cefalópodes por me auxiliar na identificação de otólitos de peixes.

Ao meu orientador Leandro Bugoni, que mesmo muito atarefado conseguiu me ensinar tudo o que foi possível e me preparar para o mundo da pesquisa.

Ao seu Leandro, o proprietário da terra onde foram realizadas as saídas de campo, por todo o apoio, auxílio e comunicação durante o mestrado.

Ao motorista Rodrigo que foi o que mais levou a equipe à Ilha dos Marinheiros com muito bom humor e gentileza com todos nós.

Aos meus colegas da turma de 2019 do PPGBAC que sempre estiveram lá para alegrarem o dia de todos nós. Que o nosso apoio e parceria sirva de exemplo nas próximas turmas!

À ex-coordenadora Fabiana Schneck que sempre esteve disponível para qualquer dúvida e melhoria do nosso bem-estar no mundo da pesquisa.

Ao coordenador Rogério Vianna por todo o apoio e carinho de forma virtual com os discentes do PPG durante esse período difícil de pandemia.

A todos os professores pelos ensinamentos fornecidos na nossa caminhada acadêmica.

Aos membros da banca: Alexandre Miranda Garcia e Dimas Gianuca por aceitarem o convite.

Ao Dimas também, por me auxiliar em campo e me ensinar a diferença entre ninhegos de duas espécies diferentes.

A Ana Mai que me ensinou e me deu dicas de como identificar otólitos, me fornecendo materiais e disponível para quaisquer dúvidas.

À CAPES pela bolsa durante os dois anos e meio de mestrado.

Por fim, mas nem um pouco menos importantes, as minhas amigonas da vida que sempre estiveram ao meu lado antes do mestrado e que sempre torceram por mim Amandinha, Carol, Jess, Michele e Renata!

RESUMO

Estudos de ecologia trófica comparativa informam sobre o uso de recursos alimentares, permitindo estimar a sobreposição e amplitude de nicho entre diferentes espécies em um determinado ambiente. Diversas espécies de aves aquáticas predadoras, como as garças, reproduzem-se em colônias mistas, podendo compartilhar os mesmos recursos obtidos em áreas adjacentes. No estuário da Lagoa dos Patos, área com abundância de recursos e de importância para aves aquáticas, há uma grande colônia de Pelecaniformes, localizada na Ilha dos Marinheiros, Rio Grande do Sul, Brasil. Dentre as sete espécies de Ardeidae presentes na colônia, três das mais abundantes (*Bubulcus ibis*, *Egretta thula* e *Nycticorax nycticorax*), de tamanhos semelhantes e com potencial sobreposição de nicho, ainda não foram estudadas nesse aspecto. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo investigar a dieta e repartição de recursos entre estas espécies, combinando métodos convencionais com análise de isótopos estáveis. Para isso, foram coletados regurgitados e pellets, para análise da dieta, e sangue de ninhegos, para a análise das razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$). As presas mais representativas na dieta de *B. ibis* foram insetos e anuros. *Egretta thula* alimentou-se principalmente de peixes e insetos, enquanto o inverso, insetos seguidos por peixes, caracterizou a dieta de *N. nycticorax*. A maior sobreposição de nicho isotópico foi de *N. nycticorax* sobre os nichos de *E. thula* e de *B. ibis*. Diferente do predito nas hipóteses do estudo, o nicho trófico e isotópico de *N. nycticorax* não diferiu das demais garças, possivelmente devido ao hábito de forrageio noturno. Porém, houve elevada sobreposição e esta espécie teve os nichos trófico e isotópico mais amplos. *Bubulcus ibis*, parece ter forrageado principalmente em ambientes terrestres e *E. thula* principalmente nos ambientes límnicos. As três espécies diferiram na dieta, quanto aos principais habitats de forrageio, mas ambas compartilharam recursos alimentares entre si, destacando a importância da abundância de recursos alimentares no entorno de colônias situadas em ambiente estuarino. Ademais, evidenciou-se que pelas espécies possuírem papéis ecológicos com algumas diferenças, podem coexistir na mesma colônia estuarina, compartilhando recursos alimentares. Conclui-se que os estudos sobre a dieta e repartição de recursos de garças, em colônias situadas não apenas na região do estudo, mas também em diversos ambientes aquáticos continentais são fundamentais para o entendimento das interações ecológicas entre consumidores e suas presas.

Palavras-chave: Ardeidae, estuários, colônias de aves aquáticas, espécies simpátricas, isótopos estáveis, Lagoa dos Patos.

ABSTRACT

Studies on the comparative trophic ecology provide information on the use of food resources, allowing us to estimate the overlap and niche width between different species in a given environment. Several species of predatory waterbirds, such as herons, breed in mixed colonies, and may share the same resources obtained in nearby areas. In the Patos Lagoon estuary, an area of abundant resources and importance for waterbirds, there is a large colony of Pelecaniformes, located on Marinheiros Island, Rio Grande do Sul state, Brazil. Among the seven species of Ardeidae present in the colony, three (*Bubulcus ibis*, *Egretta thula* and *Nycticorax nycticorax*), of similar size and with potential niche overlap, have not yet been studied. In this way, the present study aimed to investigate diet and resource partitioning with conventional methods and with stable isotope analysis, as complementary methods. Regurgitates and pellets were collected for diet analysis, and blood from nestlings, for carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) analysis. The most representative prey items in the diet of *B. ibis* were insects and anurans. *Egretta thula* fed mainly on fish and insects, while the reverse, insects followed by fish, characterized the diet of *N. nycticorax*. The greatest isotopic niche overlap was of *N. nycticorax* over the niches of *E. thula* and *B. ibis*. Unlike expected, in the study hypotheses, the trophic and isotopic niche of *N. nycticorax* did not differ from the other herons, possibly due to the nocturnal foraging habit. However, there was high overlap and this species had the broadest trophic and isotopic niches. *Bubulcus ibis*, had the narrowest niche and seems to have foraged mainly in terrestrial environments and *E. thula* primarily in limnic environments. The three species differed in diet, regarding the main foraging habitats, but both shared food resources between themselves, highlighting the importance of the abundance of food resources around colonies located in estuarine environments. Furthermore, it was evidenced that because the species have ecological roles with some differences, they can coexist in the same estuarine colony, sharing food resources. We conclude that studies on the diet and resources shared by herons in colonies located not only in the study region, but also in a range of continental aquatic environments, are fundamental to the understanding of ecological interactions between consumers and their prey.

Key-words: Ardeidae, estuaries, waterbird colonies, sympatric species, stable isotope, Patos Lagoon.



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



**Transporte lateral realizado por aves aquáticas
para o ambiente terrestre, em uma colônia no
Sul do Brasil**

Felipe Caseiro-Silva

Orientador: Leandro Bugoni

Rio Grande

2021



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



**Transporte lateral realizado por aves aquáticas para ambiente
terrestre, em uma colônia no Sul do Brasil**

Aluno: Felipe Caseiro-Silva

Orientador: Leandro Bugoni

Dissertação/Tese 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

2021

Ficha Catalográfica

C337t Caseiro-Silva, Felipe.

Transporte lateral realizado por aves aquáticas para ambiente terrestre, em uma colônia no Sul do Brasil / Felipe Caseiro-Silva. – 2021.

75 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientador: Dr. Leandro Bugoni.

1. Estuários 2. Guildas Tróficas 3. Isótopos Estáveis 4. Matéria Alóctone 5. Vetores Biológicos I. Bugoni, Leandro II. Título.

CDU 598.4

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 006/2021

Às 14:00 hs (quatorze horas) do dia 29 (vinte e nove) do mês de outubro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência, reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado do acadêmico Felipe Caseiro Silva. A dissertação intitulada **“Transporte lateral mediado por aves aquáticas para ambiente terrestre em uma colônia estuarina no Sul do Brasil”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Prof^o Dr. Leandro Bugoni (Orientador), Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia (FURG) e Prof^a Dra. Fátima Carolina Recalde Ruiz (UNAE/UNESP). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. 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 17:00h (**dezessete horas**) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.

Documento assinado digitalmente
gov.br
FELIPE CASEIRO SILVA
Data: 29/10/2021 23:32:57-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Felipe Caseiro Silva

Prof^o Dr. Leandro Bugoni

Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia

Prof^a Dra. Fátima Carolina Recalde Ruiz

Prof^o Dr. Rogério Tubino Vianna

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Vera Regina Silva e Rudiclai da Costa Silva, que sempre apoiaram e acreditaram nas minhas escolhas. Que deram suporte, apoiando e sabendo lidar comigo nos dias estressantes ao longo dessa etapa difícil que foi o mestrado.

Ao meu orientador, Leandro Bugoni, pelos ensinamentos, profissionalismo, puxões de orelha e pela paciência que teve com as dificuldades que apresentei ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos de laboratório, Cindy Barreto, Cinthia Negrine e Fernando Faria, por cooperarem com o trabalho sem pedir nada em troca. Por terem me auxiliado e tirado as pequenas e grandes dúvidas que iam surgindo e por terem sido fundamentais na conclusão.

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

Ao CNPq pela concessão a recursos do Projeto Universal que possibilitaram as saídas de campo e a pesquisa.

Aos colegas de Laboratório de Aves Aquáticas e Tartarugas Marinhas, em especial a Aline Barbosa, Bruno Linhares, Fernanda Valls, Juliana Gaiotto, Larissa Alvariz, Leonardo Soares e Márcio Repenning pelo suporte.

Ao Laboratório de Florística – FURG, em especial ao William Matzenauer, pelo auxílio da identificação da vegetação coletada.

Aos amigos, Francisco Eliseu, Omar Entiauspe, Saulo Pino, Saimon Bueno e Yan Gowert, que me acompanham desde a graduação, e foram amizades fundamentais nos momentos bons e ruins.

Às amigas fortes e sólidas que construí durante este processo, Andréa Moraes, Patrícia Buratto e Vinícius Mendes, que foram e são pessoas especiais, fundamentais e que nunca se cansaram de apoiar e ouvir as reclamações, dando forças quando eu acreditava não ter mais.

A todos amigos e colegas da turma de mestrado, Amanda, Celomar, Gabriela, Luiz, Raissa, Tamires, Tauana, pelo apoio ao longo do percurso, pelas trocas e companheirismo.

À minha amiga Raíssa Quadros, que não cansou de ouvir as infinitas reclamações que fiz, por sempre apoiar e dar forças, e me fez acreditar em mim quando nem eu acreditava.

À minha amiga Rubia Ramos, que mesmo à distância me escutava falar do mestrado e sempre tinha algum comentário engraçado, que amenizava o peso da situação e lembrava que não dá para levar as coisas tão a sério.

E por último, mas não menos importante, um agradecimento para as minhas gatas, Amora e Marcela, que mesmo não falando foram companhias importantes nos dias difíceis.

RESUMO

Organismos móveis e migratórios podem atuar como bons vetores de transporte de matéria e energia entre os ambientes. Como exemplo, temos o papel das aves aquáticas, que em períodos reprodutivos agrupam-se em colônias, onde concentram matéria e energia oriundas de áreas próximas. O alimento obtido em ambientes úmidos próximos, somado às carcaças de filhotes que morrem e ao guano, podem enriquecer e aumentar a produtividade local. A análise de isótopos estáveis (AIE) auxilia a obtenção de informações sobre o conteúdo carregado e depositados no ambiente terrestre devido às diferenças isotópicas entre o ambiente receptor e de origem. No presente estudo, analisamos um ambiente colonial, na Ilha dos Marinheiros, Rio Grande – RS, Brasil. O ambiente é ocupado por sete espécies de aves aquáticas de grande porte, em parte do ano, e foi comparado a amostras de um ambiente controle, de características semelhantes, porém sem colônia. Foram amostrados dois períodos, com a colônia ativa e quando o local da colônia não está ocupado pelas aves aquáticas. Foram realizadas AIE em amostras de solo, vegetação, invertebrados e sangue de aves terrestres a fim de rastrear o fluxo de carbono e nitrogênio nos diversos compartimentos ecossistêmicos. Além disso, os grupos foram divididos em guildas tróficas, a fim de verificar a assimilação da matéria transportada. Os resultados indicaram que solo e todos os grupos de organismos analisados do ambiente de colônia são enriquecidos em ^{15}N . Já para ^{13}C , o enriquecimento foi notado apenas em solo e aves. Além disso, mesmo durante os períodos de ausência da colônia, o enriquecimento se manteve, demonstrando persistência e efeitos duráveis do material alóctone. Análises das cadeias tróficas indicam que o enriquecimento chega até os níveis tróficos mais altos do ambiente. Apesar disso, fatores como guilda trófica parecem influenciar nesses resultados. Os modelos de mistura bayesianos indicam que organismos de ambos os ambientes apresentam probabilidade de assimilação de matéria estuarina. Com exceção de aves insetívoras, todas as guildas de aves e de invertebrados apresentaram maior assimilação de matéria estuarina no ambiente de colônia, quando comparado ao ambiente controle. Conclui-se que colônias de aves promovem o enriquecimento dos ambientes, mesmo em ambientes ricos como matas palustres, beneficiando toda a teia trófica.

Palavras-chave: estuários, guildas tróficas, isótopos estáveis, matéria alóctone, vetores biológicos.

ABSTRACT

Mobile and migratory organisms can act as good vectors for the transport of matter and energy between environments. As an example, there is the role of waterbirds, which during reproductive periods group together in colonies, where they concentrate matter and energy from nearby areas. Food obtained from nearby wetlands, in addition to dying chick carcasses and guano, can enrich and increase local productivity. Stable isotope analysis (SIA) aids in obtaining information about the contents carried and deposited in the terrestrial environment due to the isotopic differences between the receiving environment and the source. In the present study, we analyze a colonial environment, at Ilha dos Marinheiros, Rio Grande - RS, Brazil. The environment is occupied by seven species of large waterbirds part of the year and was compared to samples from a control environment of similar characteristics, but without a colony and in a period when the colony site is not occupied by waterbirds. SIA was performed on samples of soil, vegetation, invertebrates, and blood from land birds in order to trace the flux of carbon and nitrogen in the various ecosystem compartments. In addition, the groups were divided into trophic guilds in order to verify the assimilation of the transported matter. The results indicated that soil and all analyzed groups of organisms from the colony environment are enriched in ^{15}N . For ^{13}C , enrichment was noted only in soil and birds. Moreover, even during periods of absence from the colony, the enrichment was maintained, demonstrating persistence and lasting effects. Trophic web analyses indicate that enrichment reaches the higher trophic levels of the environment. However, factors such as trophic guild seem to influence these results. Bayesian mixture models indicate that organisms from both environments are likely to assimilate estuarine matter. With the exception of insectivorous birds, all guilds showed greater assimilation of estuarine matter in the colony area, when compared to the control environment. It is concluded that bird colonies promote the enrichment of environments, even in rich environments such as swamp forests, benefiting the entire trophic web.

Key-words: allochthonous matter, biological vectors, estuaries, stable isotopes, trophic guilds.



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



**Efeito dos herbicidas atrazina e clomazona sobre a
macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.)
Solms (Pontederiaceae)**

Gabriela Chavez Cossio

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Samantha Eslava Gonçalves Martins

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Sônia Marisa Hefler

Rio Grande

2021



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



**Efeito dos herbicidas atrazina e clomazona sobre a macrófita
aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae)**

Aluno: Gabriela Chavez Cossio

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Samantha Eslava Gonçalves Martins

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Sônia Marisa Hefler

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

2021

Ficha Catalográfica

C836e Cossio, Gabriela Chavez.

Efeito dos herbicidas atrazina e clomazona sobre a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae) / Gabriela Chavez Cossio. – 2021.
85 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Samantha Eslava Gonçalves Martins.

Coorientadora: Dra. Sônia Marisa Hefler.

1. Pigmentos Fotossintéticos 2. Micronúcleos 3. Fitotoxicidade
4. Genotoxicidade 5. Macrófita Aquática 6. Atrazina 7. Clomazona
I. Martins, Samantha Eslava Gonçalves II. Hefler, Sônia Marisa
III. Título.

CDU 556.33

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 005/2021

Às 08:00 hs (oito horas) do dia 26 (vinte e seis) do mês de outubro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência, reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da acadêmica Gabriela Chavez Cossio. A dissertação intitulada “**Efeito dos herbicidas atrazina e clomazona sobre a macrófita aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (Pontederiaceae)**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Profª Dra. Samantha Eslava Gonçalves Martins (Orientadora), Prof. Dr. Junior Borella (FURG) e Profª Dra. Maria Aparecida Marin Morales (UNESP). 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 11:30h (**onze horas e trinta minutos**) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Profª Dra Samantha Eslava Gonçalves Martins

Profº. Dr. Junior Borella

Profª Dra. Maria Aparecida Marin Morales

Gabriela
Chavez Cossio

Profº Dr. Rogério Tubino
Vianna Coordenador do
Curso

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho principalmente a Deus quem me fez chegar até aqui, a meus pais, por ser o pilar mais importante da minha vida.

A meus irmãos Alejandro, Claudia, Marco, minha cunhada Claudia Villarroel por ser uma irmã mais e a meus sobrinhos Nicole, Rafael e Sarahi por me motivar e apertar as mãos quando senti que a estrada estava terminando e, acima de tudo, por sempre me mostrar seu amor e apoio incondicional.

A minha “irmã de Brasil”, Eliza Acosta, que sempre esteve comigo, por compartilhar momentos significativos, por estar sempre disposta a me ouvir e me ajudar em qualquer momento.

Aos meus amigos Raif, Silvana, Magda, Cecilia, Beatriz pelo carinho o apoio que tiveram ao longo destes últimos anos.

*“Gratidão a vida por me dar a oportunidade
de conhecer-me a mim mesma e por permitir meu crescimento”*



AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria que estas linhas servissem para expressar meus mais profundos e sinceros agradecimentos a todas as pessoas que colaboraram na realização dessa dissertação.

Agradeço especialmente a minha orientadora Profa. Dra. Samantha Eslava Gonçalves Martins por me orientar mesmo sem me conhecer, por compartilhar o seu conhecimento comigo e por promover o desenvolvimento deste trabalho, e sobre todo por sua amizade e carinho.

Agradeço a minha co-orientadora Profa. Dra. Sônia Marisa Hefler, por ter aceitado me orientar, e por me ensinar com muita paciência e dedicação.

Gostaria de agradecer também ao Professor Cesar Costa do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal de Rio Grande - FURG, que aceitou compartilhar conosco seus conhecimentos, e pelas relevantes contribuições neste trabalho.

Agradeço ao Programa Bolsas Brasil – PAEC OEA/GCUB, pela bolsa concedida, sem a qual não seria possível a realização dessa dissertação.

Agradeço aos professores do programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais da Universidade Federal de Rio Grande - FURG, pelo conhecimento compartilhado, a paciência, carinho, e o acolhimento.

Um agradecimento às alunas da UFRG, Andressa de Souza Ávila e Jade Medeiros pelo auxílio no cultivo e testes de *E. crassipes*, às técnicas do laboratório de morfologia para fazer os cortes anatômicos das folhas e raízes, e aos técnicos do laboratório da Botânica Pablo Guimaraes e Caroline Igansi, pela orientação e por sua valiosa colaboração.

E por último um agradecimento especial a minha família e amigos, pelo apoio, compreensão e paciência, sobre todo pelo incentivo, para seguir adiante a pesar de estar longe de mim.

Para todos eles, obrigado.

RESUMO

A expansão agrícola gerou um aumento do uso de agrotóxicos nas lavouras, sendo estas atividades as que mais contaminam os ecossistemas aquáticos. Dentre eles, o herbicida atrazina e clomazona são amplamente utilizados em alguns países como o Brasil, apesar de sua proibição em diversos outros países, devido à sua toxicidade. A macrófita aquática *Eichhornia crassipes* é uma espécie não-alvo potencialmente afetada pelo uso dos herbicidas atrazina e clomazona, por responder anatômica e fisiologicamente às condições ambientais em que se desenvolve. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estrutura anatômica das raízes e folhas de *E. crassipes* submetidas a diferentes concentrações dos herbicidas atrazina e clomazona, testadas individualmente e em mistura, bem como identificar o potencial genotóxico e as possíveis alterações do metabolismo fotossintético induzidos pela atrazina, sobre essa macrófita. Propágulos clonais de *E. crassipes* foram expostos agudamente a diferentes tratamentos. Para atrazina, foi também realizado um teste de toxicidade crônico. A clomazona teve um efeito nos pigmentos fotossintéticos, onde foi observada a não formação de pigmentos carotenoides, o qual gerou um clareamento nas folhas. A atrazina afetou a biomassa das folhas e da planta, após dois dias de exposição, mas a planta foi capaz de se recuperar e até crescer na presença desse herbicida. Da mesma forma, estruturas anatômicas da folha, como epiderme adaxial (EAD), epiderme abaxial (EAB), parênquima paliádico (PP) e parênquima esponjoso (PE), apresentaram efeitos no início da exposição e se recuperaram, principalmente, ao final da exposição (14 dias). Com relação aos pigmentos fotossintéticos, os níveis de clorofila a, clorofila b e carotenoides aumentaram com o tempo, independentemente da concentração de atrazina. A incidência de micronúcleos foi o parâmetro mais afetado, mostrando que a atrazina é genotóxica para *E. crassipes*. Este estudo mostrou que os herbicidas avaliados podem induzir alterações estruturais e genotóxicas à *E. crassipes*, mas a espécie também apresenta potencial de recuperação. Os resultados reforçam que a atrazina e clomazona afetam negativamente espécies não-alvo, mesmo em concentrações ambientais relevantes, o que denota a necessidade de se estabelecer ou refinar medidas para reduzir/controlar a sua aplicação em áreas de uso autorizado.

Palavras-chave: pigmentos fotossintéticos; micronúcleos; fitotoxicidade; genotoxicidade; macrófita aquática; atrazina; clomazona.

ABSTRACT

Agricultural expansion has generated an increase in the use of pesticides in crops, which intensely contaminate aquatic ecosystems. Among them, the herbicides atrazine and clomazone are widely used in some countries such as Brazil, despite their ban due to their toxicity in several other countries. The non-target species potentially affected by the use of atrazine and clomazone, *Eichhornia crassipes*, responds anatomically and physiologically to the environmental conditions in which it develops. Therefore, the objective of this work was to assess the anatomical structure of the roots and leaves of *E. crassipes* regarding the effects of exposure to different concentrations of atrazine and clomazone individually and in mixture, as well as to identify the genotoxic potential of atrazine and the alterations they cause on the photosynthetic metabolism of *E. crassipes*. Clonal propagules of *E. crassipes* were acutely exposed to different treatments. For atrazine, a chronic toxicity test was also carried out. Clomazone had an effect on photosynthetic pigments, it was observed the non-formation of carotenoid pigments which generated bleaching in the leaves. Atrazine affected leaf and plant biomass after two days of exposure, but the plant was able to recover and even grow in the presence of this herbicide. Likewise, anatomical structures of the leaf, such as adaxial epidermis (ADE), abaxial epidermis (ABE), palisade parenchyma (PI) and spongy parenchyma (PS), showed effects at the beginning of the exposure and recovered mainly at the end of the exposure (14 days). With respect to photosynthetic pigments, the levels of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids increased with time, regardless of the atrazine concentration. The incidence of micronucleus was the most affected endpoint, showing that atrazine is genotoxic to *E. crassipes*. This study showed that *E. crassipes* is negatively affected by herbicides, but it also has recovery potential. The results reinforce that atrazine and clomazone negatively affect ecologically relevant species, even at relevant environmental concentrations, and measures to reduce/control their use need to be established or refined in areas of authorized use.

Key-words: photosynthetic pigments, micronuclei, genotoxicity, atrazine, clomazone.



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



Modelos de Nicho Ecológico: Aplicações e tendências para peixes de água doce

Liane Naetzold

Orientador: Daniel Loebmann
Coorientadora: Fabiana Gonçalves Barbosa

Rio Grande
2021



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



Modelos de Nicho Ecológico: Aplicações e tendências para peixes de água doce

Aluno: Liane Naetzold

Orientador: Daniel Loebmann

Coorientadora: Fabiana Gonçalves Barbosa

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
2021

Dedico
esta dissertação a todas as espécies que não conhecemos e que
provavelmente serão extintas antes mesmo de as conhecermos

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Rio Grande (Furg) por mais uma vez contribuiu na minha formação com um ensino de qualidade;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela disponibilidade da bolsa que contribuíram para este projeto;

Agradeço, à minha família e aos meus pais, Elio e Mary pelos seus esforços em garantir uma boa educação ao longo destes anos e me proporcionaram voar tão alto;

As minhas irmãs, Stella e Kelen pelo imenso carinho e apoio nesta trajetória, as muitas chamadas de vídeos que me proporcionaram momentos de alegria, como sempre a vida é bem melhor com vocês;

Ao meu companheiro Fabricio pela paciência e apoio desses e de todos os outros anos;

Ao meu orientador Daniel Loebmann pelo apoio, dedicação e paciência para desenvolver esta dissertação;

Agradeço também, a minha Coorientadora por toda paciência e profissionalismo, e por me mostrar a modelagem preditiva que proporcionou novos conhecimentos e aprendizagens, bem como expandir novos horizontes;

Aos meus colegas de laboratório de zoologia Saulo, Vinicius, Fernando e aos técnicos do laboratório, Renato (Renatinho) e a Raquel;

Ao professor Reginaldo pela conversas e ensinamentos sobre o pacote sdm no R;

E as colegas e amigos do laboratório de Limnologia, Cássia e ao Murillo pelo apoio com o programa R e principalmente ao grupo pic-pic, Mavi, Pâmela, Maybi e Karoline que me proporcionaram muitas risadas e momentos de alegria ao longo desses anos, gratidão gurias!

Ao grupo de Futsal: Aninha, Gabi, Bruna, Silvinha, Joana, Nati, Letiane, Fernanda, Nina, Dalvis maravilhosa, Rafa e em especial a Silah (maravilinda), Wanessa e a Cátia (catita) que muitos foram os cafês, chimarrão e bolos compartilhado ao meio a correria do dia a dia. Grata meninas por todos os momentos afetivos, de muita risada, pela parceria e amizade de todas as quartas-feiras;

A todos os demais amigos que nos momentos mais difíceis nos proporcionam tantos momentos de alegria e boas risadas: Tatinha, Andreia, Ketlin, Marília, , Syed, Jonathan, Valéria, Fabi, Aninha, Diego;

Aos membros da banca, pela disponibilidade em avaliar e contribuir para melhoria deste trabalho;

A todas as pessoas que me ajudaram e torceram pela minha formação de forma direta ou indiretamente;

A todos, meu muito obrigada

Liane Naetzold

RESUMO

Compreender as distribuições potenciais das espécies (DPE) frente as variações das condições ambientais, tornam-se ferramentas importantes em diversas áreas do conhecimento. Isso porque as mudanças climáticas e as espécies invasoras são responsáveis pela perda da biodiversidade. Neste sentido, uma ferramenta que é utilizada para prever a DPE são os modelos de nicho ecológico (MNEs). Este estudo teve por objetivo 1: realizar um estudo cienciométrico do uso dos MNEs para peixes de água doce (Capítulo 1). 2: Aplicar MNEs para mapear a distribuição potencial de peixes invasores nas América do Sul, diante de possíveis cenários de mudanças climáticas (Capítulo 2). No capítulo 1 os resultados indicam lacunas no conhecimento sobre MNEs para peixes de água doce, através da revisão de 79 artigos foram pré-identificadas oito perguntas que direcionam nossa análise e interpretação dos resultados. Observou-se forte tendência em estudos com essa temática em países desenvolvidos, contrastando com países menos desenvolvidos que são mais diversos. Assim, os MNEs mostraram-se ser uma ferramenta bastante promissora para estudos que tenham interesse no campo da conservação. No segundo capítulo as previsões dos modelos para cada espécie foram combinadas a partir de quatro algoritmo (BIOCLIM, DOMAIN, RF e SVM), de forma a obter um modelo consenso de: *Cichla ocellaris* e *Pygocentrus nattereri* utilizando dados com da região nativa e invadida para o presente e futuro (2070), sob dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5) a partir de três modelos de circulação CCSM4, HADGEM e MPI. Em seguida, os modelos foram projetados nas Américas buscando identificar potenciais áreas com adequabilidade para que as espécies possam se estabelecer. Dessa forma, verificamos que as espécies invasoras podem aumentar suas potenciais áreas de adequabilidade ambiental moldadas pelas mudanças no clima no futuro, especialmente ao Sul da América do Sul.

Palavras-chave: análise cienciométrica; *Cichla ocellaris*; invasão biológica; modelos de distribuição de espécies; mudança climáticas; *Pygocentrus nattereri*

ABSTRACT

Understanding the potential distributions of species (DPE) in the face of variations in environmental conditions, become important tools in several areas of knowledge. This is because climate change and invasive species are responsible for the loss of biodiversity. In this sense, a tool that is used to predict a DPE is the ecological niche models (ENMs). The objective of this study was 1: to carry out a scientometric study of the use of MNEs for freshwater fish (Chapter 1). 2: Apply ENMs to map the potential distribution of invasive fish in South America, facing possible scenarios of climate change (Chapter 2). In chapter 1, the results indicate gaps in knowledge about ENMs for freshwater fish, through the review of 79 articles, eight questions were pre-identified that guide our analysis and interpretation of the results. There was a strong trend in studies with this theme in developed countries, in contrast to less developed countries that are more diverse. Thus, ENMs cannot be a very promising tool for studies that are interested in the field of conservation. In the second chapter how model movements for each species were combined using four modeling methods (BIOCLIM, DOMAIN, RF and SVM), in order to obtain a consensus model of: *Cichla ocellaris* and *Pygocentrus nattereri* using data from the native and invaded region for the present and future (2070), under two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) from three circulation models CCSM4, HADGEM and MPI. Then, the models were evaluated in the Americas seeking to identify possible areas with suitability for the species to establish themselves. Thus, we found that invasive species can increase their potential areas of environmental suitability shaped by changes in the climate in the future, especially in the South of South America.

Keywords: scientometric analysis; *Cichla ocellaris*; biological invasion; species distribution models; climate change; *Pygocentrus nattereri*



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



**Resposta de *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E.
Hegewald ao sombreamento e lixiviado de *Cabomba
caroliniana* A. Gray sob diferentes concentrações de
nitrato: uma abordagem experimental**

Manuela Passos Tourinho

Orientadora: Ana Silvia Rolon
Coorientadora: Emanuela Garbin Martinazzo

Rio Grande
2021



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



**Resposta de *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald ao
sombreamento e lixiviado de *Cabomba caroliniana* A. Gray sob
diferentes concentrações de nitrato: uma abordagem experimental**

Aluna: Manuela Passos Tourinho

Orientadora: Ana Silvia Rolon

Coorientadora: Emanuela Garbin Martinazzo

Colaborador: Pablo Santos Guimarães

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
2021

Ficha Catalográfica

T727r Tourinho, Manuela Passos.

Resposta de *Desmodemus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald ao sombreamento e lixiviado de *Cabomba caroliniana* A. Gray sob diferentes concentrações de nitrato: uma abordagem experimental / Manuela Passos Tourinho. – 2021.
76 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Ana Sílvia Rolon.

Coorientadora: Dra. Emanuela Garbin Martinazzo.

Colaborador: Dr. Pablo Santos Guimarães.

1. Alelopatia 2. Competição 3. Eutrofização 4. Lagos rasos
I. Rolon, Ana Sílvia II. Martinazzo, Emanuela Garbin III. Guimarães, Pablo Santos IV. Título.

CDU 581.526.33

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 001/2021

Às 14:00 hs (quatorze horas) do dia 25 (vinte e cinco) do mês de fevereiro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência (<https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/ana-silvia-rolon-ana>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da acadêmica **Manuela Passos Tourinho**. A dissertação intitulada “**Resposta de *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald ao sombreamento e lixiviado de *Cabomba caroliniana* A. Gray sob diferentes concentrações de nitrato: uma abordagem experimental**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Prof^ª Dra Ana Silvia Rolon (Orientadora) Prof^ª Dra Emanuela Garbin Martinazzo (Co-orientadora), Prof^ª Dra. Sônia Marisa Heffer (FURG), Prof^º Dr Ng Haig They (UFRGS) e Dra Marianna de Oliveira Lanari (Pós-Doc/FURG). 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 17:45h (dezessete horas e quarenta e cinco minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Prof^ª Dra. Ana Silvia Rolon

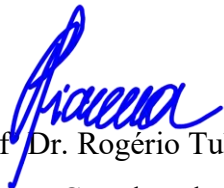
Prof^ª Dra. Emanuela Garbin Martinazzo

Prof^ª. Dra. Sônia Marisa Heffer

Prof^º Dr. Ng Haig They

Dra Marianna de Oliveira Lanari

Manuela Passos Tourinho



Prof. Dr. Rogério Tubino
Vianna Coordenador do
Curso

Dedico à minha mãe,
Sra. Silvia Passos Tourinho

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minhas orientadoras e ao colaborador, Dra. Ana Silvia Rolon, Dra. Emanuela Martinazzo e Dr. Pablo Guimarães, por abdicarem do seu tempo, pela receptividade e construção de uma grande equipe. O apoio, paciência e carinho dedicados/doados a mim, tornou esta trajetória possível e mais leve. Agradeço pela confiança e enorme habilidade que vocês possuem em buscar soluções práticas e eficientes frente à problemas profissionais e também pessoais. Agradeço pelas palavras de conforto e estímulo e também pelos puxões de orelha. *Obrigada, obrigada, obrigada!*

Um agradecimento especial ao professor e ao técnico responsáveis pelo laboratório de Microalgas (ICB – FURG), obrigada por me receberem de portas abertas e por disponibilizar toda estrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa, que foi minha segunda casa durante estes anos. Obrigada aos amigos e colegas de laboratório, de PPG, Andrea, Patricia, Mavi, Muryllo, Ana Cecília, Pablo. É um prazer enorme trabalhar ao lado de pessoas tão inspiradoras, pró-ativas, responsáveis e generosas! Muito obrigada!!!

Agradeço a CAPES pela disponibilização de bolsa de estudos. Agradeço aos professores do PPG-BAC pelo conhecimento compartilhado. Agradeço também aos professores e técnicos da Botânica e, também do laboratório de Limnologia (ICB).

Agradecimento especial a minha mãe pela compreensão, por todo incentivo, suporte e que nunca mediu esforços para investir na minha educação e nos meus estudos, por acreditar em mim e por nunca permitir que eu desistisse dos meus sonhos. Muito obrigada pela amizade e por acreditar em mim. És meu maior exemplo de integridade, lealdade e cumplicidade; obrigada por me ensinar a amar a vida, em todas suas formas, mas sobretudo, obrigada por lutar, ferozmente, por ela. És uma guerreira! Juntas somos (*muito*) mais fortes.

Agradeço ao meu querido companheiro, Rodrigo, pelo dom em tornar todos os momentos difíceis em momentos leves e alegres. Obrigada pela parceria, compreensão, pela amizade e pelo incentivo incansável.

Um muitíssimo obrigada aos meus amados e perfeitos amigos, Ana, Amanda, Aline, Andrea e Pati, Bruna, Camila, Fabi, Henrique, Jordana, Ju, Kim, Larissa, Maiby, vocês são demais!

Aos familiares, amigos, obrigada por todo carinho, compreensão e incentivo!

Sou grata por ter pessoas tão especiais na minha vida.

RESUMO

Cobrindo aproximadamente 8% da superfície terrestre, os ecossistemas de água doce enquanto recurso natural, são responsáveis por sustentar funções sociais, ecológicas e abrigar uma elevada biodiversidade. Apesar da importância de ecossistemas aquáticos os níveis de eutrofização têm sido um problema mundial, pois estes ambientes fornecem diferentes serviços ecossistêmicos. A eutrofização é oriunda do excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo e pode desencadear o crescimento excessivo do fitoplâncton e, conseqüentemente, aumento da turbidez da água. Entretanto a presença de macrófitas aquáticas pode influenciar no controle de microalgas, através de mecanismos competitivos, como liberação de compostos aleloquímicos, competição por luz e nutrientes. A partir do exposto, nosso trabalho avaliou experimentalmente a influencia da *Cabomba caroliniana* sobre a microalga *Desmodesmus communis*, expostas a três concentrações de nitrato. Para verificar o efeito da presença física, realizamos o experimento coexistência, e para analisar, exclusivamente, o efeito do lixiviado foi realizado o experimento alelopatia. Os resultados obtidos indicam que o sombreamento gerado pela presença física da macrófita submersa *C. caroliniana* influencia negativamente no crescimento de *D. communis*, assim como o lixiviado da planta. O segundo fator propulsor para inibição do crescimento da microalga foi o nitrato, em ambos experimentos. Logo, este estudo mostrou que a competição interespecífica entre estas espécies pode ser uma forma de mitigação do processo de eutrofização em lagos rasos, além disso, é essencial que haja controle no aporte nutricional destes locais.

Palavras-chave: Alelopatia, Competição, Eutrofização, Lagos rasos.

ABSTRACT

Covering approximately 8% of the Earth's surface, fresh water ecosystems as natural resource are responsible for sustaining ecological and social functions, and harbor high biodiversity. Even though their significance, the high levels of eutrophication have been a global problem given that those environments provide several ecosystem services. The eutrophication rises from the excess of nutrients, including nitrogen and phosphorus. It can initiate the overgrowth of phytoplankton and, therefore, rise the water turbidity. However, the presence of aquatic macrophytes can influence in the microalgae growth through competitive mechanisms, including the release of allelochemical compounds, shading and nutrient uptake. Given this, the aim of this work is to experimentally evaluate the influence of *Cabomba caroliniana* on the microalgae *Desmodesmus communis*, exposed to three nitrate concentrations. The effect of its physical presence was assessed by a coexistence experiment, and the exclusive effect of the leachate was analyzed by an allelopathy experiment. The results indicated that shading caused by the physical presence of the submersed macrophyte *C. caroliniana* influences the growth of *D. communis*, as well as the leachate. The second propellant factor for the growth inhibition was nitrate, on both experiments. Therefore, this study shows the interspecific competition between those species can be a method for the mitigation of eutrophication in shallow lakes. Moreover, it is essential to control the nutritional support in these sites.

Key-words: Allelopathy, Competition, Eutrophication, Shallow lake



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



**Caracterização morfológica e molecular de espécies
de Gyrodactylidea (Monogenoidea) parasitas de
Hisonotus spp. (Loricariidae) das bacias
hidrográficas adjacentes à Lagoa dos Patos.**

Sabrina Dalmas Branchi

Orientador: Dr. Rogério Tubino Vianna
Co-orientadora: Dra. Lizandra Jaqueline Robe

Rio Grande
2021



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



**Caracterização morfológica e molecular de espécies de
Gyrodactylidea (Monogenoidea) parasitas de *Hisonotus* spp.
(Loricariidae) das bacias hidrográficas adjacentes à Lagoa dos Patos.**

Aluno: Sabrina Dalmas Branchi

Orientador: Dr. Rogério Tubino Vianna

Co-orientadora: Dra. Lizandra Jaqueline Robe

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
2021

“Perhaps our greatest distinction as a species is our capacity, unique among animals, to make counter-evolutionary choices.” - Jared Diamond

Dedico esta dissertação a todos que acreditam no poder da educação.

AGRADECIMENTOS

Em 2014 conheci a pessoa que, de certa forma, permitiu com que esse momento chegasse. Em uma das primeiras aulas da graduação entra em sala o professor de Zoologia de Invertebrados I. Desde o primeiro segundo ele deixou bem claro que nossa jornada não seria fácil, nos assustamos, pois estávamos repletos de sonhos e expectativas. Obrigada por sempre nos deixar com os pés no chão, Rogério. No momento que sai desta primeira aula, soube que era como aquele professor que eu queria ser. No meio do semestre, prof. Rogério entra em sala e diz que está precisando de estagiários. Adivinhem que foi voando? E nesse momento ganhei uma nova família, a família LABIPOA.

Rogério, obrigada por ter confiado e acreditado em mim esse tempo todo. És um professor excepcional, um orientador maravilhoso, um amigo para todas as horas e um pai, sempre que preciso. Obrigada por absolutamente tudo!

O LABIPOA tem todo meu coração. Foi naquele espaço com cheiro de creosoto, que conheci as pessoas que estarão na minha vida para sempre. Compartilhamos dias felizes e tristes, comemoramos conquistas e choramos juntos. Somos uma família! Yu, Aline, Madalena, Tainã, Daniela, Jhoe e Robert. Essa dissertação tem um pouquinho de todos vocês! Mas preciso fazer um agradecimento especial a Tainã, afinal, chegamos juntas no mestrado e seguimos juntas por todo este percurso. Agradeço por toda ajuda, pelas “milhares” de coletas, risadas, por sempre abrir as portas da tua casa para nós e sempre oferecer teu ombro amigo. Você é uma mulher maravilhosa e sou muito grata pelo privilégio de te ter em minha vida.

Minha coorientadora Lizandra, me mostrou como a biologia molecular é linda. No início não acreditei muito, mas não precisou muito tempo para mudar completamente de ideia. Sou muito grata por ter tido a oportunidade de ser tua aluna e orientada, tens toda minha admiração. Obrigada por tanto! As técnicas do laboratório de genética Daiane, Loraine e Bruna, obrigada por toda ajuda, ensinamentos e conversas. Em especial a Bruna, que foi uma base muito importante nos primeiros passos desta caminhada.

Por último e não menos importante, minha família. Meus pais, Nilce e Juarez, por terem dado todo suporte e força que precisei. Saber que sempre tinha para onde correr nos momentos difíceis, foi muito importante durante esta jornada. Minha irmã Beatriz, que longe ou perto sempre esteve do meu lado. Você é incrível e tenho muito orgulho de ser tua irmã.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos. A Universidade Federal do Rio Grande, por unir forças para que

nós, alunos, possamos ter um ensino de qualidade apesar das adversidades. Ao PPGBAC pela oportunidade e atenção sempre prestada.

RESUMO

O Rio Grande do Sul é dividido em três grandes regiões hidrográficas, sendo uma delas a região Hidrográfica do Litoral. Esta bacia está subdividida em cinco bacias, das quais três possuem ligação com a Lagoa dos Patos. Apesar da diversa ictiofauna associada a estas bacias, nas quais predominamos peixes pertencentes à Siluriformes, entre eles os Loricariidae, a fauna de Gyrodactylidea associada, é ainda inexplorada. A presente dissertação descreve uma nova espécie de *Gyrodactylus* (Gyrodactylidae), descrito de *Hisonotus* sp. (Loricariidae) da bacia do Litoral Médio e na bacia da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. *Gyrodactylus* sp. n. 1 se diferencia de outras espécies de *Gyrodactylus* de Siluriformes por possuir os ganchos menores, com dedo do pé do gancho triangular, o órgão copulatório masculino com um espinho com borda recortada e duas fileiras de espinéletes, a fileira externa com 4-5 e a linha interna com 3-4 espinetes. A morfologia dos ganchos de *Gyrodactylus* sp. n. 1 é similar às espécies congêneres parasitas de Cyprinodontiformes da região Neotropical. O status de nova espécie foi corroborado por dados moleculares de (ITS rDNA), os quais também indicam que *Gyrodactylus* sp. n. 1 agrupa com espécies parasitas de Cyprinodontiformes e não com parasitos de Siluriformes. Seis espécies (cinco novas) de monogenóideos pertencentes à família Oogydactylidae são reportada/descritas pela primeira vez para bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul: *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 e *Phanerothecioides* sp. n. 1 são descritas para a Bacia da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, enquanto *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3, *Aglaigyrodactylus pedeunculatus* e *Phanerothecioides* sp. n. 2 foram registradas para a bacia do Rio Camaquã. *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 e *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3 são descritas baseadas, principalmente, nas características do órgão copulatório masculino. *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1 possui a peça acessório do OCM com duas ramificações, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 possui quatro ramificações da peça acessória e *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3 possui três ramificações. Todas espécies de *Aglaigyrodactylus* descritas possuem como característica, um dos ramos da peça acessória em forma de placas, o que se difere das demais espécies já conhecidas. *Phanerothecioides* sp. n. 1 e *Phanerothecioides* sp. n. 2 são propostas com base na características morfológicas da distribuição da vitelária, âncoras e ovo. Somente *Gyrodactylus* sp. n. 1 ocorreu em mais de uma bacia, sendo a única a ocorrer na bacia do Litoral Médio. Nas demais bacias, foram observadas coocorrências entre espécies de *Gyrodactylus*, *Aglaigyrodactylus* e *Phanerothecioides*. Esta diversificação pode estar associada à história evolutiva da relação parasita/hospedeiro ou ao tempo e formação da planície costeira.

Palavras-chave: Distribuição, Gyrodactylidae, Oogydactylidae, Região Neotropical, Taxonomia Integrativa.

ABSTRACT

Rio Grande do Sul is divided into three major hydrographic regions, one of them being the Coastal Hydrographic Region. This basin is subdivided into five basins, three of which are connected to Patos Lagoon. Despite the diverse ichthyofauna associated with these basins, in which we predominate fish belonging to Siluriformes, among them the Loricariidae, the associated fauna of Gyrodactylidea, is still unexplored. This dissertation describes a new species of *Gyrodactylus* (Gyrodactylidae), described by *Hisonotus* sp. (Loricariidae) of the Coastal Middle basin and the basin of Lagoa Mirim and Canal São Gonçalo. *Gyrodactylus* sp. n. 1 differs from other *Gyrodactylus* species of Siluriformes by possessing the smaller hooks, with the toe of the triangular hook, the male copulatory organ with a jagged edge and two rows of spinells, the outer row with 4-5 and the inner line with 3-4 thorns. The morphology of the hooks of *Gyrodactylus* sp. n. 1 is similar to the parasitic congeners of Cyprinodontiformes of the Neotropical region. The status of new species has been corroborated by molecular data from (ITS rDNA), which also indicate that *Gyrodactylus* sp. n. 1 group with parasitic species of Cyprinodontiformes and not with parasites of Siluriformes. Six species (five new) of monogenoids belonging to the Oogydactylidae family are reported / described for the first time for hydrographic basins in Rio Grande do Sul: *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 and *Phanerothecioides* sp. n. 1 are described for the Lagoa Mirim Basin and São Gonçalo Canal, while *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3, *Aglaigyrodactylus pedunculatus* and *Phanerothecioides* sp. n. 2 were recorded for the Camaquã River basin. *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 and *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3 are described based mainly on the characteristics of the male copulatory organ. *Aglaigyrodactylus* sp. n. 1 has the accessory part of the OCM with two branches, *Aglaigyrodactylus* sp. n. 2 has four branches of the accessory part and *Aglaigyrodactylus* sp. n. 3 has three branches. All species of *Aglaigyrodactylus* described have, as a characteristic, one of the branches of the accessory piece in the form of plates, which differs from the other species already known. *Phanerothecioides* sp. n. 1 and *Phanerothecioides* sp. n. 2 are proposed based on the morphological characteristics of the distribution of vitellaria, anchors and egg. Only *Gyrodactylus* sp. n. 1 occurred in more than one basin, being the only one to occur in the Middle Coast basin. In the other basins, co-occurrences between species of *Gyrodactylus*, *Aglaigyrodactylus* and *Phanerothecioides* were observed. This diversification may be associated with the evolutionary history of the parasite / host relationship or with the time and formation of the coastal plain.

Key-words: Distribution, Gyrodactylidae, Oogydactylidae, Neotropical Region, Integrative Taxonomy.



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



Partição de recursos: invertebrados selecionam diatomáceas perifíticas do biofilme?

Tauana Mores

Orientadora: Fabiana Schneck
Coorientadora: Edélti Faria Albertoni

Rio Grande
2021



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



Partição de recursos: invertebrados selecionam diatomáceas perifíticas do biofilme?

Aluna: Tauana Mores

Orientadora: Fabiana Schneck

Coorientadora: 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
2021

Ficha Catalográfica

M843p Mores, Tauana.

Partição de recursos: invertebrados selecionam diatomáceas
perifíticas do biofilme? / Tauana Mores. – 2021.
57 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Fabiana Schneck.

Coorientadora: Dra. Edélti Faria Albertoni.

1. Algas Perifíticas 2. Conteúdo Estomacal 3. Grupos
Funcionais 4. Insetos Aquáticos 5. Partição de Recursos
I. Schneck, Fabiana II. Albertoni, Edélti Faria III. Título.

CDU 582.26

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 – N° 007/2021


Às 14h (quatorze horas) do dia 21 (vinte e um) do mês de dezembro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência (https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa_mestrado_tauanamores), reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da acadêmica Tauana Morés. A dissertação intitulada **“Partição de recursos: invertebrados selecionam diatomáceas perifíticas do biofilme?”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Profª Dra. Fabiana Schneck (Orientadora e Presidente da Banca); Profª Dra. Edélti Faria Albertoni (Coorientadora); Profº Dr. Leandro Bugoni (FURG) e Profª Dra. Danielle Petsch (UEM). 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 16h10 (dezesesseis horas e dez minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

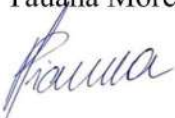

Profª Dra. Fabiana Schneck


Profª Dra. Edélti Faria Albertoni


Profº Dr. Leandro Bugoni


Profª Dra. Danielle Petsch


Tauana Morés


Profº Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roselita e Nevio, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, e que são a base que me mantém em pé.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

À todos que fazem parte do PPGBAC e do Laboratório de Limnologia da FURG.

À minha orientadora Fabiana Schneck, pela paciência, incentivo nos momentos de desânimo e puxões de orelha. Por ter ido até a Universidade no meio da pandemia pra me ajudar a oxidar insetos e montar lâminas de diatomáceas. Obrigada por ter me ensinado tanto.

À minha coorientadora Edélti, por ter me acolhido no Laboratório de Limnologia ainda antes de iniciar o mestrado, pelas oportunidades e suporte.

À professora Liliana Rodrigues, por ter concedido espaço no Laboratório de Ecologia de Algas Perifíticas na Universidade Estadual de Maringá para a identificação das diatomáceas.

Aos amigos e colegas da turma de mestrado, Amanda, Andréa, Celomar, Gabriela, Felipe, Luiz, Patrícia, Raíssa, Tamires e Vinícius, pela parceria, almoços no RU e cafés compartilhados. A amizade de vocês foi muito importante e vai ficar marcada na minha vida.

Aos colegas do LAATM, *Stream Team* e Laboratório de Limnologia, pelos cafés e conversas, especialmente Cindy, Aline, Dani, Emanuela, Ana, Maiby e Mavi. Ao Cláudio e à Gabi, que se tornaram amigos muito especiais que me ajudaram e incentivaram, tanto na realização da dissertação quanto na vida.

À Thayze e ao Julio, amigos muito especiais que a FURG me possibilitou conhecer.

E por fim, mas não menos importante, à Roberta, Carol, Micheli, Victória e as Vitórias que, mesmo longe, sempre estiveram presentes nessa jornada.

RESUMO

A partição de recursos entre espécies coexistentes possui grande influência na estruturação de comunidades, mas em ambientes aquáticos ainda é pouco estudada em organismos bentônicos. Entre os organismos bentônicos de riachos, os insetos são importantes consumidores da comunidade perifítica, principalmente diatomáceas. Em vista disso, quantificamos a partição de recursos em insetos que se alimentam do biofilme perifítico em riachos, avaliando se os táxons diferem quanto à dieta (i.e., espécies de diatomáceas consumidas) e se os insetos selecionam seus recursos de acordo com os atributos funcionais das diatomáceas (i.e., perfil ocupado no biofilme perifítico, forma de aderência ao substrato e tamanho). Analisamos o conteúdo estomacal de 88 indivíduos pertencentes a oito táxons de insetos para a identificação das diatomáceas consumidas. Classificamos os insetos em grupos funcionais alimentares. Além disso, coletamos amostras da comunidade perifítica do riacho. Para analisar se a composição da dieta dos insetos diferiu entre os táxons realizamos uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA) para dados de presença-ausência e abundância. Realizamos uma análise multivariada RLQ para identificar os padrões alimentares dos insetos e uma análise *fourth-corner* para avaliar a significância das relações entre os atributos funcionais dos insetos e das diatomáceas consumidas observadas na RLQ. Por fim, calculamos um índice de eletividade, para determinar se houve alimentação seletiva pelos insetos em função da posição das diatomáceas no biofilme perifítico. Nós observamos que há diferenças no consumo de diatomáceas entre táxons de insetos que se alimentam do biofilme perifítico e, mais importante, que há seleção e evitação de distintos grupos de diatomáceas por táxons pertencentes a um mesmo grupo funcional alimentar. Isso indica que, mesmo na fina camada de biofilme perifítico pode ocorrer competição por recursos e, conseqüentemente, a partição destes recursos.

Palavras-chave: algas perifíticas, conteúdo estomacal, grupos funcionais, insetos aquáticos, partição de recursos

ABSTRACT

Resource partitioning among coexisting species has a great influence on community structure, but this issue is still poorly-studied in benthic organisms within aquatic environments. Among the benthic organisms of streams, insects are important consumers of the periphytic community, mainly diatoms. The aim of this dissertation was to quantify resource partitioning among insects that feed on the periphytic biofilm, evaluating whether the taxa differ in terms of their diet (i.e. species composition of diatoms) and whether they select resources according to the diatom's functional traits (layer occupied within the biofilm, adherence form, and size). Gut contents of 88 insect individuals belonging to eight taxa were analyzed to identify consumed diatoms. Insects were classified into functional feeding groups. Furthermore, samples of the stream periphytic community were also collected. Principal Coordinates Analyses were performed for both presence-absence and abundance data to analyze whether the composition of the diet of insects differed among taxa. A RLQ multivariate analysis was used to identify insects' dietary patterns and a *fourth-corner* analysis to evaluate the significance of the associations between the insects' and diatoms' functional traits, observed in the RLQ. Finally, we calculated an electivity index to determine whether there was a selective feeding by insects as a function of the diatoms position in the periphytic biofilm. Results showed that there are differences in diatom consumption between insect taxa that feed on the periphytic biofilm and, more importantly, that there is selection and avoidance of different groups of diatoms by taxa belonging to the same functional feeding group. This indicates that even in the fine periphytic biofilm layer, competition for resources can occur and, consequently, resource partitioning.

Keywords: aquatic insects, functional groups, gut content, periphytic algae, resource partitioning



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



Variação espacial do bacterioplâncton e fitoplâncton na Lagoa Mirim - RS

Andréa Luiza de Mattos de Moraes

Orientadora: Edélti Faria Albertoni
Coorientador: Ng Haig They
Colaboração: Pablo Santos Guimarães
Rio Grande
2022



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



Variação espacial do bacterioplâncton e fitoplâncton na Lagoa Mirim - RS

Aluna: Andréa Luiza de Mattos de Moraes

Orientadora: Edélti Faria Albertoni

Coorientador: Ng Haig They

Colaboração: Pablo Santos Guimarães

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

M828v Moraes, Andréa Luiza de Mattos de.

Variação espacial do bacterioplâncton e fitoplâncton na Lagoa Mirim - RS / Andréa Luiza de Mattos de Moraes. – 2022.
74 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.



Coorientador: Dr. Ng Haig They.

Colaborador: Pablo Santos Guimarães.

1. Classificação Funcional 2. Heterogeneidade 3. Lagoa Costeira
4. Morfotipos 5. Plâncton I. Albertoni, Edélti Faria II. They, Ng Haig
III. Guimarães, Pablo Santos IV. Título.

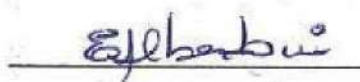
CDU 551.468.3(816.5)

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

	<p style="text-align: center;"> MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS </p>	
---	--	---

ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 005/2022


Às 08h30 (oito horas e trinta minutos) do dia 21 (vinte e um) do mês de julho de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa-de-dissertacao-andrea-moraes>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado da acadêmica **Andréa Luiza de Mattos de Moraes**. A Dissertação intitulada “**Variação espacial do bacterioplâncton e fitoplâncton na Lagoa Mirim - RS**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela **Orientadora**: Prof^ª. Dra. Edélti Faria Albertoni (Presidente da Banca examinadora); Prof^º Dr. Ng Haig They (Co- orientador); Prof^º Dr. Danilo Girollo e Prof^ª Dra. Marla Sonaira Lima (UFRGS). 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 10h50h (dez horas e cinquenta minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.



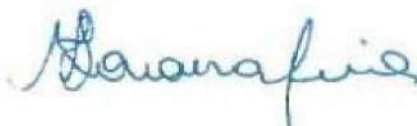
Prof^ª. Dra. Edélti Faria Albertoni



Prof^º Dr. Ng Haig They



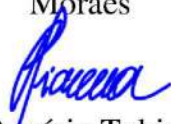
Prof^º Dr. Danilo Girollo



Prof^ª Dra. Marla Sonaira Lima

Andréa L. de Mattos de Moraes

Andréa Luiza de Mattos de
Moraes



Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Epígrafe

LAGOA

Eu não vi o mar.
Não sei se o mar é bonito,
não sei se ele é bravo.
O mar não me importa.

Eu vi a lagoa.
A lagoa, sim.
A lagoa é grande
E calma também.

Na chuva de cores
da tarde que explode
a lagoa brilha
a lagoa se pinta
de todas as cores.
Eu não vi o mar.
Eu vi a lagoa...

Carlos Drummond de Andrade

Ao infinito e belo mundo dos microrganismos.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as mulheres que vieram antes de mim, a todas as mulheres que trilharam este caminho ao meu lado e a todas as mulheres que ainda virão. Aqui registro um sonho, fundado com a ajuda, incentivo e dedicação de muitas mãos. Agradeço os meus pais Rosângela e André, e dinda Déa, pela educação, coragem, rebeldia e afeto, por me ensinarem que não existem limites para realizar os sonhos.

Em especial a professora, mentora e inspiradora Edélti Faria Albertoni, uma mulher a frente de seu tempo que compartilhou seus conhecimentos de forma tão generosa e potente, que confiou e acreditou quando eu não pude e aqui está mais uma vez ao meu lado concretizando minhas vontades.

O professor, amigo, incentivador e incansável Pablo Santos Guimarães, por mover as barreiras físicas e imaginárias, por me mostrar com tanta paciência e cumplicidade o caminho (e caminhar ao meu lado), por me dar poder de escolha, tratamento de igual pra igual e por todos os preciosos “cinco minutinhos” que se estendiam por horas quando necessário.

O professor e parceiro Ng Haig They, por tornar a distância física quase imperceptível, a cada troca de e-mails a consolidação e impulsionamento para ir sempre além, por todas as trocas de palavras e ações afirmativas, pela disponibilidade constante e dedicação a mim com tanto afinho.

Pablo e Haig They, neste trabalho vocês colocaram em prática a equidade de gênero dentro da ciência, com debates, questionamentos, inquietações e principalmente uma parceria justa. Prezados oris, sem vocês este caminho não seria tão libertador e expansivo. Tenham a certeza que vocês foram a minha melhor escolha, experiência e resultado. Levarei um pouco de cada um no âmbito profissional e pessoal, com muito orgulho e afetividade.

Aos estimados professor Rogério Tubino Vianna, por ser um divisor de águas na minha formação, por me ensinar o verdadeiro valor das palavras professor e ética, e aos técnicos, Daiane Carrasco e Josencler, por sempre estarem disponíveis em contribuir para o avanço da dissertação.

As mulheres fortes que trilharam este caminho ao meu lado, incentivando, motivando, inspirando e compartilhando seus anseios e amores:

Fernanda Vieira, minha amiga, comadre e irmã, por todo o tempo, amor, afeto e potência, estamos juntas!

Monique Longaray, minha psicóloga, que me traz ao centro, me acolhe e equilibra.

Tainá Reis, minha amiga, que traz no humor o acolhimento e luz em meio ao caos.

Caroline Moraes, minha irmã, por não medir esforços para me ver feliz e para que esse trabalho fosse concluído.

Ao meu amado Gustavo Vieira, afilhado e o menino mais incrível do mundo.

As amigas e amigos: Manuela Tourinho, Ana Cecília Francio, Gabriela Chaves, Bruno Martins, Saulo Pino, Luiz Gustavo Lopes, Felipe Caseiro e Vinícius Mendes sem vocês eu não seria e juntos somos mais fortes.

Dedico e eternizo aqui, meu amor as minhas companheiras de quatro patas (Boris, Kiki, Preta e Lobinha) que não saíram do meu lado em nenhum momento.

Simbora que o tempo é rei

Vive agora não há depois

Tudo que nós tem é nós.

Com amor,
Andréa Luiza de Mattos de Moraes.

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos rasos apresentam em geral uma alta produtividade primária, ampla diversidade de habitats e importante papel ecológico para a manutenção de diversas formas de vida. A heterogeneidade ambiental é fundamental para a estrutura e dinâmica dos ecossistemas. O fitoplâncton e o bacterioplâncton são grupos de organismos chave no ciclo do carbono. Além do importante papel que desempenham nos processos biológicos, essas comunidades apresentam diferentes características, interações e associações dependendo das condições tróficas dos ambientes. Ambas as comunidades podem ser classificadas a partir de abordagens funcionais. A dissertação teve como objetivo (I) avaliar a heterogeneidade ambiental ao longo de um gradiente longitudinal em uma lagoa rasa subtropical e (II) analisar se a heterogeneidade ambiental tem efeito sobre a diversidade taxonômica e funcional do bacterioplâncton e fitoplâncton. Para testar os objetivos, foram amostradas três regiões ao longo do gradiente longitudinal na margem brasileira da lagoa Mirim: norte, centro e sul em 05/09/2019. Em cada região foram medidas *in situ* a temperatura, pH e condutividade. Foram coletadas amostras de água, para análises das variáveis ambientais (fósforo total, nitrogênio total, carbono orgânico dissolvido, turbidez, oxigênio dissolvido, clorofila a e carboidratos). Para o fitoplâncton foram realizadas análises quantitativas em câmara de sedimentação de *Utermhöl* e qualitativas, a partir da classificação taxonômica e funcional, estimando-se a densidade, biomassa e biovolume. Para o bacterioplâncton foram confeccionadas lâminas semipermanentes, classificação dos morfotipos, densidade, biomassa, biovolume, respiração bacteriana e perfil de oxidação de substratos orgânicos. A lagoa Mirim apresentou heterogeneidade de poucas variáveis ambientais no gradiente estudado, em virtude disso, o fitoplâncton e bacterioplâncton respondem de formas distintas às condições ambientais locais. Poucos estudos nesta linha de pesquisa vêm sendo realizados na região subtropical e a abordagem simultânea das comunidades também são escassos. Desta forma, o presente estudo contribui para preencher essa lacuna. O trabalho desenvolvido deixa uma série de perguntas a serem respondidas em futuras pesquisas, como investigações da taxonomia e dos grupos funcionais em escalas temporais diferenciadas, avaliando o papel das diferentes variáveis ambientais na estrutura e função das comunidades planctônicas avaliadas.

Palavras-chave: Classificação funcional, heterogeneidade, lagoa costeira, morfotipos, plâncton

ABSTRACT

Aquatic ecosystems often present high primary productivity, a wide diversity of habitats and an important ecological role in the maintenance of different life forms. Environmental heterogeneity is fundamental to the structure and dynamics of ecosystems. Phytoplankton and bacterioplankton are key organisms in the carbon cycle. In addition to the important role they play in biological processes, these communities have different characteristics, interactions and associations depending on the trophic conditions of the environments. Both communities can be classified based on functional approaches. The dissertation aimed to (I) evaluate the environmental heterogeneity along the longitudinal gradient in a subtropical shallow lagoon and (II) analyze whether the environmental heterogeneity effects the taxonomic and functional diversity of bacterioplankton and phytoplankton. To test the objectives, 3 regions were sampled along the longitudinal gradient on the Brazilian margin of the Mirim lagoon: north, center and south on May 9th 2019. In each region, temperature, pH and conductivity were measured *in situ*. Water samples were collected for analysis of environmental variables (total phosphorus, total nitrogen, dissolved organic carbon, turbidity, dissolved oxygen, chlorophyll and carbohydrates). For phytoplankton, quantitative analyses were performed in a Utermhöl sedimentation chamber and qualitative analyses were performed using taxonomic and functional classification of the groups (RFG'S and MBFG'S) and by estimating cell density, biomass and biovolume. For bacterioplankton, semi-permanent slides were made, and morphotype classification, density, biomass, biovolume, bacterial respiration and organic substrates oxidation profiles were made. The Mirim lagoon showed heterogeneity of few environmental variables in the studied gradient, and phytoplankton and bacterioplankton respond differently to local environmental conditions. The work developed leaves a series of questions to be answered in future research, such as investigations into metrics and functional groups at different time scales, evaluating the role of different environmental variables in the structure and function of the evaluated planktonic communities.

Key-words: Functional classification, coastal lagoon, heterogeneity, morphotypes, plankton



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: Edélty 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



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



Aspectos reprodutivos do camarão-rosa *Penaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae) no sudeste do Brasil

Caroline Vettorazzi Bernabé

Orientador: Prof. Dr. Antonio Sergio Varela Junior
Coorientador: Prof. Dr. Henrique David Lavander

Rio Grande
2022



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



**Aspectos reprodutivos do camarão-rosa *Penaeus brasiliensis*
(Decapoda: Penaeidae) no sudeste do Brasil**

Aluna: Caroline Vettorazzi Bernabé

Orientador: Prof. Dr. Antonio Sergio Varela Junior

Coorientador: Prof. Dr. Henrique David Lavander

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

B518a Bernabé, Caroline Vettorazzi.
Aspectos reprodutivos do camarão-rosa *Penaeus brasiliensis*
(Decapoda: Penaeidae) no sudeste do Brasil / Caroline Vettorazzi
Bernabé. – 2022.
82 f.

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

Orientador: Dr. Antonio Sergio Varela Junior.

Coorientador: Dr. Henrique David Lavander.

1. Conservação 2. Estágios maturacionais 3. Período reprodutivo
4. Reprodução 5. Tamanho de primeira maturação I. Varela Junior,
Antonio Sergio II. Lavander, Henrique David III. Título.

CDU 639.512

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 007/2022**

Às 08h30 (oito horas e trinta minutos) do dia 12 (doze) do mês de dezembro de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://meet.google.com/nhq-vpmz-ctg>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado da acadêmica Caroline Vettorazzi Bernabé. A Dissertação intitulada “**Aspectos reprodutivos do camarão-rosa *Penaeus brasiliensis* (Decapoda: Penaeidae) no sudeste do Brasil**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Profº Dr. Antonio Sergio Varela Junior (Orientador); Profº Dr. Rogério Tubino Vianna (FURG) e Profº Dr. Carlos Antonio Beserra da Silva Júnior (IFES). 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.

Profº Dr. Antonio Sergio Varela Junior

Profº Dr. Rogério Tubino Vianna



Documento assinado digitalmente
CARLOS ANTONIO BESERRA DA SILVA JUNI
Data: 21/12/2022 11:51:27-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profº Dr. Carlos Antonio Beserra da Silva Júnior



Documento assinado digitalmente
CAROLINE VETTORAZZI BERNABE
Data: 20/12/2022 14:53:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Caroline Vettorazzi Bernabé

Profº Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

“Dedico esta dissertação a minha família, em especial aos meus queridos pais (Bernadete e José Augusto) e irmão (Maicon), que me apoiaram incondicionalmente em todas minhas decisões e não mediram esforços para realização dos meus sonhos. Sem vocês a realização deste sonho não seria possível”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao Programa de Pós-graduação em Ambientes Aquáticos Continentais (PPGBAC-FURG), em nome do meu orientador Antonio Sergio Varela Junior, pela oportunidade concedida e confiança depositada na elaboração deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela bolsa de estudo e recursos concedidos para a realização desta pesquisa.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) por conceder as licenças necessárias para coleta de material na área de estudo.

À banca examinadora pelas críticas e sugestões que só vieram a enriquecer este trabalho.

Aos Laboratórios Dinâmica de Populações Marinhas do IFES, Anatomia Animal da UFES e Histologia Animal da FURG, por todo suporte técnico e apoio recebido durante as análises histológicas.

A todos os professores/pesquisadores que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram com minha formação acadêmica, muito obrigada.

Em especial, aos meus coorientadores Prof. Dr. Henrique Lavander e Dra. Cecília Craveiro, pela oportunidade em trabalharmos juntos novamente e desenvolvermos esta pesquisa. Agradeço a amizade, conselhos e dedicação compartilhada durante toda minha formação acadêmica e pessoal, meu sincero respeito, carinho e admiração a vocês.

Aos meus queridos amigos do Grupo de Pesquisa - Maricultura e Recursos Pesqueiros, LANPOA e MALACOLAB, pela parceria e confiança no desenvolvimento desse trabalho. Agradeço por me ajudarem nos embarques, arrastos, coleta e análises das amostras. Sem vocês seria impossível a realização deste trabalho.

À minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me dando forças para continuar lutando pelos meus sonhos. Amo muito vocês e muito obrigada!

E por fim, mas não menos importante, à Deus, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

RESUMO

Os camarões-rosa *Penaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) e *Penaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) são intensamente pescados na região sudeste do Brasil. A exploração sustentável desse recurso ainda é um grande desafio para os gestores, devido à escassez de dados disponíveis e da incerteza da efetividade da atual legislação. O presente estudo buscou avaliar durante 12 meses (abril/2019 a fevereiro/2020 e março/2021) a dinâmica reprodutiva do camarão-rosa *P. brasiliensis* capturado no sul do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. Os espécimes foram capturados através da pesca artesanal com redes de arrasto realizadas nas zonas costeira e estuarina nos municípios de Anchieta, Piúma e Itapemirim. Foram amostrados 304 espécimes, destes 158 eram machos (51,97%) e 146 eram fêmeas (48,03%), o que representa uma proporção sexual de 1,1:1 (macho: fêmea) do total amostrado. Em relação aos comprimentos total (CT) e do cefalotórax (CC) e peso total (PT), as fêmeas foram significativamente maiores do que os machos em relação a todas as variáveis analisadas ($P < 0,05$). As análises macroscópica e microscópica dos ovários permitiram identificar cinco diferentes estágios de desenvolvimento ovariano: imaturo (I), maturação inicial (II), maturação avançada (III), maturo (IV) e desovado (V). O índice gonadossomático (IGS) juntamente com a distribuição dos estágios maturacionais, sugerem que o período reprodutivo do camarão-rosa se estende de fevereiro até maio, não ocorrendo atividade reprodutiva nos meses de dezembro e janeiro. A maior frequência de fêmeas maduras foram observadas nos meses de março e abril. O comprimento de primeira maturação sexual das fêmeas (L_{50}) foi estimado em 132,0 mm de CT e 29,5 mm de CC. A temperatura da água variou de 21,9 a 25,8 °C ao longo do período amostral, sendo que as temperaturas mais elevadas coincidem com pico reprodutivo da espécie. Já a pluviosidade ocorreu com maior intensidade nos meses de novembro a janeiro, período relacionado ao recrutamento sexual da espécie, sendo que nos meses subsequentes, março e abril, irão se reproduzir. Estes resultados ajudam a esclarecer e compreender melhor os aspectos reprodutivos e populacionais do camarão-rosa *P. brasiliensis*, que são fundamentais para o estabelecimento de medidas de gestão e conservação deste recurso.

Palavras-chave: conservação, estágios maturacionais, período reprodutivo, reprodução, tamanho de primeira maturação.

ABSTRACT

The pink shrimp *Penaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) and *Penaeus paulensis* (Pérez-Farfante, 1967) are heavily fished in southeastern Brazil. The sustainable exploitation of this resource is still a major challenge for managers, due to the scarcity of available data and the uncertainty of current legislation. The present study aimed to evaluate during 12 months (April/2019 to February/2020 and March/2021) the reproductive dynamics of the pink shrimp *P. brasiliensis* captured in the south of Espírito Santo, southeastern region of Brazil. The species was captured through artisanal fishing with trawls carried out in coastal and estuarine areas in the municipalities of Anchieta, Piúma and Itapemirim. A total of 304 specimens were captured, of these 158 males (51.97%) and 146 females (48.03%), which represents a sex ratio of 1.1:1 (male: female) of the total sampled. Regarding total length (TL) and cephalothorax (CL) and total weight (TW), females were significantly larger than males in relation to all variables analyzed ($P < 0.05$). Macroscopic and microscopic analysis of the ovaries allowed the identification of five different stages of ovarian development: immature (I), early maturation (II), advanced maturation (III), mature (IV) and spawned (V). The gonadosomatic index (GSI) together with the distribution of maturation stages suggest that the reproductive period of pink shrimp extends from February to May, with no reproductive activity occurring in the months of December and January. The highest frequency of mature females was observed in March and April. The length of first sexual maturation of females (L_{50}) was estimated at 132.0 mm of TL and 29.5 mm of CL. The water temperature ranged from 21.9 to 25.8 °C throughout the sampling period, with the highest temperatures coinciding with the species' reproductive peak. The rains occurred with greater intensity in the months from November to January, period related to sexual recruitment, and in the subsequent months, March and April, they will reproduce. These results help to clarify and better understand the reproductive and population aspects of the pink shrimp *P. brasiliensis*, which are essential for the establishment of management and conservation measures for this resource.

Keywords: conservation, maturation stages, reproductive period, reproduction, size at first maturation.



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



Distribuição potencial de espécies de Podostemaceae frente às mudanças climáticas

Celomar Severo de Sena

Orientadora: Fabiana Schneck
Coorientadora: Fabiana Gonçalves Barbosa

Rio Grande
2022



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



Distribuição potencial de espécies de Podostemaceae frente às mudanças climáticas

Aluno: Celomar Severo de Sena

Orientadora: Fabiana Schneck

Coorientadora: Fabiana Gonçalves Barbosa

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

S474d Sena, Celomar Severo de.

Distribuição potencial de espécies de *Podostemaceae* frente às mudanças climáticas / Celomar Severo de Sena. – 2022.
63 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. Fabiana Schneck.

Coorientadora: Dra. Fabiana Gonçalves Barbosa.

1. Ambientes Lóticos 2. Bacias Hidrográficas 3. Modelagem de Nicho Ecológico 4. *Podostemum* I. Schneck, Fabiana II. Barbosa, Fabiana Gonçalves III. Título.

CDU 551.58

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 TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 002/2022**

Às 09h00 (nove horas) do dia 23 (vinte e três) do mês de fevereiro de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa_mestrado_celomarsena) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico Celomar Severo de Sena. A Dissertação intitulada “**Distribuição potencial de espécies de Podostemaceae frente às mudanças climáticas**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Orientadora: Prof^o Dra Fabiana Schneck (Presidente da Banca); Prof^a Dra Fabiana Gonçalves Barbosa (Co-orientadora); Prof^a Dra. Sônia Marisa Hefler (FURG) e Prof^o Dr. Priscila Lemes de Azevedo Silva (UFMT). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico 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 11h45 (onze horas e quarenta e cinco minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.

Prof^o Dra Fabiana Schneck

Prof^a Dra. Sônia Marisa Hefler

Prof^o Dr. Priscila Lemes de Azevedo Silva

Celomar Severo da Sena

Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico esta dissertação à Vó Érica (*In Memoriam*), que sempre me incentivou a continuar estudando.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Gislaine e Cleomar, meu irmão Rafa, meus tios Daniel, Marciano, Nice, Rosa e minha madrinha Gisele. Também aos meus avós Antônio, Idelmira e Santos. Minhas origens.

À minha orientadora Fabiana Schneck e à minha coorientadora Fabiana Barbosa, pelo excelente trabalho de orientação que tiveram comigo, pela paciência e pelos ensinamentos, sempre me auxiliando diante das dificuldades durante todo este processo de mestrado. Também pelos momentos descontraídos pré-pandemia.

Aos colegas da turma de mestrado, pela união, apoio e pelos momentos inesquecíveis durante o período que podemos conviver lá no BAC.

Agradeço especialmente à minha amiga e colega Tamires Pintado, que sempre me ajudou e esteve me apoiando nos momentos difíceis, além da companhia diária e dos almoços partilhados na rotina pré-pandemia.

À Capes, pela concessão da bolsa.

Aos professores das disciplinas, pelos conhecimentos partilhados e pelas conversas descontraídas nas pausas para o cafezinho.

Aos colegas do lab de limnologia e do Stream Team.

À Cássia Silva, pelos diversos conhecimentos compartilhados.

A todos que de alguma forma me apoiaram, meu muito obrigado.

Por fim agradeço aos vários momentos bons que vivenciei com colegas e amigos em meio à rotina diária de estudos no primeiro ano de mestrado. Muita saudade do prédio, da salinha do BAC, do café, das conversas, da convivência. Vai ficar na memória.

RESUMO

Mudanças climáticas representam uma importante ameaça para ecossistemas aquáticos, podendo levar à contração da distribuição geográfica das espécies e à perda da biodiversidade. A Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) é uma importante ferramenta para antever os impactos das mudanças climáticas sobre as espécies, possibilitando também a adoção de estratégias de conservação. Macrófitas aquáticas exercem papéis ecológicos importantes em ambientes aquáticos; no entanto, tem sido pouco explorado os possíveis efeitos das mudanças climáticas na distribuição das espécies. Podostemaceae é uma família botânica estritamente aquática, restrita a ambientes lóticos, cujo ciclo de vida é diretamente relacionado ao ciclo hidrológico. O objetivo desta dissertação foi avaliar como diferentes cenários futuros de mudanças climáticas afetarão a distribuição potencial de cinco espécies de Podostemaceae pertencentes ao gênero *Podostemum* ocorrentes nas bacias sul-americanas do rio da Prata, Atlântico Sul e Atlântico Sudeste, sendo elas *Podostemum comatum*, *P. distichum*, *P. irgangii*, *P. muelleri* e *P. rutifolium* subsp. *rutifolium*. Elaboramos modelos para o presente e para dois períodos futuros, 2041-2060 (meio do século) e 2081-2100 (final do século) para cada espécie, com base em dois cenários socioeconômicos (SSP245 e SSP585) e em três modelos de circulação global (Canesm5, CNRM-M6-1 e miroc6), utilizando quatro técnicas de modelagem (Bioclim, Domain, Support Vector Machine e Random Forest) e biovariáveis climáticas, sendo os modelos posteriormente combinados. Os modelos consenso indicaram grande redução da distribuição potencial futura das espécies de *Podostemum*, principalmente no cenário SSP585 ao final do século. *Podostemum irgangii* apresentou a distribuição mais restrita no presente e a maior redução de distribuição potencial no futuro, com a perda, ao final do século, de 64% (SSP245) ou 94,5% (SSP585) da área climaticamente adequada para sua ocorrência. Apesar das reduções, uma área de planalto situada no estado de Santa Catarina mostrou-se adequada para todas as espécies, possuindo potencial como refúgio climático no futuro. A proteção desta área, juntamente com outras medidas de manutenção de ambientes lóticos é necessária para a permanência de espécies de *Podostemum*.

Palavras-chave: ambientes lóticos; bacias hidrográficas; modelagem de nicho ecológico; *Podostemum*.

ABSTRACT

Climate change represents an important threat to aquatic ecosystems, since it can lead to the contraction of the geographic distribution of species and to biodiversity loss. Ecological Niche Modeling (ENM) is an important tool to predict the impacts of climate change on species, also enabling the adoption of conservation strategies. Aquatic macrophytes play key ecological roles in aquatic environments. However, the possible effects of climate change on their distribution have been poorly explored. Podostemaceae is a strictly aquatic botanical family, restricted to lotic environments, whose life cycle is directly related to the hydrological cycle. The objective of this dissertation was to evaluate how different future climate change scenarios will affect the potential distribution of five Podostemaceae species belonging to the genus *Podostemum* occurring in the South American La Plata river, South Atlantic and Southeast Atlantic basins, namely *Podostemum comatum*, *P. distichum*, *P. irgangii*, *P. muelleri* and *P. rutifolium* subsp. *rutifolium*. We developed models for the present and for two future periods, 2041-2060 (mid-century) and 2081-2100 (end of century) for each species, based on two socioeconomic scenarios (SSP245 and SSP585) and three global circulation models (Canesm5, CNRM-M6-1 and miroc6), using four modeling techniques (Bioclim, Domain, Support Vector Machine and Random Forest) and climate bio-variables, and the models were subsequently combined. The consensus models indicated a large reduction in the potential future distribution of *Podostemum* species, especially in the SSP585 scenario at the end of the century. *Podostemum irgangii* showed the most restricted distribution in the present and the greatest reduction of potential distribution in the future, with the loss, at the end of the century, of 64% (SSP245) or 94.5% (SSP585) of the climatically suitable area for its occurrence. Despite this, a plateau area located in the state of Santa Catarina proved to be suitable for all species, being a potential climatic refuge in the future. The protection of this area, along with other measures to maintain lotic environments, is necessary for the permanence of *Podostemum* species.

Key-words: ecological niche modeling; lotic environments; *Podostemum*; river basins.



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



**EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO POR
MICROPLÁSTICOS NA
BIOMINERALIZAÇÃO DO GASTRÓPODE**
Pomacea canaliculata

Luiz Gustavo Alves Lopes

Orientadora: Marta Marques Souza
Coorientadora: Camila de Martinez Gaspar Martins

Rio Grande
2022



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



EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NA BIOMINERALIZAÇÃO DO GASTRÓPODE *Pomacea canaliculata*

Aluno: Luiz Gustavo Alves Lopes

Orientadora: Marta Marques Souza

Coorientadora: Camila de Martinez Gaspar Martins

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

L864e Lopes, Luiz Gustavo Alves.
 Efeitos da contaminação por microplásticos na biomineralização
 do Gastrópode *Pomacea canaliculata* / Luiz Gustavo Alves Lopes. –
 2022.
 86 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. Marta Marques Souza.
 Coorientadora: Dra. Camila de Martinez Gaspar Martins.

 1. Calcificação 2. Cálcio 3. Ca²⁺+ATPase 4. Concha 5. Moluscos
 6. Polietileno I. Souza, Marta Marques II. Martins, Camila de Martinez
 Gaspar III. Título.

CDU 616-003.84

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 004/2022**

Às 14h00 (quatorze horas) do dia 30 (trinta) do mês de maio de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa-mestrado-luiz-gustavo>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico Luiz Gustavo Alves Lopes. A Dissertação intitulada **“EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO POR MICROPLÁSTICOS NA BIOMINERALIZAÇÃO DO GASTRÓPODE *Pomacea canaliculata*”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Orientadora: Prof^a. Dra. Marta Marques de Souza (Presidente da banca examinadora); Co-orientadora: Prof^a Dra. Camila De Martinez Gaspar Martins; Prof^a Dra Grasiela Lopes Leães Pinho (FURG) e Prof^a Dra Claudia Bueno dos Reis Martinez (UEL). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico 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 18h00h (dezoito horas) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.

Prof^a. Dra. Marta Marques de Souza

Profª Dra. Camila De Martinez Gaspar Martins

Profª Dra Grasiela Lopes Leães Pinho

Profª Dra Claudia Bueno dos Reis Martinez

Luiz Gustavo Alves Lopes

Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho à memória de minha avó
Deolinda Aparecida Pereira Alves
(♥28/02/1940♦ - ♣06/12/2019♠) e a todos os
caramujos da espécie *Pomacea canaliculata*
que foram necessários para o surgimento
desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

De acordo com a etimologia, a palavra agradecer contém a raiz *gratus*, que em latim significa ser acolhido ou acolher com favor + a terminação verbal *essere* que concede ação a palavra. Nesse sentido, me parece mais do que justo reconhecer com este agrado todo o acolhimento que recebi nesses anos de pós-graduação.

Em primeiro lugar agradeço à Deus, que me deu força, coragem e discernimento para terminar o curso, e que também não permitiu que a minha fé se abalasse, ainda que no contexto terrível da pandemia. Segundo, agradeço aos meus pais Paulo e Eneida Celestino, pelo apoio emocional e financeiro, por permitir esse aperfeiçoamento na minha formação, por todo amor e presença nos meus dias, mas acima de tudo agradeço pela confiança que vocês depositaram em mim e no meu propósito. Muito obrigado; eu amo muito vocês. Agradeço as minhas tias (em ordem alfabética) Ana Lucia, Anelisa e Rita, por acreditarem sempre em mim, por me mostrar em que tudo tem um momento certo de acontecer, e que independentemente de serem bons ou ruins eles passam, mas que ficam sempre lembranças no coração. Vocês são firmeza! Agradeço também as minhas tias Clara e Anna Thereza por terem me ligado periodicamente nas noites da pandemia; vocês me alegram! Agradeço aos meus irmãos Paulo Manoel, Leonardo, Giovanna, Pedro Henrique e Bruno; em vocês está a minha segurança de não estar só, obrigado pela presença nos meus dias durante este curso. É necessário agradecer aos meus primos José Cândido, José Guilherme, Anelisa, João Manoel, João Henrique, Ana Luísa e Pedro Henrique, pois também me apoiaram em momentos de angústia e solidão durante o curso. Amo vocês! A minha irmãzinha do coração, Priscilla Lopes, que sempre esteve presente me incentivando para que eu terminasse logo essa fase. Muito obrigado!

Agora, preciso agradecer aos meus amigos Tamires Pintado e Celomar Sena pelo nosso grupo de estudos, na preparação para o processo seletivo do PPGBAC; sem dúvidas, se não fosse por vocês eu não estaria aqui. Muito obrigado! Agradeço a todos os amigos da turma; gosto da ideia de que nossa turma foi a mais unida em anos de PPG, vocês são maravilhosos, e é muito satisfatório conhecer vocês, em especial a Gabriela Cossio, Raissa Praia, Amanda Travessas, Vinicius Mendes e Tauana Mores.

Agradeço também à família de coração que a FURG me deu, aos meus irmãos Bruno Henrique da Silva, Caroline Rezende, Carolina Machado e Maurício Lopes; a minha irmã Tainá Reis, e as minhas dindas Andrea Moraes, Sabrina Maya e Patrícia Buratto. Sem dúvidas, o amor de/por vocês foi fundamental pra mim chegar até aqui. Muito obrigado por tudo. Estendo também para algumas mães: Rosangela Mattos, Luciane Rezende, Liziane Reis, e Rosangela Moraes, o carinho e algumas comidinhas preparadas por vocês me nutriram até aqui! Agradeço também a

presença das minhas vizinhas nesse período tão difícil (especialmente pandêmico), Aline Bueno, Patrícia Zambelli e Laura Bastos. Compartilhar momentos com vocês preservou a minha saúde, a minha alegria e a minha esperança por dias melhores. Muito obrigado!

Preciso agradecer também às minhas amigas Andressa Suanes, Andressa Bonilha e Debora Chrisostomo, que em diferentes momentos e de diferentes maneiras, contribuíram para que eu conseguisse finalizar este trabalho. Muito obrigado minhas amigas! Agradeço, ainda as amigas Ana Rosa Melo, Talliandre Matos, Nicolli Gautério e Carinne Fortes, vocês foram verdadeiras fortalezas de refúgio para mim, agradeço por toda troca, reflexões e carinho, e também por sempre me inspirarem. Agradeço ao trio especial que me resgatou virtualmente em vários momentos de dificuldades: Junior Corrêa, Henrique Beneri e Leticia Pinheiro. Muito obrigado amores. Agradeço às amigas de sempre, Bianca Bimbato, Gabrielle Rahd e Isadora Fukassawa por acreditar na minha formação e profissão! Vocês são maravilhosas comigo! Por fim, ao amigo Ali El Assal, e as amigas da pauliceia Camila Makiyama e Kajila Finori por me mostrarem que a distância é apenas um número; também amo vocês!

“Profissionalmente” eu agradeço as professoras Sonia Hefler e Jaqueline Ritter por terem me iniciado na pesquisa científica, por me mostrarem anos a fio o quão satisfatório é descobrir e construir novos saberes! Muito obrigado minhas queridas, amo vocês! Agradeço carinhosamente aos técnicos Pablo Guimarães e Daiane Carrasco, que foram meus professores na graduação e que desde então, em nenhum momento, duvidaram da minha capacidade. Muito obrigado! Agradeço a professora Edelti Albertoni pela disponibilidade em me atender sempre que necessário; pela troca de figurinhas sobre pomaceas e pelas contribuições na minha formação. Muito obrigado! Agradeço a professora Fabiana Schneck pelo trabalho, dedicação e disponibilidade como coordenadora do curso, e também ao professor Rogério que atualmente exerce tal função. Muito obrigado! Agradeço também ao professor Luiz Hepp, pela disciplina de delineamento amostral e análise de dados que me “abriu os olhos” para a realização desta pesquisa. Excelente! Agradeço às integrantes do grupo da Profa. Marta, por me ouvirem sempre nas reuniões e nas prévias de apresentação; e aos integrantes do grupo da Profa. Camila, em especial a amiga Fernanda Lopes. Fer, se não fosse por você eu não estaria aqui. Muito obrigado!

Por fim, e de longe menos importante, agradeço as minhas orientadoras. É quase indescritível a minha admiração por vocês. Marta, nossa história começou faz tempo, em meio a debates e embates nas aulas de biofísica, evoluiu pra uma monitoria e culminou nesta orientação. E eu não posso encontrar desfecho mais feliz que este. Agradeço todas as mensagens, e-mails, as orientações, os papos de signo, meditação, alimentação saudável, dicas de banhos de ervas e óleos essenciais, enfim; toda a tua disponibilidade como orientadora.... Camila, eu diria que você é um *must*! Agradeço pela oportunidade que você me deu para mostrar o meu trabalho, a minha

dedicação e responsabilidade, obrigado pelas tuas respostas rápidas, precisas e cheias de conteúdo, por estar sempre disponível, dentro da tua realidade, e também por ceder tuas aulas da toxicologia para o meu estágio docência. Enfim, vocês são a síntese do que almejo ser quando crescer!

Para encerrar, agradeço às professoras Claudia Bueno e Grasiela Pinho que aceitaram compor a banca examinadora desta dissertação.

Luiz Gustavo

CHUVA ÁCIDA

Criolo

“Peixes mutantes invadindo o congresso
Vomitando poluentes com o logotipo impresso
B e R, quem é do mangue não esquece
As vítimas perecem, as famílias enlouquecem
O caranguejo gigante decepando seus corpos
Aniquilar suas famílias, jogá-las aos corvos
Garças bizarras movidas a óleo, sem dó e sem dor
Bicando seus olhos, sobrevoando em campos
Uma seleção de mortos, pensamentos mórbidos (não)
Realidade, carne e ossos
[...]

A chuva espalhando, todos os males
Ai ai, uiui, ai como isso arde
É bateria de celular, césio, similares
A peste invisível maculando os ares
Mercúrio nos rios, diesel nos mares, o solo estéril, é já fizeram sua parte
Uuh, ó, e salvem o planeta, papelzinho de bala no chão tio é muita treta
O sádico monstro está à frente
Sai do círculo vicioso e recicla sua mente (vamo estuda pô!)
Minha rima é voraz, árdua e quente, o Criolo aqui é doido e os planos são dementes
E o futuro é num piscar de olhos, cê tá sabendo?
(Olha ali ó) fulano ali tá derretendo

Nem água pra beber a gente não tem
Como que nós vamos viver?

[...]
Crack é fichinha, estão destruindo o planeta
Em breve nascerão vacas sem tetas
Nos cafezais, milharais, a praga dominando a colheita
A água que é pouca sumirá totalmente
Suas sacolas de dinheiro não comprarão seu copo de aguardente
Porque destruíram a cana, que adoça os doces, que adoça o amargo da vida
Olhar em volta e ver tanta burrice reunida
Vamos parar com isso, aprender sobre a coleta seletiva de lixo
Arqueólogos, geólogos, antropólogos façam parte dos nossos
Respeito e instrução ao povo para dizerem sim eu posso, sim eu posso, sim eu posso
Senhores do orgulho, abutres comerão suas tripas do entulho
As nuvens vão se formando, as gotas deteriorando
São as pernas quentes da morte aos poucos, aos poucos, aos poucos nos carregando”

RESUMO

A problemática dos resíduos plásticos ganhou maior atenção nas últimas duas décadas devido à descoberta de diminutos fragmentos entre 1µm e 5mm, nomeados microplásticos (MPs), especialmente em ecossistemas aquáticos. A maior parte das investigações ainda ocorre nos ambientes aquáticos, com prevalência do ambiente marinho, embora pesquisas relacionadas a ecossistemas de água doce e terrestres estejam ganhando popularidade. Estudos com peixes e crustáceos sugerem desbalanço na homeostase iônica, causado por alterações na concentração e no transporte de íons após exposições a MPs, especialmente de cálcio. Para organismos calcificadores tal íon é essencial para o processo de biomineralização, que permite a fabricação de conchas e partes mineralizadas. Assim, o presente trabalho objetivou investigar os efeitos de MPs de polietileno (PE) em biomarcadores da biomineralização do gastrópode dulcícola *Pomacea canaliculata*, como atividades enzimáticas (Ca^{2+} ATPase e anidrase carbônica) e concentração de cálcio, nos tecidos da borda do manto e da glândula digestiva e hemolinfa. Para tanto os animais foram expostos a 20 µg/L (MP) e água desclorada (CTR) em dois *sets* experimentais: (1) animais em condição fisiológica, por 24 e 72 h e (2) animais em condição de regeneração, por 72 e 120 h. Os resultados, em ambas as condições, indicaram que os MPs promovem alterações na concentração de cálcio hemolinfático e na atividade das enzimas Ca^{2+} ATPase e anidrase carbônica, nos tecidos da borda do manto e da glândula digestiva. No primeiro *set*, não foram observados padrões nas respostas enzimáticas da glândula digestiva, enquanto a ativação das atividades enzimáticas na borda do manto sugerem a manutenção da calcificação. Para o segundo *set* as respostas sugerem captação de cálcio via alimentação, enquanto as reduções de atividades enzimáticas no manto sustentam a utilização de outra via para recuperar a área lesionada. Além disso, a presença de MPs aumentou a taxa de regeneração da concha de *P. canaliculata*, o que pode estar associado à tentativa de imobilização das partículas pela calcificação, embora o mecanismo permaneça incerto. Por fim, podemos afirmar que (20 µg/L) MPs de PE foram capazes de alterar a disponibilidade de cálcio da hemolinfa em ambos *set* experimentais, bem como aumentar as atividades enzimáticas envolvidas no processo de biomineralização, especialmente no manto dos animais sem lesão.

Palavras-chave: Calcificação, Cálcio, Ca^{2+} ATPase, Concha, Moluscos, Polietileno

ABSTRACT

The plastic waste issue has gained increased attention in the last two decades due to the discovery of tiny fragments between 1 µm and 5 mm, named microplastics (MPs), especially in aquatic ecosystems. Most research still takes place in aquatic environments, with a prevalence of the marine environment, although research related to freshwater and terrestrial ecosystems is gaining popularity. Studies with fish and crustaceans suggest imbalance in ion homeostasis, caused by changes in ion concentration and transport after exposures to MPs, especially calcium. For calcifying organisms, this ion is essential for the biomineralization process, which allows the manufacture of shells and mineralized parts. Thus, the present work aimed to investigate the effects of polyethylene (PE) MPs on biomineralization biomarkers in the freshwater gastropod *Pomacea canaliculata*, such as enzymatic activities (Ca²⁺ATPase and carbonic anhydrase) and calcium concentration, in mantle edge and digestive gland tissues and hemolymph, respectively. Animals were exposed to 20 µg/L (MP) and dechlorinated water (CTR) in two experimental sets: (1) animals in physiological condition for 24 and 72 h and (2) animals in regeneration condition for 72 and 120 h. The results, in both conditions, indicated that MPs promote changes in hemolymph calcium concentration and in the activity of the enzymes Ca²⁺ATPase and carbonic anhydrase, in both tissues. In the first set, the absence of a pattern in the enzymatic responses of the digestive gland suggests greater sensitivity of this epithelium to MPs, while the activation of the activities in the mantle edge indicate maintenance of calcification. For the second set, the responses suggest calcium uptake via feeding while the activities reductions in the mantle support the use of another route to recover the injured shell area. Furthermore, the presence of MPs increased the rate of *P. canaliculata* shell regeneration, which may be associated with particles immobilization attempt, by calcification, although the mechanism remains uncertain. Finally, we can state that (20 µg/L) PE MPs were able to alter the hemolymph calcium concentration, as well promote the enzymatic activity involved in the biomineralization process, specially in the mantle of non-excised gastropods.

Key-words: Calcification, Calcium, Ca²⁺ATPase, Mollusk, Polyethylene, Shell



Universidade Federal do Rio Grande -
FURG

Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



Análise Cientométrica da Fitorremediação de Ambientes de Água Doce Utilizando Macrófitas Aquáticas

Saimon Branco Bueno

Orientador: Prof. Dr. Juliano Zanette
Coorientadora: Profa. Dra. Fabiana Gonçalves Barbosa
Coorientadora: Profa. Dra. Sônia Marisa Hefler

Rio Grande
2022



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



Análise Cientométrica da Fitorremediação de Ambientes de Água Doce Utilizando de Macrófitas Aquáticas

Aluno: Saimon Branco Bueno

Orientador: Prof. Dr. Juliano Zanette

Coorientadora: Profa. Dra. Fabiana Gonçalves Barbosa

Coorientadora: Profa. Dra. Sônia Marisa Hefler

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



B928a Bueno, Saimon Branco.
Análise cientométrica da fitorremediação de ambientes de água doce utilizando de macrófitas aquáticas / Saimon Branco Bueno. – 2022.
81 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2022.
Orientador: Dr. Juliano Zanette.
Coorientadora: Dra. Fabiana Gonçalves Barbosa.
Coorientadora: Dra. Sônia Marisa Hefler.

1. Remediação 2. *Web of Science* 3. Plantas aquáticas
4. Ecossistemas aquáticos 5. Poluição I. Zanette, Juliano
II. Barbosa, Fabiana Gonçalves III. Hefler, Sônia Marisa IV. Título.

CDU 581.526.3

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

	<p style="text-align: center;"> MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - ICB PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS </p>	
---	---	---


ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 009/2022

Às 09h00 (nove horas) do dia 22 (vinte e dois) do mês de dezembro de 2022 (dois mil e vinte e dois), no Auditório do C3, Campus Carreiros da FURG, reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico Saimon Branco Bueno. A Dissertação intitulada “**Análise Cientométrica da Fitorremediação de Ambientes de Água Doce Através de Macrófitas Aquáticas**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Profº. Dr. Juliano Zanette (Orientador e Presidente da Banca); Profª Dra. Fabiana Schneck (FURG); Profº Dr. César Serra Bonifácio Costa (FURG) e Profº Dr. Igor Dias Medeiros (UNIFESP). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico 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, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.


Profº. Dr. Juliano Zanette



Profª Dra. Fabiana Schneck

Documento assinado digitalmente
 **FABIANA SCHNECK**
 Data: 28/12/2022 11:01:23-0300
 Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profº Dr. César Serra Bonifácio Costa

Documento assinado digitalmente
 **CESAR SERRA BONIFACIO COSTA**
 Data: 04/04/2023 21:18:31-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profº Dr. Igor Dias Medeiros



Saimon Branco Bueno

Saimon Bueno

Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Adriana de Almeida Branco e ao meu pai Carlos Roberto Correa Bueno por sempre me apoiarem e permitirem que eu seguisse no caminho dos estudos, me dando a oportunidade de seguir meus objetivos.

Ao meu orientador Juliano Zanette. Obrigado por me aceitar como orientado, agradeço por todos os ensinamentos durante essa fase de mestrado. Sou extremamente grato por todo o suporte e auxílio prestados ao longo desses anos.

Às minhas coorientadoras Fabiana Gonçalves Barbosa Sônia Marisa Hefler que me auxiliaram muito com a análise dos dados obtidos. Sem elas esse estudo não teria sido concretizado. Muito obrigado.

Aos meus amigos e colegas que fiz na graduação e seguem comigo, presentes de alguma forma no meu dia a dia, Yan Gowert, Felipe Caseiro e Diego Reinike. Obrigado pela amizade que temos, e vamos seguir tendo ao longo dos anos. Obrigado por me apoiarem e proporcionarem conversas descontraídas que me ajudaram muito ao longo desse período.

Aos meus colegas de PPGBAC Yan Gowert, Fernanda Freire, Danielle Tavares, Camila Reis, Ana Roschildt e Katiussia Bueno. Obrigado pela amizade que fizemos ao longo do programa, e pela troca de experiências e conhecimento compartilhado neste período.

Um agradecimento muito especial aos meus amigos do DECRETO FC e Noite de copa. Que sempre estiveram comigo e sempre me apoiaram. Obrigado por todas as conversas e momentos de confraternização que tivemos e continuamos a ter. Tamo junto sempre gurizada.

Ao programa de pós-graduação em biologia de ambientes aquáticos continentais e a Universidade Federal do Rio Grande por toda estrutura e permitirem que este trabalho saísse do papel.

RESUMO

A fitorremediação pode ser definida como o uso de plantas para a remoção de contaminantes do ambiente. Neste sentido, as macrófitas aquáticas são muito utilizadas. Estas plantas formam um grupo diversificado que apresenta grande variabilidade morfológica e está presentes em todos os habitats aquáticos. A cientometria é o estudo quantitativo da ciência, da comunicação na ciência e das políticas científicas preocupando-se principalmente com a dinâmica científica, analisando a produção, o consumo e a circulação da produção científica. A presente dissertação realizou um estudo cientométrico acerca da fitorremediação de ambientes de água doce através de macrófitas aquáticas, em um intervalo de tempo de 1990 até 2021, com o objetivo de responder as seguintes questões: i) O número de artigos acerca da fitorremediação de ambientes de água doce utilizando macrófitas aumentou ao longo do tempo? ii) Quais os países que mais publicaram acerca deste tema e quais características das colaborações entre eles? iii) Quais jornais que mais publicam sobre este tema? iv) Quais as tendências mais predominantes neste assunto? v) Quais são as macrófitas mais estudadas? vi) Quais os contaminantes mais testados? Utilizamos o *software R*, com o auxílio do pacote *bibliometrix* e o *software VOSviewer*. As análises mostraram um crescimento no número de publicações neste tema ao longo do tempo ($R = 0,88$). China, EUA, Índia e Brasil, foram os países que mais publicaram, onde a China, os EUA e a Índia foram os que mais realizaram colaborações internacionais. Brasil, Egito e Arábia Saudita apresentam um grande potencial emergente sobre este tema, uma vez que mais de 60%, 64% e 87% das suas publicações ocorreram nos últimos três anos. O periódico “*International Journal of Phytoremediation*” foi o que mais publicou artigos neste intervalo de tempo. Analisando os artigos mais citados percebe-se uma predominância no estudo de metais pesados. As palavras-chave dos autores com maior ocorrência, “*heavy metals*” e “*eichhornia crassipes*” (denominada atualmente *Pontederia crassipes*) indicam uma dominância de estudos envolvendo metais pesados e essa macrófita. A maioria das plantas utilizadas foram dos ecótipos flutuante e emergente. O aguapé *P. crassipes* foi a macrófita mais utilizada, seguida da alface d’água *Pistia stratiotes*, da lentilha d’água *Lemna minor*, “*common reed*” *Phragmites australis*, e “*common cattail*” *Typha latifolia*. Os contaminantes inorgânicos foram mais avaliados do que os orgânicos, sendo representados principalmente por metais (especialmente chumbo, cobre, cádmio e zinco), seguido de nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo). Dentre os orgânicos, os mais testados foram os persistentes (POPs), representados principalmente por pesticidas. Os resultados apresentados podem ajudar pesquisadores e agências de fomento a se integrarem rapidamente acerca deste assunto, orientando o desenvolvimento de novos projetos e políticas ambientais.

Palavras-chave: Remediação, *Web of Science*, plantas aquáticas, ecossistemas aquáticos, poluição.

ABSTRACT

Phytoremediation can be defined as the use of plants to remove contaminants from environment. In this regard, aquatic macrophytes are widely used. These plants form a diverse group that presents a great morphological variability and are presents in all aquatic habitats. Scientometrics is the quantitative study of science, communication in science and science policy, being manly concerned with the scientific dynamic, analyzing the production, consumption and circulation of the scientific production. The present dissertation carried out a scientometric study on the phytoremediation of freshwater environments using aquatic macrophytes, in a time interval from 1990 to 2021, aiming to answer the followings questions: i) Has the number of articles about the phytoremediation of freshwater environments using macrophytes increased over the years? ii) Which countries published more in this topic and what are the collaboration characteristics between them? iii) Which journals more published about this subject? iv) What are the predominant trends in this theme? v) What are the most studied macrophytes? vi) What are the most tested contaminants? We used the R software with the support of bibliometrix package, the VOSviewer software. The analysis shows a growth in the number of publications on this topic over the years ($R = 0.88$). China, EUA, India and Brazil were the countries that more published, where China, EUA and India were the most active international collaborators. Brazil, Egypt and Saudi Arabia present a great emergent potential on this topic, once more than 60%, 64% and 87% of their publications occurred in the last three years. The journal International Journal of Phytoremediation was the one that most published articles in this time period. Analyzing the most cited articles one can notice a predominance in the study of heavy metals. The author's keywords with the highest occurrence, "heavy metals" and "*eichhornia crassipes*" (currently called *Pontederia crassipes*) indicate a dominance of studies involving heavy metals and this macrophyte. Most of the plants used were the life form floating and emergent. Water hyacinth *P. crassipes* were the most used macrophyte, followed by the Water lettuce *Pistia stratiotes*, Duckweed *Lemna minor*, Common reed *Phragmites australis*, and Common cattail *Typha latifolia*. Inorganic contaminants were most tested than organic contaminants, being represented mainly by metals (especially lead, copper, cadmium and zinc), follow by nutrients (especially nitrogen and phosphorus). Among the organics, the most evaluated were the persistent organic pollutants (POPs), represented mainly by pesticides. The results presented can help researchers and funding agencies to quickly integrate on this subject, guiding the development of new projects and environmental policies.

Keywords: Remediation, Web of Science, aquatic plants, aquatic ecosystems, pollution.



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



**Diversidade, estrutura genética e variação morfológica
em *Cichlasoma portalegrense* (Cichliformes, Cichlidae)
da região da Costeira do Rio Grande do Sul**

Tamires Pereira Pintado

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana Gava

Rio Grande, RS
2022



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



Diversidade, estrutura genética e variação morfológica em *Cichlasoma portalegrense* (Cichliformes, Cichlidae) da região Costeira do Rio Grande do Sul

Aluno: Tamires Pereira Pintado

Orientadora: Adriana Gava

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, RS
2022

Ficha Catalográfica

P659d Pintado, Tamires Pereira.

Diversidade, estrutura genética e variação morfológica em *Cichlasoma portalegrense* (Cichliformes, Cichlidae) da região Costeira do Rio Grande do Sul / Tamires Pereira Pintado. – 2022.
96 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. Adriana Gava.

1. Evolução Molecular 2. Genética de Populações 3. Bacias Hidrográficas I. Gava, Adriana II. Título.

CDU 573(816.5)

Catologação 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

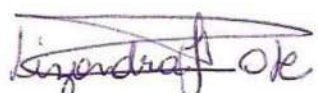


**ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 003/2022**

Às 09h00 (nove horas) do dia 08 (oito) do mês de abril de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/adriana-adriana-gava>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado da acadêmica Tamires Pereira Pintado. A Dissertação intitulada “**Diversidade, estrutura genética e variação morfológica em Cichlasoma portalegrense (Cichliformes, Cichlidae) da região da Costeira do Rio Grande do Sul**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Orientadora: Prof^a. Dra. Adriana Gava, Prof^o Dr. Rogério Tubino Vianna (FURG); Prof^a Dra Lizandra Jaqueline Robe (UFSM) e Dr. Fernando Marques Quintela (INPP-Emílio Goeldi). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou a acadêmica **APROVADA**. Desta forma, o acadêmico 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.



Prof^a. Dra. Adriana Gava


Prof^o Dr. Rogério Tubino Vianna


Prof^a Dra Lizandra Jaqueline Robe


Dr. Fernando Marques Quintela


Tamires Pereira Pintado


Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico aos meus avós, Miguel Pereira Pintado e Marieta dos Santos Pintado.
(*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ailton e Ana Maria, por todo apoio, amor, carinho, cuidado e paciência durante esse tempo.

Aos meus irmãos e irmãs, por tudo, principalmente por entender a minha ausência em momentos importantes da vida de vocês. Especialmente, gostaria de agradecer à minha irmã Elizangela e ao meu cunhado Ricardo por me motivarem a estudar e por me apoiarem por muito tempo, sou grata por tudo.

Ao meu marido, Shenon Sander, por me manter segura e saudável, cuidando da minha alimentação, saúde física e mental. Obrigada por tudo, por me apoiar, mimar, ser meu melhor amigo, estar comigo diariamente e por sempre aturar meus dramas. Amor, sua presença foi fundamental, e essa conquista é nossa.

Ao meu filho de quatro patas (Chico) que alegrou os meus dias mais difíceis e trouxe outro significado à minha vida.

À família do meu marido que sempre fizeram de tudo para me ajudar durante esses anos de mestrado.

À minha querida orientadora, Adriana Gava, por todo incentivo, por acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava, por ser paciente e por partilhar seu conhecimento. Também pelo excelente trabalho, por toda a amizade, carinho e respeito. Nossas saídas de campo, conversas em laboratório, as caronas até a FURG/casa e os conselhos, são momentos que guardarei para a vida toda, pois foram especiais e agregaram muito no meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos e amigas que de alguma forma me apoiaram e me incentivaram a seguir em frente.

Ao Jean, por toda a ajuda no QGIS, por me auxiliar sempre quando necessário e por todas as conversas descontraídas.

Aos amigos e amigas da turma, principalmente ao Celomar que durante esses anos me apoiou nas crises de ansiedade e me incentivou a continuar.

Ao Fernando Quintela, por colaborar com o trabalho e campo.

À Gabriela, por todo apoio laboratorial. Especialmente pela dedicação, cuidado e paciência ao me ensinar a fazer as análises de reação em cadeia da polimerase (PCR).

À Crislaine Barbosa, por reservar um tempo de sua vida corrida para me auxiliar nas análises filogenéticas e para a sanar minhas dúvidas. Tens minha eterna gratidão, tu és um ser iluminado, tais sempre tão entusiasmada e disposta a ajudar o próximo, sorte a minha em ter a oportunidade de trabalhar contigo.

À Erika, por se deslocar até a FURG (meio a pandemia) para me auxiliar com a sexagem dos espécimes e também por me ajudar, via Meet, com as análises no programa R.

Às técnicas de laboratório, Loraine Moraes e Daiane por todo o suporte necessário.

À FURG, ICB e ao PPGBAC.

Ao financiamento em parte pelo Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES)—Código Financeiro 001, FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) FAPERGS/CNPq-PRONEX N° 16/0485-4.

RESUMO

Pertencente à família Cichlidae, à subfamília Cichlinae e à tribo Cichlasomatini, a espécie *Cichlasoma portalegrense* está distribuída na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí e nas bacias associadas à Laguna dos Patos, localizadas no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Dentro dessas bacias a espécie é encontrada em corpos d'água lênticos e lóticos. O objetivo deste estudo foi usar marcadores mitocondriais e morfometria geométrica para investigar os níveis de diversidade, estrutura genética e diferenças de forma entre as populações de *C. portalegrense*. Para isso, amplificamos fragmentos dos marcadores Citocromo b (Cyt-b), Citocromo C oxidase subunidade I (COI) e D-Loop para 101, 101 e 100 espécimes respectivamente, amostrados em nove localidades. Após, os amplicons foram sequenciados e foram realizadas as análises filogenéticas para os marcadores individualmente e para os três marcadores concatenados. As variações de forma foram analisadas para 114 espécimes (74 fêmeas) e (40 machos) coletados em 12 localidades por meio dos métodos morfométricos geométricos. Nossos resultados indicaram que 1) a amostra exibiu altos valores relativos de diversidade haplotípica com baixa divergência de nucleotídeos entre os haplótipos; 2) o padrão espaço temporal de diversidade é do tipo estrelado, com haplótipos únicos na maioria das populações (Cyt-B e COI, principalmente); 3) as populações são geneticamente similares, resultando em uma politomia sem exibição de monofilia recíproca; 4) a despeito da similaridade genética, detectamos estruturação significativa, tanto entre populações como entre bacias hidrográficas, principalmente no marcador D-loop que exibiu diferenças fixadas entre as populações ao norte do estuário da Laguna dos Patos e a população ao sul (Hermenegildo); 5) indícios de diferenciação na forma, mas sem agrupamento claro das populações do norte e do sul, como encontrado no cenário para os marcadores neutros. Embora não seja possível indicar relação direta entre a geocronologia da gênese da planície costeira do Rio Grande do Sul com as diferenças genéticas das populações analisadas, as populações mais diferenciadas são aquelas do norte e sul que ocupam os terrenos mais recentes da barreira pleistocênica III e da barreira holocênica IV.

Palavras chaves: evolução molecular; genética de populações; bacias hidrográficas.

ABSTRACT

Belonging to the Cichlidae family, the Cichlinae subfamily and the Cichlasomatini tribe, the species *Cichlasoma portalegrense* is distributed in the hydrographic basin of the Tramandaí River and in the basins associated with the Patos Lagoon, located in the state of Rio Grande do Sul (RS). Within these basins the species is found in both lentic and lotic water bodies. The objective of this study was to use mitochondrial markers and geometric morphometry to investigate the levels of diversity, genetic structure and shape differences among populations of *C. portalegrense*. To do this, we amplified fragments of the markers Cytochrome b (Cyt-b), Cytochrome C oxidase subunit I (COI) and D-Loop for 101, 101 and 100 specimens respectively, sampled from nine localities. Afterwards, the amplicons were sequenced and phylogenetic analyses were performed for the markers individually and for the three concatenated markers. Shape variations were analyzed for 114 specimens (74 females) and (40 males) collected from 12 localities using geometric morphometric methods. Our results indicated that 1) the sample exhibited high relative haplotype diversity values with low nucleotide divergence among haplotypes; 2) the spatio-temporal pattern of diversity is star-like, with unique haplotypes in most populations (Cyt-B and COI, mainly); 3) the populations are genetically similar, resulting in a polytomy without exhibiting reciprocal monophyly; 4) in spite of the genetic similarity, we detected significant structuring, both between populations and between watersheds, especially for the marker D-loop that exhibited fixed differences between the populations north of the Laguna dos Patos estuary and the population to the south (Hermenegildo); 5) evidence of differentiation in form, but no clear grouping of northern and southern populations, as found in the scenario for the neutral markers. Although it is not possible to indicate a direct relation between the geochronology of the genesis of the coastal plain of Rio Grande do Sul with the genetic differences of the populations analyzed, the most differentiated populations are those from the north and south that occupy the most recent terrains of the Pleistocene III barrier and the Holocene IV barrier.

Key words: molecular evolution; population genetics; hydrographic basin.



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



Relação entre o uso antrópico do solo e a ocorrência de metais-traço em serpentes simpátricas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Vinícius Mendes

Orientador: Daniel Loebmann
Coorientador: Fernando Marques Quintela

Rio Grande
2022



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



Relação entre o uso antrópico do solo e a ocorrência de metais-traço em serpentes simpátricas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Aluno: Vinícius Mendes

Orientador: Daniel Loebmann

Coorientador: Fernando Marques Quintela

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

M538r Mendes, Vinícius.

Relação entre o uso antrópico do solo e a ocorrência de metais-traço em serpentes simpátricas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul / Vinícius Mendes. – 2022.

72 f.

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

Orientador: Dr. Daniel Loebmann.

Coorientador: Dr. Fernando Marques Quintela.

1. Ecotoxicologia 2. Répteis 3. Contaminação ambiental
4. Unidade de conservação I. Loebmann, Daniel II. Quintela, Fernando Marques III. Título.

CDU 574.64(816.5)

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 005/2022**

Às 14h00 (quatorze horas) do dia 27 (vinte e sete) do mês de junho de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/leonardo-emendoerfer-mello>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico **Vinícius Mendes Menezes**. A Dissertação intitulada **“Relação entre o uso antrópico do solo e a ocorrência de metais-traço em serpentes simpátricas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Orientador: Prof. Dr. Daniel Loebmann (Orientador e Presidente da Banca); Profº Dr. Fernando Marques Quintela (Co-orientador); Profº Dr. Leonardo Maltchik Garcia (FURG); Profª Dra Raquel Fernanda Salla Jacob (UFSCAR). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico 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 17h00 (dezessete horas) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.

Documento assinado digitalmente



DANIEL LOEBMANN
Data: 28/06/2022 15:52:19-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Daniel Loebmann

Profº Dr. Fernando Marques Quintela

Profº Dr. Leonardo Maltchik Garcia

Profª Dra Raquel Fernanda Salla Jacob

Vinícius Mendes Menezes

Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha mãe Rosane por ter me dado todo o apoio do mundo em cada uma das minhas escolhas (fossem pessoais ou profissionais). Tu é incrível, minha *véia*, te amo!

Ao restante da minha família (avós, tias, irmã) por também terem prestado muito apoio nos meus estudos e terem me incentivado a continuar sempre.

Agradeço demais a minha namorada por estar do meu lado inclusive quando eu precisei de ajuda a campo ou em laboratório, além de todo o apoio emocional que me prestou. Te amo!

A todos os amigos que fiz dentro da FURG, em especial Saulo, Felipe, Francisco, Andréa, Juliana, Patrícia, Omar e Raíssa. Sem estes e todos os momentos que passamos (entre cafés no lab, bolos de pote, lamentações na sala de permanência e conversas nos grupos de whatsapp) eu definitivamente não teria conseguido.

Aos meus amigos de Santa Maria, em especial Ytalo, Fernanda, Ricardo, Tailan e Dalvan por também prestarem um importante apoio emocional nessa caminhada.

Aos amigos feitos durante minha carreira como biólogo, em especial Caroline, Bruno e Guillermo, por todos os ensinamentos e auxílios prestados.

A minha psicóloga Daniela, por ter ajudado a vencer as pressões sentidas em uma pós-graduação realizada durante uma pandemia e sob um (des)governo anti-ciência.

Agradeço novamente a Saulo e Felipe pelas ajudas práticas, tanto a campo quanto em laboratório.

Ao prof. Adalto e à dra. Patrícia pelos auxílios referentes a todo o processo de determinação das concentrações de metais.

Por fim agradeço muito aos meus orientadores e amigos Daniel e Fernando. Além do aprendizado científico que tive, agradeço por todas as vezes que estiveram dispostos a auxiliar em tudo o que precisei.

RESUMO

As áreas úmidas são ecossistemas de suma importância biológica e econômica, tornando-as atrativas para as populações humanas. Entretanto estas áreas sofrem com pressões antrópicas, em especial a introdução de contaminantes. Elementos como os metais pesados e metaloides frequentemente exibem grandes danos à biota e, quando as atividades antrópicas elevam suas concentrações em ambientes naturais, podem ser incorporados pela cadeia trófica e muitas vezes são bioacumulados por organismos que ocupam níveis tróficos mais elevados. Dentre estes elementos, destacam-se o arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), os quais são frequentemente encontrados em efluentes industriais e defensivos agrícolas. Serpentes já foram indicadas como potenciais bioindicadores para a situação dos elementos-traço em ambientes naturais, dada sua posição na cadeia trófica, sua história natural e outras características. Dito isso, o presente estudo teve com objetivos: (1) Verificar a relação entre a concentração de As, Hg, Pb e Cd nos tecidos de *Helicops infrataeniatus* e o uso do solo em três áreas distintas: o Distrito Industrial de Rio Grande, área sob influência da atividade industrial; a localidade de Santa Izabel do Sul, sob influência agrícola; e uma unidade de conservação, a Estação Ecológica do Taim; (2) verificar a variação interespecífica das concentrações de As, Hg, Pb e Cd em quatro espécies de serpentes coletadas no município de Rio Grande e (3) avaliar a correlação entre o tamanho corporal dos indivíduos e as concentrações de As, Hg, Pb e Cd encontradas nos mesmos. Os metais foram mensurados em amostras de fígado e tecido muscular. As concentrações dos metais-traço em *H. infrataeniatus* não variaram significativamente entre as diferentes localidades. Como estas estão inseridas em uma mesma formação, a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, é possível que a composição geoquímica da formação seja um fator mais importante do que o uso antrópico do solo para as concentrações de elementos-traço. Quanto ao estudo interespecífico, também não houve variação significativa entre as espécies, indicando que a comunidade estaria exposta de maneira uniforme. No entanto, três correlações negativas foram encontradas em serpentes do gênero *Erythrolamprus*. Portanto, uma potencial variação ontogenética na dieta ou uso de habitat poderia ter certa influência na exposição aos elementos.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; répteis; contaminação ambiental; unidade de conservação.

ABSTRACT

Wetlands are ecosystems of great biological and economic importance, making them attractive to human populations. However, these areas suffer from anthropogenic pressures, especially the contaminant dumping. Elements such as heavy metals and metalloids often exhibit great damage to biota and, when anthropic activities increase their concentrations in natural environments, they can be incorporated into the trophic chain and are often bioaccumulated by organisms occupying higher trophic levels. Among these elements we can highlight the arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), and mercury (Hg), which are often found in industrial effluents and agricultural pesticides. Snakes have already been indicated as potential bioindicators for the status of trace elements in natural environments, given their position in the food chain, their natural history, and other characteristics. That said, the present study aimed to: (1) verify the relationship between the concentration of As, Hg, Pb and Cd in *Helicops infrataeniatus* tissues and land use in three different areas: the Industrial District of Rio Grande, an area under the influence of industrial activity; the Santa Izabel do Sul region, under agricultural influence; and a conservation unit, the Taim Ecological Station; (2) verify the interspecific variation of As, Hg, Pb and Cd concentrations in four snake species collected in the municipality of Rio Grande and (3) evaluate the correlation between the body size of individuals and the concentrations of As, Hg, Pb and Cd. The metals were measured in liver and muscle tissue samples. The trace metals concentrations in *H. infrataeniatus* did not vary significantly among the different locations. As they are inserted in the same formation, the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, it is possible that the geochemical composition of the formation is a more important factor than the anthropic use of the soil for the concentrations of trace elements. As for the interspecific study, there was also no significant variation among the species, indicating that the community would be uniformly exposed. However, three negative correlations were found in snakes of the genus *Erythrolamprus*. Therefore, potential ontogenetic variation in diet or habitat use could have some influence on element exposure.

Key-words: Ecotoxicology; reptiles; environmental contamination; conservation unit



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



**Variabilidade de longo-prazo (1997-2019) na
abundância de juvenis da savelha *Brevoortia
pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos
Patos e suas relações com fatores ambientais**

Yan Gonçalves Gower

Orientador: Alexandre Miranda Garcia

Rio Grande
2022



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



Variabilidade de longo-prazo (1997-2019) na abundância de juvenis da savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos e suas relações com fatores ambientais

Aluno: Yan Gonçalves Gower

Orientador: Alexandre Miranda Garcia

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

“There are many hypotheses in science that are wrong. That's perfectly alright; it's the aperture to finding out what's right. Science is a self-correcting process. To be accepted, new ideas must survive the most rigorous standards of evidence and scrutiny.”

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Natália Guerreiro Gowert e ao meu filho Bernardo Guerreiro Gowert por sempre me apoiarem e permitirem que eu seguisse em frente na conquista de meus objetivos. Agradeço também por deixarem meus dias mais felizes. Amo muito vocês.

À toda minha família. Principalmente minha mãe Catia Duarte Gonçalves. Meus irmãos Thuany Gowert e Lucyan Gowert. Minha avó Genecy Duarte Gonçalves, meus dindos e primos. E ao meu avô Honório Pimentel Gonçalves que infelizmente não está mais aqui conosco, mas que certamente adoraria ver a realização dos meus sonhos. Amo muito todos vocês.

Ao meu orientador Alexandre Miranda Garcia. Obrigado por ter me aceito como aluno em uma situação tão difícil. Obrigado por todos os ensinamentos e auxílios durante essa fase de mestrado. Obrigado por sempre confiar em mim, mesmo com minha falta de experiência e dificuldades ao longo desse período. Pelas palavras rotineiras de incentivo e pela excelente educação que me tratastes por todo esse tempo. Tu és uma pessoa e um orientador incrível.

À minha amiga e eterna orientadora Maria Cristina Oddone. Sou extremamente grato por ter me aceito como aluno de iniciação científica no laboratório de Chondrichthyes lá no início da minha graduação. Obrigado por todas as palavras de incentivo que me destes e por me auxiliar em momentos difíceis. Agradeço muito por todo o conhecimento que me passastes, coletas e trabalhos que fizemos juntos. Minha carreira não seria a mesma se eu não tivesse te conhecido. Obrigado por responder o e-mail com “ansiedade”. Tu és uma pessoa e uma orientadora maravilhosa.

Aos meus colegas de laboratório Sabrina Vollrath, Erika Belarmino, Leonardo Soares, Ana Luíza e Ana Mai. Obrigado pela ótima recepção no laboratório quando cheguei. Obrigado pelos cafês, coletas e conhecimentos que me passaram.

Aos amigos e colegas que fiz na graduação e seguem comigo até hoje. Saimon Bueno, Felipe Caseiro e Diego Reinicke. Obrigado pela extrema parceria e amizade que temos. Agradeço por sempre me apoiarem, pelas conversas e pelas risadas rotineiras.

Ao meu amigo e gênio da linguagem de programação R, Augusto Marcolin. Muito obrigado pelo auxílio e paciência por compartilhar seu conhecimento.

Aos meus colegas de PPGBAC Saimon Bueno, Danielle Tavares, Fernanda Freire, Katiuscia Bueno, Camila Reis e Ana Roschildt. Agradeço pela amizade que fizemos durante o programa e pela troca de conhecimento durante as disciplinas.

Ao programa de pós-graduação em biologia de ambientes aquáticos continentais e a Universidade Federal do Rio Grande por toda estrutura e permitirem que esse trabalho tenha sido realizado.

Por fim, se eu cheguei até esse momento não foi só pelo apoio e auxílio de todas as pessoas que citei nesses agradecimentos, mas também pelos diversos ensinamentos que muitos professores me passaram durante meu período de graduação. Acredito fielmente que seria um enorme equívoco não citar essas pessoas. Por esse motivo faço questão de agradecer aos professores da minha graduação. Adriano Cavalleri, Augusto Ferrari, Rogério Vianna, Daniel Loebmann, Fabiana Schneck, Edélti Albertoni, Carlos Rosa (Nino), Tamires Podewils, Lavínia Schwantes, Raquel Pereira, Vanise Garcia, Marlon Pestana, Marcelo Vargas, Ana Horn e André Koth. Saibam que era um enorme prazer para sair de casa todo o dia para estar presente na aula de vocês. Obrigado por todo conhecimento passado e paciência para explicar. Desejo que todos tenham professores como vocês.

Parafraseando um dos cientistas que mais admiro, Carl Sagan, deixo essa frase para todos que foram citados nesses agradecimentos.

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.”

RESUMO

Ecossistemas estuarinos estão sob a influência de distúrbios ambientais associados a processos continentais, atmosféricos e oceânicos que modificam a hidrodinâmica desse ambiente em diferentes escalas espaciais e temporais. O *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) é um fenômeno climático natural que possui grande influência nesses sistemas ecológicos, incluindo impactos negativos em vários componentes da biota. Existe uma crescente necessidade de aprofundar o entendimento dos impactos do ENOS uma vez que esses eventos climáticos podem estar se tornando mais frequentes e intensos no atual cenário de aquecimento global. Um ambiente propício para investigar os efeitos do ENOS na biota estuarina é o estuário da Lagoa dos Patos (ELP), pois esse sistema faz parte do programa brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) e possui longas séries temporais de fatores abióticos e biológicos que permitem investigar os efeitos do fenômeno ENOS sobre a biota. Uma das espécies mais comuns nas zonas rasas (< 2m) do ELP é a savelha *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842). É uma espécie de peixe marinho estuarina-dependente que utiliza o estuário para zona de berçário para alimentação e o nos estágios iniciais (larvas e juvenis) do seu desenvolvimento. A presente dissertação analisou uma longa série temporal (1997-2019) de dados mensais de fatores ambientais e da abundância de juvenis da *B. pectinata* nas zonas rasas do ELP visando responder as seguintes questões: (i) Existe relação entre a variabilidade de longo-prazo na abundância da espécie e de eventos ENOS (*El Niño* e *La Niña*) de diferentes intensidades? (ii) Quais as tendências interanuais de longo-prazo na abundância dos juvenis da espécie no estuário? Utilizamos modelos aditivos generalizados (GAM) para analisar as variações na abundância em relação aos fatores temporais (sazonal e interanual) e espaciais (longitude e latitude), bem como modelos para avaliar as relações com os fatores ambientais. A análise da tendência interanual mostrou um período de baixa abundância (1997-2001) seguido de um marcado aumento (2001 e 2008) e um período mais extenso de relativa estabilidade, com patamares comparativamente altos de abundância (2008-2019). Esse padrão geral variou espacialmente, havendo uma tendência significativa de aumento apenas na estação de coleta mais próxima da conexão do estuário com o mar. A temperatura, salinidade e o eventos *El Niño* (especialmente os mais intensos) foram as variáveis que melhor explicaram a variabilidade na abundância dos juvenis. Esses resultados mostram a suscetibilidade dos juvenis não apenas a fatores locais (temperatura e salinidade), mas também a fenômenos climáticos que influenciam a hidrologia desse sistema estuarino.

Palavras-chave: *El Niño*, ENOS, modelos aditivos generalizados-GAM, séries temporais, PELD

ABSTRACT

Estuarine ecosystems are under the influence of environmental disturbances associated with continental, atmospheric and oceanic processes that modify their hydrodynamics at different spatial and temporal scales. The *El Niño* Southern Oscillation (ENSO) is a natural climate phenomenon that has great influence on these ecological systems, including negative impacts on various components of the biota. There is a growing need to deepen the understanding of ENSO impacts as these weather events may be becoming more frequent and intense under the current global warming scenario. A suitable environment to investigate the effects of ENSO on estuarine biota is Patos Lagoon Estuary (PLE) because this system is part of the Brazilian program of Long Duration Ecological Research (LTER-B) and has long time series of abiotic and biological factors that allow investigating the effects of ENSO on biota. One of the most common species in the shallow waters (< 2m) of the PLE is the Argentinean menhaden *Brevoortia pectinata* (Jenyns, 1842). It is an estuarine-dependent marine fish species that uses the estuary as a nursery area for feeding in the early stages (larvae and juveniles) of its development. The present dissertation analyzed a long time series (1997-2019) of monthly data on environmental factors and juvenile abundance of *B. pectinata* in the shallow waters of PLE aiming to answer the following questions: (i) Is there a relationship between long-term variability in the abundance of the species and ENSO events (*El Niño* and *La Niña*) of different intensities? (ii) What are the long-term inter-annual trends in the abundance of juveniles of the species in the estuary? We used generalized additive models (GAM) to analyze variations in abundance in relation to temporal (seasonal and interannual) and spatial (longitude and latitude) variables, as well as models to assess relationships with environmental factors. Interannual trend analysis showed a period of low abundance (1997-2001) followed by a marked increase (2001 and 2008) and a longer period of relative stability with comparatively high plateaus of abundance (2008-2019). This general pattern varied spatially, with a significant upward trend only at the sampling station closest to the estuary's connection to the sea. Temperature, salinity and *El Niño* events (especially the most intense ones) were the variables that best explained the variability in juvenile abundance. These results show the susceptibility of juveniles not only to local factors (temperature and salinity), but also to climatic phenomena that influence the hydrology of this estuarine system.

Key-words: *El Niño*, ENSO, generalized additive models - GAM, time series, LTER-B



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



**Taxonomia e padrões micro e macroevolutivos em
peixes anuais dos gêneros *Cynopoecilus* e
Austrolebias (Cyprinodontiformes: Rivulidae) com
aplicações para a conservação**

Daiana Kaster Garcez

Orientadora: Prof^a Dr^a Lizandra Jaqueline Robe

Rio Grande
2021



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



**Taxonomia e padrões micro e macroevolutivos em peixes anuais dos
gêneros *Cynopoecilus* e *Austrolebias* (Cyprinodontiformes:
Rivulidae) com aplicações para a conservação**

Aluna: Daiana Kaster Garcez

Orientadora: Prof^a Dr^a Lizandra Jaqueline Robe

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

Rio Grande
2021

Ficha Catalográfica

G215t Garcez, Daiana Kaster.

Taxonomia e padrões micro e macroevolutivos em peixes anuais dos gêneros *Cynopoecilus* e *Austrolebias* (*Cyprinodontiformes: Rivulidae*) com aplicações para a conservação / Daiana Kaster Garcez. – 2021.

175 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Lizandra Jaqueline Robe.

1. Diversidade Críptica 2. DNA *Barcode* 3. Filogenia
4. Filogeografia 5. *Hotspots* 6. *Killifish* I. Robe, Lizandra Jaqueline
II. Título.

CDU 567

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



**ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 001/2021**

Às 14:00 hs (quatorze horas) do dia 30 (trinta) do mês de abril de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência (endereço eletrônico: (<https://meet.google.com/xnu-gsdo-qfk>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Tese de Doutorado da acadêmica **Daiana Kaster Garcez**. A Tese intitulada **"Taxonomia e padrões micro e macroevolutivos em peixes anuais dos gêneros *Cynopoecilus* e *Austrolebias* (Cyprinodontiformes: Rivulidae) com aplicações para a conservação"** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Prof^a. Dra. Lizandra Jaqueline Robe (Orientadora), Prof^o Dr. Alexandre Miranda Garcia (FURG), Prof^o Dr. Luis Esteban Krause Lanés (IPPampa) e Prof^o Dr. Marcelo Loureiro Barrella (UDELAR). 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 **DOUTORA EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 17:50 hs (17 horas e cinquenta minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Prof^a Dra. Lizandra Jaqueline Robe

Prof^o Dr. Alexandre Miranda Garcia

Prof^o Dr. Luis Esteban Krause Lanés

Prof^o Dr. Marcelo Loureiro Barrella

Daiana Kaster Garcez

Daiana Kaster Garcez

Daiana

Profº Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico esta tese aos que sempre estiveram ao meu lado me apoiando nessa jornada
Minha mãe Dóris Helena (*in memoriam*), meu pai Nilson, meus irmãos Franklin e Geferson e
meu marido Geison

AGRADECIMENTOS

À minha querida orientadora Profa. Dra. Lizandra Robe, que me acolheu desde o mestrado e sempre me ensinou com muita paciência. Ela aceitou o desafio de trabalhar com peixes anuais e me apresentou à genética e foi assim, que criamos um grupo incrível dedicado a estudar os peixes anuais. Agradeço imensamente pela confiança, amizade, compreensão, incentivos e toda a sua dedicação. Foi um prazer trabalhar ao seu lado e sou grata por tudo que aprendi com você, meu exemplo de cientista e de professora. Desejo que o nosso trabalho em conjunto siga por muito tempo. Também gostaria de agradecer o apoio nas questões pessoais, a sua sensibilidade e generosidade me ajudaram muito.

Ao Dr. Matheus Volcan pela nossa parceria de longa data e por ter me apresentado aos peixes anuais durante a minha graduação, há quase 10 anos atrás. Agradeço também por sempre estar disposto a me ajudar no que for preciso: ideias, coletas, análises, escritas etc. Que possamos seguir trabalhando juntos em prol dos peixes anuais.

Ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PPGBAC – FURG) por todo o apoio que sempre foi prestado, essencial para o desenvolvimento desta Tese. Agradeço aos professores e técnicos do ICB que contribuíram com meu aprendizado e com o desenvolvimento do projeto de pesquisa, além de todo o apoio logístico.

Agradeço aos professores membros da banca avaliadora pelas contribuições ao trabalho apresentado e por terem aceitado o meu convite.

À amizade e à parceria da Lizandra, Matheus, Murilo, Crislaine e Gabrielli, membros do nosso grupo de pesquisa de peixes anuais, sem os quais eu não conseguiria desenvolver os artigos aqui apresentados. E não menos importante, obrigada pelos vários momentos de alegria e descontração e por todo o acolhimento de vocês. Muri, Cris e Gabi: fico feliz de ter apresentado vocês aos anuais e influenciado no encantamento pelos mesmos.

À Thaísa e ao Murilo por toda a nossa amizade, vocês foram fundamentais para que eu conseguisse chegar até esse momento de conclusão do doutorado. Obrigada por estarem sempre junto comigo na FURG ou onde quer que eu esteja. Vocês sempre me trazem muita alegria e apoio em todos os momentos. Sou eternamente grata, vocês são muito importantes para mim!

À Giselle pela nossa amizade e parceria nos mais variados momentos que compartilhamos durante essa trajetória.

Aos amigos e amigas do PPGBAC e do LABEEM por toda a troca e momentos bons que tivemos ao longo desses anos.

Ao Geison, por sempre me acolher nos momentos de aflição, me acalmar e comemorar comigo as minhas vitórias. O seu companheirismo e incentivo foram fundamentais para eu

conseguir chegar até esse momento. Que sigamos sempre nos apoiando e que mais conquistas e bons momentos virem rotina em nossas vidas. Obrigada, meu amor!

A todo o amor e suporte da minha família. Agradeço especialmente à minha amada mãe Dóris que sempre foi o meu porto seguro, minha melhor amiga, uma grande incentivadora e dona de um coração lindo. Obrigada pelo amor incondicional, te amo para sempre, saudade! Queria poder compartilhar esse momento e muitos outros contigo, principalmente os de alegrias.

Agradeço à FURG, por todo o suporte durante o meu mestrado e doutorado e à agência financiadora - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – pela bolsa de estudo.

Por fim, agradeço à Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza pelo auxílio financeiro essencial para a execução desta tese.

RESUMO

A biodiversidade do nosso planeta está diminuindo drasticamente como consequência das ações humanas, e alguns táxons são particularmente suscetíveis a estas ameaças. Os peixes anuais destacam-se, dentro deste contexto, como um dos grupos de vertebrados mais ameaçados. Estes peixes estão sujeitos à ação de um conjunto de condições evolutivas, demográficas e metabólicas que podem resultar na rápida divergência entre populações. Alguns destes mecanismos, acrescidos da perda, degradação e fragmentação das áreas úmidas explicam a maior vulnerabilidade destas espécies. No Neotrópico, peixes anuais dos gêneros *Cynopoecilus* e *Austrolebias* se destacam por apresentarem muitas espécies endêmicas do Sistema Lagunar Patos-Mirim (SLPM) ameaçadas de extinção. Esta área é considerada um *hotspot* de diversidade de peixes anuais, embora regiões estratégicas para a conservação destas espécies ainda não tenham sido delimitadas. Aliado a isso, divergências sobre o status taxonômico das espécies de *Cynopoecilus* e o desconhecimento da sua história evolutiva destacam a importância de estudos filogenéticos e filogeográficos voltados para estas espécies. Assim, a presente Tese tem como objetivo auxiliar na delimitação de estratégias de conservação *in situ* de peixes anuais dos gêneros *Cynopoecilus* e *Austrolebias*, através do esclarecimento de questões taxonômicas, micro e macroevolutivas. Para isso, foram realizadas análises moleculares, morfológicas e de distribuição de endemismo, simpatria e riqueza. No Capítulo 1, a técnica de DNA barcode e análises filogenéticas e de distância detectaram a subdivisão de *Cynopoecilus* em 8–10 grupos, que compreendem as seis espécies descritas anteriormente e sugerem pelo menos 3–5 novas espécies putativas. Em geral, os resultados destacam a necessidade de estratégias de conservação independentes para cada grupo. No Capítulo 2, *Cynopoecilus* sp. n., uma nova espécie do complexo *C. melanotaenia*, é descrita com base em indivíduos coletados em poças temporárias localizadas nas bacias do rio Guaíba e do rio Jacuí, sistema Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Com os resultados encontrados para os marcadores moleculares, sugere-se uma rota de colonização norte-sul para o complexo *C. melanotaenia*–*Cynopoecilus* sp. n. na margem esquerda da Laguna dos Patos, que ocorreu durante os últimos 150 mil anos. Foi evidenciada também a ação do rio Jacuí como barreira entre *Cynopoecilus* sp. n. e *C. nigrovittatus*, que são registradas nas margens opostas deste rio. Por fim, no Capítulo 3, padrões de riqueza de linhagens mostraram uma distribuição heterogênea de peixes anuais ao longo do SLPM, com sete áreas apresentando registros para quatro ou mais linhagens. A aplicação de novos cálculos que levam em conta o número de populações, a diversidade genética e o posicionamento filogenético permitiram elencar as espécies avaliadas por ordem de prioridade de conservação, o que foi utilizado, por fim, para avaliar a ordem de prioridade de conservação dos diferentes micro-*hotspots* de peixes anuais.

Pode-se dizer, por fim, que esta Tese apresenta resultados importantes no âmbito da conservação de peixes anuais ao longo do SLPM, destacando a importância de estudos taxonômico-evolutivos na avaliação das unidades a serem conservadas, tanto no âmbito biológico quanto geográfico.

Palavras-chave: Diversidade críptica; DNA barcode; Filogenia; Filogeografia; *Hotspots*; *Killifish*.

ABSTRACT

Biodiversity in our planet is drastically decreasing as a consequence of human actions, and some taxons are particularly susceptible to these threats. Annual fish detach in this context as one of the more threaten groups of vertebrates. These species are subject to the action of a set of evolutionary, demographic, and metabolic conditions that can result in rapid divergence between populations. Some of these mechanisms, in addition to the loss, degradation and fragmentation of wetlands explain the higher vulnerability of these species. In the Neotropics, annual fish of the genera *Cynopoecilus* and *Austrolebias* stand out for presenting many species endemic to the Patos-Mirim Lagoon System (PMLS) threatened with extinction. This area is considered a hotspot for the diversity of annual fish, although no strategic regions for the conservation of these species were yet defined. In addition, divergences on the taxonomic status of *Cynopoecilus* species and unfamiliarity with their evolutionary history highlight the importance of phylogenetic and phylogeographic studies focused on these species. Thus, this Thesis aims to assist in the delimitation of *in situ* conservation strategies for annual fish of the genera *Cynopoecilus* and *Austrolebias*, by clarifying taxonomic, micro and macroevolutionary issues. For this, molecular, morphological and distribution analyzes of endemism, sympatry and richness were carried out. In Chapter 1, DNA barcoding technique and phylogenetic and distance analyzes detected the subdivision of *Cynopoecilus* into 8–10 groups, which comprise the six species previously described and suggest at least 3–5 putative new species. In general, the results highlight the need for independent conservation strategies for each group. In Chapter 2, *Cynopoecilus* sp. n., a new species of the *C. melanotaenia* complex, is described based on individuals collected in temporary pools located in the Guaíba River and Jacuí River basins, Laguna dos Patos system, Rio Grande do Sul, Brazil. With the results found for the molecular markers, a north-south colonization route was suggested for the *C. melanotaenia*–*Cynopoecilus* sp. n. complex on the left bank of the Patos Lagoon, which occurred during the last 150 thousand years. The action of the Jacuí River as a barrier between *Cynopoecilus* sp. n. and *C. nigrovittatus*, which are recorded on the opposite banks of this river was also evidenced. Finally, in Chapter 3, patterns of lineage richness showed a heterogeneous distribution of annual fish over the sampling area PMLS, with seven areas showing records for four or more lineages. The use of new metrics considering the number of populations together with measures of genetic diversity and phylogenetic positioning allowed to list the evaluated species in order of priority of conservation, which was finally employed to evaluate the priority order of conservation for the different micro-hotspots of annual fish. Thus, this Thesis presents important results concerning the conservation of annual fish along the PMLS, highlighting the importance of taxonomic-

evolutionary studies in the evaluation of the biologic and geographic units to be conserved.

Key-words: Cryptic diversity; DNA barcoding; Phylogeny; Phylogeography; Hotspots; Killifish.



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



**Metacomunidades em riachos subtropicais
preservados: singularidade ecológica e esforço de
amostragem**

Emanuela Cristina de Castro

Orientadora: Fabiana Schneck

Rio Grande

2021



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



**Metacomunidades em riachos subtropicais preservados:
singularidade ecológica e esforço de amostragem**

Aluna: Emanuela Cristina de Castro

Orientadora: Fabiana Schneck

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

Rio Grande

2021

Ficha Catalográfica

C355m Castro, Emanuela Cristina de.
Metacomunidades em riachos subtropicais preservados:
singularidade ecológica e esforço de amostragem / Emanuela Cristina
de Castro. – 2021.
92 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande –
FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes
Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.
Orientador: Dr. Fabiana Schneck.

Emanuela Cristina de1. Diatomácea 2. Diversidade beta 3. Esforço
amostral 4. Inseto aquático 5. Resolução taxonômica 6. Singularidade
composicional I. Schneck, Fabiana II. Título.

CDU 556.53

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

**ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 004/2021**

Às 08h30 (oito horas e trinta minutos) do dia 23 (vinte e três) do mês de setembro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/events/defesa-emanuela-castro>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Tese de Doutorado da acadêmica Emanuela Cristina de Castro. A Tese intitulada “**Metacomunidades em riachos subtropicais preservados: singularidade ecológica e esforço de amostragem**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Profª. Dra. Fabiana Schneck (Orientadora e Presidente da Banca); Profª Dra Ana Silvia Rolon (FURG); Profª Dra. Danielle Katharine Petsch (UEM) e Prof. Dr. Kaoli Pereira Cavalcante (UVA). 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 **DOUTOR EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 11h30h (onze horas e trinta minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.



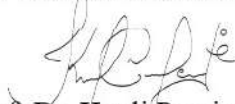
Profª Dra Fabiana Schneck



Profª Dra Ana Silvia Rolon



Profª Dra. Danielle Katharine Petsch



Prof. Dr. Kaoli Pereira Cavalcante



Emanuela Cristina de Castro



Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico essa tese à minha mãe, Marisete, meu exemplo de força e ao meu avô Manoel, minha maior saudade e meu maior amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por estar comigo nos dias em que sorria e nos dias que pensei não conseguir continuar. Por ter me ensinado tanto em meio a muitas adversidades que já enfrentei, mas por ter me dado pessoas e momentos maravilhosos ao longo da minha vida.

À Fabiana Schneck pelo conhecimento compartilhado comigo, por ter me ensinado a ser uma profissional competente e uma pessoa mais forte. Agradeço por ter me incentivado a continuar nos muitos momentos em que pensei em desistir.

Ao PPGBAC e à Comissão do PPG por ter me dado a chance de terminar minha tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante todo meu doutorado.

Aos membros da banca: Dra. Ana Silvia Rolon, Dra. Danielle Katherine Petsch e Dr. Kaoli Pereira Cavalcante por aceitarem participar desse momento importante para mim.

Agradeço pelo aprendizado e oportunidade surreais em escrever um trabalho na parceria dos professores doutores Luis Mauricio Bini, Adriano Melo, Tadeu Siqueira e Victor Landeiro.

Aos professores Edélti Faria Albertoni e Cleber Palma Silva que conheci na FURG e guardo com carinho em meus pensamentos.

Ao Dr. Fernando Marques Quintela pela melhor disciplina que já cursei, sobre mamíferos aquáticos continentais, pelas boas risadas durante as aulas e por ter me proporcionado, na aula noturna no TAIM, visualizar um céu tão estrelado como nunca vi antes.

Aos técnicos do laboratório de Limnologia da FURG, Clara, Cláudio e Leonardo, por todo auxílio.

À Karoline Martins pelas parceiras nos trabalhos e almoços.

À Cíntia Negrine Fernandez pelas conversas de horas durante os cafés e pelas boas risadas que aliviavam o stress da pós.

À Daiana Kaster Garcez, Thaísa Bozzetti Gautério e Giselle Perazzo pelas risadas e almoços no RU.

À Yarin Puerta Quintana (minha “tica”) pelos dias convívios na FURG e fora dela e por continuar tão próxima a mim mesmo estando a milhares de quilômetros de distância. Obrigada por compartilhar do seu espanhol comigo e por ter mentido dizendo que eu sabia falar como você (eu sempre acreditava). Te quiero mucho!

À Fabiana Gonçalves Barbosa por ter aberto as portas da sua casa, me acolhendo e me ouvindo quando mais precisei. Obrigada por seus conselhos, sua amizade e por ter me apresentado à *Keep cooler*.

À Maria Gabriela Junqueira e Tauana Morés por compartilharem comigo das suas dificuldades pessoais e por me permitirem desabafar também. Nessa reta final, as palavras de incentivo de vocês duas foram essenciais para que eu finalize a tese. Desejo de todo meu coração só o que há de melhor pra vocês duas. Muito obrigada!

Ao meu melhor amigo e amor, André Luiz Marques, por acreditar que eu poderia finalizar a tese e por fazer todo o possível para que isso acontecesse. Obrigada pelas risadas por qualquer motivo e pelos sorrisos por motivo nenhum, por me fazer ter bom humor de manhã, me apresentar ao mundo da Marvel e DC, por dividir comigo o vício no PS e pelas danças aleatórias na sala de casa. Amo você com todo meu coração.

Agradeço sempre pela minha mãe, por me incentivar a realizar cada sonho que tenho. A “mãe solteira”, que lutou sozinha durante minha infância, agora tem uma filha doutora.

Ao meu avô por ser meu grande exemplo de amor incondicional, sinto sua falta todos os dias. Amo você, seu Maneco.

Ao amor que recebi da minha tia Guaya e pelo seu bilhetinho me dizendo que eu deveria ser aquilo que quisesse. Espero que, de onde estiver, se orgulhe em ver a pessoa que me tornei.

Aos meus filhos de bigode: Maluzinha por ser rabugenta e amorosa, por sempre perceber quando não estava bem e se aconchegar ao meu lado; e ao Bruno, dengoso, carente, que ronronou desde a primeira vez que nos encontramos e segue assim todos os dias.

Às minhas amigas Francelize e Andressa que a vida me deu na 5ª série e que trago comigo até hoje. Por se fazerem presentes mesmo quando morei em outro Estado e por serem simplesmente que vocês são. À minha amiga Rosangela, pela sua loucura e amizade únicas.

Meus pensamentos durante a redação dos agradecimentos também está com mestrandxs e doutorandxs que adoecem mentalmente durante o período de estudos, especialmente por aqueles que desistem da vida por conta de doenças psicológicas relacionadas à pós. Meus maiores sentimentos a vocês.

RESUMO

A diversidade beta é a variação na composição de espécies entre comunidades ao longo de um gradiente ambiental. A compreensão dos padrões de diversidade beta depende também de compreendermos o quanto cada comunidade local contribui para a diversidade beta regional, o que chamamos de singularidade composicional. Independente da escolha das várias métricas disponíveis para estimar a diversidade beta, o esforço amostral deve ser adequado para refletir os padrões de organização das comunidades. Nesta tese meu objetivo principal foi investigar aspectos relacionados à organização de metacomunidades de insetos aquáticos e diatomáceas perifíticas em riachos preservados. Ambas as comunidades representam importantes constituintes das comunidades biológicas de riachos, atuando desde a ciclagem de nutrientes até como recurso alimentar. Utilizei amostras de 90 corredeiras de nove riachos (10 corredeiras por riacho) localizados em área de proteção junto ao maior remanescente de Mata Atlântica do estado de São Paulo. No primeiro capítulo avaliei a singularidade na composição de comunidades locais (LCBD), tanto total como em termos de substituição de espécies e de aninhamento, e sua relação com a posição das corredeiras e com variáveis de singularidade ambiental (LCEH). Somente o LCBD de diatomáceas foi correlacionado com a singularidade na composição de substratos. Ainda, os valores de LCBD em termos de substituição de espécies e de aninhamento apresentaram relação negativa e positiva, respectivamente, com o LCEH de substratos. Estes resultados indicam que a singularidade composicional e a singularidade ambiental nem sempre apresentam relação significativa, contrariando nossa hipótese inicial. Dessa forma, nossos resultados demonstram que encontrar os fatores que regem a singularidade composicional é um desafio. No capítulo 2, analisei se resoluções taxonômicas mais grosseiras e esforço de contagem reduzido são suficientes para recuperar padrões de composição de espécies e de diversidade beta de comunidades de diatomáceas. Resoluções taxonômicas de gênero e família somente refletiram padrões de composição de

espécies com informações de abundância. Já a contagem de um número reduzido de valvas foi suficiente para recuperar os padrões de composição de espécies (400 valvas com dados de presença-ausência e 50 valvas com dados de abundância) e de diversidade beta (200 valvas com dados de presença-ausência ou com dados de abundância) gerados pelo conjunto total de valvas (500 valvas). Portanto, observamos que o número suficiente de valvas contadas pode variar dependendo do objetivo do estudo. Por fim, sugerimos estudos futuros que avaliem outros fatores que possam estar relacionados com a singularidade ecológica, uma vez que essa métrica tem se mostrado eficaz em avaliar como as comunidades biológicas são organizadas. Além disso, nossos resultados demonstraram que é possível reduzir o esforço de contagem em estudos de diatomáceas perifíticas, o que pode ser extremamente útil especialmente em programas de biomonitoramento.

Palavras-chave: diatomácea, diversidade beta, esforço amostral, inseto aquático, resolução taxonômica, singularidade composicional

ABSTRACT

Beta diversity is the variation in species composition among communities across an environmental gradient. Understanding beta diversity patterns also depends on understanding how much each local community contributes to regional beta diversity, that is, the compositional uniqueness. Regardless of the choice of the various metrics available to estimate beta diversity, sampling effort must be adequate to reflect the assembling patterns of communities. In this thesis, my main objective was to investigate aspects related to the organization of aquatic insects and periphytic diatoms in pristine streams. Both communities represent important constituents of the biological community of streams, from nutrient cycling to food resource. I used samples from 90 riffles collected from nine streams (10 riffles per stream) at a protected area near the largest remnant of Atlantic Forest in the state of São Paulo. In the first chapter, I evaluated the uniqueness in the species composition of local communities (LCBD), both total and in terms of species replacement and nestedness, and its relationship with the position of the riffles and with variables of environmental uniqueness (LCEH). Only the LCBD of diatoms was correlated with uniqueness in substrate composition. Furthermore, the LCBD values in terms of species replacement and nestedness showed positive and negative relationships with the LCEH of substrates, respectively. These results indicate that compositional uniqueness and environmental uniqueness do not always have a significant relationship, contrary to our initial hypothesis. Thus, our results demonstrate that finding strong correlates of compositional uniqueness is a challenge. In chapter 2, I evaluated whether coarse taxonomic resolutions and reduced enumeration efforts are sufficient to recover patterns in species composition and in beta diversity of diatom metacommunities. Taxonomic resolutions of genus and family only reflected species composition patterns with abundance information. However, enumeration of a reduced number of valves was enough to recover the patterns in species composition (400 valves with presence-absence data and 50

valves with abundance data) and in beta diversity (200 valves with presence-absence data or with abundance data) generated by the total set of valves (500 valves). Therefore, we observed that the sufficient number of valves counted may vary depending on the purpose of the study. Finally, we conclude by suggesting that future studies should assess other factors that may be related to ecological uniqueness, since this metric has been shown to be effective in evaluating how biological communities are organized. Furthermore, our results showed that it is possible to reduce the counting effort in studies of periphytic diatoms, which can be extremely useful especially in biomonitoring programs.

Key-words: aquatic insect, beta diversity, compositional uniqueness, diatom, sampling effort, taxonomic resolution



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



Influência da fisiografia, paisagem, fatores espaciais e locais, e sobreposição espacial de macrófitas aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil

Karine Massia Pereira

Orientadora: Dra. Ana Silvia Rolon
Coorientadora: Dra. Sonia Marisa Hefler

Rio Grande
2021



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



Influência da fisiografia, paisagem, fatores espaciais e locais, e sobreposição espacial de macrófitas aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil

Aluna: Karine Massia Pereira

Orientadora: Ana Sílvia Rolon

Coorientadora: Sonia Marisa Hefler

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

Rio Grande
2021

Ficha Catalográfica

P436i Pereira, Karine Massia.

Influência da fisiografia, paisagem, fatores espaciais e locais, e sobreposição espacial de macrófitas aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil / Karine Massia Pereira. – 2021.
236 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Ana Silvia Rolon.

Coorientadora: Dra. Sonia Marisa Hefler.

1. Encosta do Sudeste 2. Fatores Climáticos 3. Isolamento
4. Litoral 5. Metacomunidades I. Rolon, Ana Silvia II. Hefler, Sonia Marisa III. Título.

CDU 550.1

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



**ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 002/2021**

Às 09:00 h (nove horas) do dia 07 (sete) do mês de maio de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência (endereço eletrônico: ([https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/ana-silvia-ro lon-ana](https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/ana-silvia-rolon-ana))) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Tese de Doutorado da acadêmica **Karine Massia Pereira**. A Tese intitulada **“Influência da fisiografia, paisagem, fatores espaciais e locais, e sobreposição espacial de macrófitas aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Prof^a. Dra. Ana Silva Rolon (Orientadora), Prof^a Dra Sônia Marisa Hefler (Co-orientadora), Prof^o Dr. Eduardo Dias Forneck (FURG), Prof^a Dra Raquel Lüdtke (UFPEL) e Prof^o Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo (UNESP). 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 **DOUTORA EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 13:20 h (treze horas e vinte minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Prof^a. Dra. Ana Silva Rolon

Prof^a Dra Sônia Marisa Hefler

Prof^o Dr. Eduardo Dias Forneck

Prof^a Dra Raquel Lüdtke

Prof^o Dr. Antonio Fernando Monteiro Camargo

Karine Massia Pereira

Prof^o Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico essa tese *in memorium* ao meu pai, Edi Terra Pereira, o grande incentivador dos meus sonhos e quem sempre esteve ao meu lado na minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Tania Massia Pereira e Edi Terra Pereira, por terem me dado a vida, educação e amor necessários para que eu me tornasse quem sou hoje. Dias antes da qualificação do doutorado, perdi o meu pai. Palavras não descrevem a dor que senti e a falta que ele me faz. Mas foi pelo amor e orgulho que ele sentia por mim e pela minha irmã que reuni forças para seguir em frente e não o decepcionar.

Também agradeço infinitamente à minha gêmea Aline pelo carinho, apoio e amor incondicional. Por dividir comigo todas as etapas da vida e por ser minha inspiração.

Agradeço ao Fernando, meu companheiro de vida, que compartilha as vitórias e momentos difíceis comigo. Agradeço também à minha segunda família, Lice, Renato, Fábio, Gizele e minha afilhada Maísa pela compreensão em momentos que não pude estar presente.

Agradeço à toda minha família, tios Marli, Nelci, Zenir e dindos Wanderlei e Isabel, pelo apoio e carinho. Aos amigos pelos momentos de descontração necessários ao meu dia a dia, em especial à Camila, Daison, Ênio, Joze, Lili e Thais (em ordem alfabética para não dar confusão).

Agradeço imensamente à minha orientadora Ana Rolon por sempre estar à disposição para me ajudar e por confiar no meu trabalho. Meu carinho e admiração a ela só aumentaram durante o desenvolvimento da tese.

Agradeço à Sonia Hefler, quem me apresentou o universo das macrófitas aquáticas e me acompanhou durante a pós-graduação.

Agradeço aos colegas do PPGBAC e aos “macrofiteiros” William Matzenauer e Mateus Negrini pela convivência nas aulas e no laboratório. À Carol Igansi pelo apoio técnico e pelas palavras de incentivo. Agradeço em especial à Cris Lague pelo auxílio fundamental nas coletas de campo e pela amizade que ficou para a vida.

Registro aqui também o meu agradecimento à dona Anastácia e ao seu Roque pelo acolhimento e apoio logístico para realização de parte das coletas na Ilha Santo Antônio.

Agradeço aos colegas da UFPel pelo apoio e compreensão em momentos que tive que me afastar do trabalho para me dedicar ao doutorado e pela convivência amigável que compartilhamos.

Agradeço aos professores da FURG e à coordenação do PPGBAC por proporcionarem ferramentas necessárias à minha formação acadêmica.

Agradeço aos membros da banca por aceitarem o convite de avaliar este trabalho.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

Entender as relações entre comunidades biológicas e o seu meio ambiente é o tema central da ecologia de comunidades. As assembleias de macrófitas aquáticas desempenham fundamental importância ecológica em ambientes aquáticos, cujos quais apresentam papéis importantes à sociedade e à biodiversidade. O objetivo geral da tese é avaliar os fatores determinantes para a riqueza e composição das assembleias de macrófitas aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil (regiões fisiográficas Encosta do Sudeste e Litoral). Foram avaliados desde fatores da paisagem (quantidade de habitats, isolamento e uso da terra), fisiográficos e climáticos; espaciais e ambientais; até interações interespecíficas. Além disso, avaliou-se se esses fatores interferem de maneira distinta sobre os diferentes grupos funcionais de macrófitas aquáticas. Características da paisagem foram mensuradas através de técnicas de processamento de imagens de satélite e Sistemas de Informação Geográfica. Fatores espaciais foram obtidos através de Análises de Coordenadas Principais de Matrizes Vizinhas. Interações interespecíficas foram mensuradas através do Índice de Sobreposição Espacial desenvolvido especialmente para macrófitas aquáticas. Ao todo foram amostradas 249 espécies de macrófitas aquáticas; 221 na Encosta do Sudeste e 144 no Litoral. Verificamos que a disponibilidade de habitats na paisagem relacionou-se negativamente com a riqueza, enquanto o isolamento e áreas agrícolas relacionaram-se positivamente. A fisiografia e outras características da paisagem também foram importantes para a composição. Fatores espaciais também estruturaram as assembleias de macrófitas aquáticas, mas sua importância relativa diferiu entre escalas espaciais de observação e grupos funcionais. Em relação às interações interespecíficas, verificou-se uma possível vantagem competitiva de *Luziola peruviana* sobre *Eleocharis minima*. Pode-se concluir que para entender a estruturação de assembleias de macrófitas aquáticas é necessário avaliar um amplo espectro de fatores. Essa tese abordou aspectos paisagísticos e de interações interespecíficas ainda não estudados em áreas úmidas do sul do Brasil, assim como contribuiu para o conhecimento florístico dessa região.

Palavras-chave: Encosta do Sudeste, fatores climáticos, isolamento, Litoral, metacomunidades.

ABSTRACT

Understanding the relationship between biological communities and their environment is the central theme of community ecology. The assemblages of aquatic macrophytes play a fundamental ecological importance in aquatic environments, which are important for society and biodiversity. The general aim of the thesis is to evaluate the determining factors for the richness and composition of the assemblages of aquatic macrophytes in ponds of southern Brazil (physiographic regions *Encosta do Sudeste* and *Litoral*). It was evaluated from landscape factors (number of habitats, isolation and land use), physiographic and climatic; space and environmental; to interspecific interactions. In addition, it was evaluated whether these factors influence differently on the different functional groups of aquatic macrophytes. Landscape factors were measured using satellite image processing techniques and Geographic Information Systems. Spatial factors were obtained through Principal Coordinate Analysis of Neighboring Matrices. Interspecific interactions were measured using the Spatial Overlap Index developed especially for aquatic macrophytes. A total of 249 species of aquatic macrophytes were sampled: 221 on the *Encosta do Sudeste* and 144 on the *Litoral*. We found that the availability of habitats in the landscape was negatively related to richness, while isolation and agricultural areas were positively related to richness. The physiography and other characteristics of the landscape were also important for the composition. Spatial factors also structured the assemblages of aquatic macrophytes, but their relative importance differed between spatial scales of observation and functional groups. In relation to interspecific interactions, there was a possible competitive advantage of *Luziola peruviana* over *Eleocharis minima*. It can be concluded that to understand the structuring of aquatic macrophyte assemblages, it is necessary to evaluate a wide spectrum of factors. This thesis addressed landscape aspects and interspecific interactions not yet studied in ponds of southern Brazil, as well as contributed to the floristic knowledge of this region.

Key-words: Encosta do Sudeste, climatic factors, isolation, Litoral, metacommunities.



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



Efeitos da contaminação por elementos traço em riachos: uma abordagem com diferentes grupos tróficos funcionais de insetos aquáticos

Rafael Chaves Loureiro

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ubiratan Hepp

Rio Grande
2021



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



Efeitos da contaminação por elementos traço em riachos: uma abordagem com diferentes grupos tróficos funcionais de insetos aquáticos

Aluno: Rafael Chaves Loureiro

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ubiratan Hepp

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

Rio Grande
2021

“Dedico esta tese à minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória. Este trabalho é dedicado a eles.”

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, obrigado por sempre terem me dado à liberdade e o apoio para que eu traçasse sempre meus caminhos. Ao meu avô, todos os ensinamentos dados ao longo da minha infância são essenciais para a minha vida hoje. Obrigado, amo vocês!

Aos colegas do PPG BAC, que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis. Em especial, agradeço ao Muryllo, Gabriela e Ana que me ajudaram muito no período em que morei em Rio Grande, sou muito grato a vocês.

Aos professores e técnicos do PPG BAC, pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado. Em especial agradeço a professora Edélti e a professora Fabiana, obrigado por enxugar minhas lágrimas, quando na verdade eu não queria chorar, mas precisava para desabafar e vocês com sábias palavras me deram força para continuar. Tenho muita admiração por vocês.

A URI-Erechim, por toda estrutura fornecida para a realização da minha Tese. A todo o pessoal do laboratório de Biomonitoramento pelos momentos de aprendizado e crescimento ao longo dos anos. Em especial, agradeço a professora Rozane, Cristiane, Mayara e Silvia por todo apoio dado durante a realização dos meus experimentos. Sem vocês certamente o trabalho seria muito mais difícil.

Ao meu orientador e amigo Luiz Hepp, muito obrigado por todos esses anos de aprendizado e conselhos. A forma com que conduziu a minha jornada como bolsista de IC, mestrando e doutorando através de suas críticas construtivas, discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo este percurso. Eternamente grato por todo o apoio.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste doutorado.

A minha noiva Pamela, por estar ao meu lado em todos os momentos e por compreender as várias horas em que estive ausente por causa das atividades relacionadas à tese. Te amo muito.

RESUMO

O aumento nas concentrações de metais vem sendo considerado um grave problema de poluição ambiental nos ambientes aquáticos continentais, pela sua persistência, toxicidade e capacidade de ser incorporado nos organismos. Neste contexto, procurei entender como o aumento das concentrações de cobre e cádmio afetam os grupos tróficos funcionais de insetos em riachos. Assim, os trabalhos desenvolvidos nesta tese tiveram como objetivos (i) verificar os efeitos das concentrações de cobre (Cu) e cádmio (Cd) nas interações ecológicas entre insetos aquáticos e o meio biótico e abiótico, (ii) verificar os efeitos do aumento das concentrações de Cu e Cd em diferentes rotas tróficas de insetos aquáticos, e (iii) observar o comportamento alimentar de insetos aquáticos sobre diferentes concentrações de Cu e Cd. Para alcançar estes objetivos realizei diferentes experimentos, em campo e laboratório, considerando diferentes rotas tróficas de insetos (i.e. raspadores/herbivoria, fragmentadores/detritívoros e predadores/predação). Diante dos resultados observados, conclui que (i) a intensidade de atividades antrópicas (especialmente agricultura), na área de drenagem dos riachos contribui para o aumento das concentrações de Cu e Cd no sedimento e coluna d'água dos riachos, refletindo nas quantidades de metais incorporadas por insetos raspadores a partir do consumo de recursos alimentares; (ii) a presença de concentrações de metais na água reduziu drasticamente as taxas de alimentação de insetos fragmentadores e, consequentemente, afetou negativamente o processo de decomposição foliar e; (iii) o aumento nas concentrações de Cu e Cd afeta negativamente a interação predador-presa, uma vez que reduziu a mobilidade, a procura e o sucesso de captura de presas pelos predadores. Assim, concluí que a presença de metais no ambiente aquático pode afetar negativamente as rotas alimentares de insetos aquáticos, podendo refletir na diminuição da sua biodiversidade e prestação de serviços ambientais. Ainda, considerando que os insetos aquáticos são organismos que compreendem um nível intermediário da cadeia trófica aquática, a contaminação destes organismos pode afetar os níveis tróficos superiores. Desta forma, os resultados obtidos nesta tese auxiliam na formação de uma base conceitual sólida sobre os efeitos que os metais podem causar ao ambiente aquático, subsidiando, assim, a elaboração de estratégias de mitigação dos efeitos antrópicos sobre a biota aquática e processos ecológicos.

Palavras-chave: cobre; cádmio; fragmentadores; raspadores; predadores; comportamento biológico.

ABSTRACT

The increase in metal concentrations has been considered a serious environmental pollution problem in continental aquatic environments, due to its persistence, toxicity and ability to be incorporated into organisms. In this context, I looked to understand how the increase in copper and cadmium concentrations affect the functional feeding groups of insects in streams. Thus, the work carried out in this thesis aimed at (i) verifying the effects of copper (Cu) and cadmium (Cd) concentrations on the ecological interactions between aquatic insects and the biotic and abiotic environment, (ii) verifying the effects of increased concentrations of Cu and Cd in different trophic routes of aquatic insects, and (iii) observe the feeding behavior of aquatic insects under different concentrations of Cu and Cd. To achieve these goals, I carried out different experiments, in field and laboratory, considering different trophic routes of insects (ie scrapers / herbivory, shredders / detritivores and predators / predation). In view of the observed results, I conclude that (i) the intensity of anthropogenic activities (especially agriculture), in the streams drainage area contributes to the increase of the concentrations of Cu and Cd in the sediment and water column, reflecting in the amounts of metals incorporated by scraper insects from the consumption of food resources; (ii) the presence of concentrations of metals in water drastically reduced the feeding rates of shredders and, consequently, negatively affected the leaf decomposition process; (iii) the increase in Cu and Cd concentrations negatively affects the predator-prey interaction, since it reduced mobility, foraging and the success of prey capture by predators. Thus, I concluded that the presence of metals in the aquatic environment can negatively affect the food routes of aquatic insects, which may reflect on the decrease of biodiversity and provision of environmental services. Also, considering that aquatic insects are organisms that comprise an intermediate level of the aquatic food chain, the contamination of these organisms can affect higher trophic levels. In this way, the results obtained in this thesis help in the formation of a solid conceptual base on the effects that metals can cause to the aquatic environment, thus subsidizing the elaboration of strategies to mitigate the anthropogenic effects on aquatic biota and ecological processes.

Key-words: copper; cadmium; shredders; scrapers; predators; biological behavior.



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



**DNA BARCODING E ESTRUTURAÇÃO
POPULACIONAL DE ESPÉCIES DE *Belostoma*
(Belostomatidae: Hemiptera) E *Culicoides*
(Ceratopogonidae: Diptera) DA PLANÍCIE
COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL**

Thaísa Bozzetti Gautério

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lizandra Jaqueline Robe
Coorientador: Prof. Dr. Augusto Ferrari

Rio Grande
2021



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



**DNA Barcoding e estruturação populacional de espécies de
Belostoma (Belostomatidae: Hemiptera) e *Culicoides*
(Ceratopogonidae: Diptera) da Planície Costeira do Rio Grande do
Sul**

Aluno: Thaísa Bozzetti Gautério

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lizandra Jaqueline Robe

Coorientador: Prof. Dr. Augusto Ferrari

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PPGBAC) como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande
2021

Ficha Catalográfica

G275d Gautério, Thaísa Bozzetti.

DNA Barcoding e estruturação populacional de espécies de Belostoma (Belostomatidae: Hemiptera) e Culicoides (Ceratopogonidae: Diptera) da Planície Costeira do Rio Grande do Sul / Thaísa Bozzetti Gautério. – 2021.

200 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Rio Grande/RS, 2021.

Orientadora: Dra. Lizandra Jaqueline Robe.

Coorientador: Dr. Augusto Ferrari.

1. Belostoma 2. Culicoides 3. Identificação Molecular
4. Biogeografia 5. Modelagem de Nicho Ecológico 6. Filogenia
I. Robe, Lizandra Jaqueline II. Ferrari, Augusto III. Título.

CDU 574.9(816.5)

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



**ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 005/2021**

Às 09h00 (nove horas) do dia 13 (treze) do mês de dezembro de 2021 (dois mil e vinte e um), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://meet.google.com/koc-nzhk-ojf>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Tese de Doutorado da acadêmica Thaísa Bozzetti Gautério. A Tese intitulada **“DNA BARCODING E ESTRUTURAÇÃO POPULACIONAL DE ESPÉCIES DE *Belostoma* (Belostomatidae: Hemiptera) E *Culicoides* (Ceratopogonidae: Diptera) DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL”** foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Profª Dra Lizandra Jaqueline Robe (Orientadora e Presidente da banca), pelo Prof. Dr. Augusto Ferrari (Co-orientador), Profª Dra Adriana Gava (FURG); Profº Dr. José Ricardo Inácio Ribeiro (UNIPAMPA) e Profª Dra. Andressa Paladini (UFSM). 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 **DOUTOR EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 12h30h (onze horas e trinta minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pelo Coordenador do Curso.

Profª Dra Lizandra Jaqueline Robe

Prof. Dr. Augusto Ferrari

Profª Dra Adriana Gava

Profº Dr. José Ricardo Inácio Ribeiro

Profª Dra. Andressa Paladini

Thaísa Bozzetti Gautério

Prof. Dr. Rogério Tubino

Vianna

Coordenador do Curso

Dedico esta tese à minha querida Vó
Selma por ser meu exemplo de vida e
coragem, por ser minha inspiração e
por sempre me apoiar e torcer pela
realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À minha querida orientadora Prof^a. Dr^a. Lizandra Robe, que me acolheu no laboratório durante o mestrado e que, no doutorado, topou o desafio de trabalhar com dois grupos de espécies completamente diferentes para nós duas. Obrigada por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava, por me apoiar nos momentos difíceis e por ser sempre tão paciente e compreensiva.

Ao Prof. Dr. José Ricardo Inacio Ribeiro, pela ajuda na identificação de todos os espécimes de *Belostoma* deste trabalho, pela paciência em me ensinar com tantos detalhes a identificação das espécies, pelas discussões extremamente produtivas sobre o trabalho e que foram indispensáveis para a minha formação e também pelo acolhimento nas viagens à São Gabriel. Sou muito grata por toda a ajuda!

À TAE Daiane Carrasco pela companhia, ajuda e ensinamentos tanto durante as coletas quanto durante o trabalho no lab, pelas identificações de *Culicoides*, pelo conhecimento compartilhado, pelas tantas conversas, conselhos e trocas de conhecimento que tanto fizemos durante os últimos anos.

Ao Prof. Dr. Augusto Ferrari pela troca de conhecimentos durante o doutorado.

À Marina Milford pelos ensinamentos iniciais nas identificações morfológicas de *Belostoma*.

Ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PPGBAC – FURG) e aos docentes do PPG por todo o apoio desde o mestrado.

Agradeço aos professores membros da banca avaliadora pelas contribuições ao trabalho apresentado e por terem aceitado o meu convite, em especial à Prof^a. Dr^a. Adriana Gava que participou da minha vida acadêmica desde a graduação, que me inspirou a seguir o caminho da genética, que acompanhou o meu desenvolvimento na biologia desde a graduação e que vem sendo avaliadora dos meus trabalhos e compartilhando seu conhecimento comigo durante quase 10 anos. Meu sincero agradecimento, professora!

À Daiana e ao Murilo, por serem os presentes que a pós-graduação me deu, meus melhores amigos que levei para a vida, meus padrinhos de casamento. Vocês foram essenciais nos momentos mais difíceis e tornaram a pós-graduação uma das melhores fases da minha vida, com muitas risadas, conversas, choros, croassinhos e pães de queijo. Amo vocês!

Às colegas de laboratório Gisele, Tuca, Henrique, Maiara, Gabi, Aline e Cris, pela companhia no lab, risadas, conversas, conselhos e ajuda seja para uma análise, uma discussão de resultados ou para um café. À minha única colega de turma Maiby Glorize pelo apoio,

conselhos e conversas durante nosso período de doutorado. Vocês tornaram essa fase muito mais leve e divertida.

À minha psicóloga Jéssica por todo o apoio e orientação nos momentos difíceis e por tornar o final da jornada de doutorado mais leve e fácil.

Aos meus queridos amigos e padrinhos de casamento: Fernanda, Guilherme, Bruna e Eugênio por perdoarem minhas ausências nos últimos anos e por sempre manterem esse laço forte de amizade que nos une, especialmente às minhas melhores amigas desde o colégio, Nanda e Bru, vocês são as irmãs que eu escolhi, minhas dindas e ao mesmo tempo afilhadas de casamento, aquela amizade que sabemos que nunca vai mudar ou enfraquecer. Amo vocês muito!

À minha família, em especial aos meus pais por todo o apoio e incentivo durante todos estes anos de pós graduação, pela compreensão das minhas ausências e por todo amor. Obrigada por tudo, amo vocês eternamente!

À minha querida Vó Selma pelo amor, compreensão e por ser calmária nos momentos difíceis, por vibrar comigo por cada conquista e por compartilhar comigo tantas histórias da vida. Me orgulho e me espelho em você por ser corajosa, mas sem perder a doçura que lhe é tão marcante.

À Zazá e ao Roger pela parceria e por estarem sempre presentes apoiando a mim e ao Regis seja nos momentos bons ou naqueles nem tão bons assim.

Ao meu amado marido Regis Dutra, por ser meu porto seguro, meu melhor amigo e meu amor. Por toda a compreensão, apoio incondicional, conselhos, paciência, por me acolher nos piores momentos e por comemorar comigo os melhores. Obrigada por tudo que construímos juntos. Te amo muito!

À minha cachorrinha Leia que chegou na nossa casa em plena pandemia e despertou um amor tão grande que eu nem sabia que poderia sentir por um bichinho. Obrigada por ser a minha companheira inseparável durante as análises e a escrita da tese. Te amo, amada da mamãe!

Por fim, agradeço à FURG, por todo o suporte desde a minha graduação, pelo ensino gratuito e de qualidade e à agência financiadora - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – pela bolsa de estudo.

RESUMO

O Neotrópico é uma das regiões mais diversas do planeta, embora a maior parte de sua diversidade ainda não tenha sido descrita. Este cenário é especialmente preocupante devido à crise da biodiversidade atual, que pode ocasionar as chamadas “cripto-extinções”. Esta situação é ainda mais grave em grupos de espécies de tamanho corporal pequeno, como é o caso dos insetos. De fato, o impedimento taxonômico associado à grande diversidade de espécies, ao tamanho corporal reduzido e a ausência de caracteres diagnósticos mais efetivos é um problema que diversos grupos de insetos enfrentam. Alguns grupos de Diptera e Hemiptera, em especial aqueles pertencentes a gêneros associados aos ambientes aquáticos, como *Belostoma* e *Culicoides* estão entre os mais afetados pelo impedimento taxonômico, o que está diretamente relacionado a um déficit no conhecimento de diversos aspectos relacionados à sua evolução ou à sua ecologia. Isso ocorre a despeito da importância ecológica e econômica apresentada por suas espécies. Assim, o objetivo geral desta tese foi analisar a diversidade taxonômica e os padrões associados à evolução de espécies de Diptera e Hemiptera da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). Para isso, foram realizadas análises moleculares, morfológicas, biogeográficas e de modelagem de nicho ecológico. No capítulo 1, apresento o artigo intitulado “Disentangling the taxonomy of *Belostoma* Latreille (Hemiptera, Heteroptera, Belostomatidae) with the aid of DNA Barcoding approaches”, publicado na revista *Austral Entomology*. Neste estudo, sequências obtidas para dois genes mitocondriais (COI e 16S) suportaram a divisão de *Belostoma* em 10 clados, representados por seis espécies reciprocamente monofiléticas, uma espécie potencialmente nova e outros três clados demonstrando inconsistências taxonômicas. Em um destes clados, nove morfotipos diferentes, entre os quais três espécies do grupo *oxyurum*, demonstraram-se geneticamente similares, revelando a presença de grandes níveis de plasticidade fenotípica, e demonstrando a utilidade de ferramentas de DNA Barcode para o estudo do gênero. O segundo capítulo apresenta o manuscrito intitulado “Population structure of *Belostoma angustum* Lauck (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Belostomatidae) across different geomorphological units of the Brazilian Pampa Biome”, submetido na revista *Invertebrate Biology* e que abordou a estruturação populacional de *B. angustum*, nas diferentes regiões geomorfológicas do Rio Grande do Sul, comparando amostras obtidas para a região da PCRS com aquelas coletadas nas demais regiões do Bioma Pampa a partir de sequências dos genes mitocondriais COI e 16S e do gene nuclear ITS. Este artigo demonstrou que, apesar da alta capacidade de dispersão da espécie, há sinal de estruturação populacional com divergência entre populações da PCRS e aquelas de regiões interiores. Este resultado vem de encontro com o único

estudo publicado até o momento abordando os padrões de distribuição da diversidade genética em *B. angustum*, que sugeria que esta espécie formava uma população panmítica. Este artigo também demonstra que a espécie alvo sofreu uma expansão populacional durante o Pleistoceno, quando parece ter colonizado áreas mais interiores a partir de um refúgio localizado em áreas mais antigas da PCRS. E, por fim, no terceiro capítulo intitulado “DNA Barcoding de *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) no Neotrópico, com insights acerca das relações filogenéticas entre espécies”, a ser submetido na revista *Acta Tropica*, sequências de COI, 16S e 28S demonstraram a presença de 12 linhagens entre os espécimes amostrados. Entre as 12 espécies coletadas, apenas *C. bambusicola* e *C. pusilloides* revelaram-se reciprocamente monofiléticas, e níveis crípticos de diversidade foram revelados para *C. alvarezi*, *C. fernandoi* e *C. venezuelensis*. Por outro lado, *C. insignis* e *C. guttatus* compartilham haplótipos entre si e com um espécime de *C. fernandoi*, sugerindo a presença de plasticidade fenotípica dentro do subgênero *hoffmani*. Assim, evidenciamos neste artigo a necessidade de redefinição dos caracteres diagnósticos que utilizam as manchas das asas para definir espécies em *Culicoides*, principalmente para espécies pertencentes ao grupo *hoffmani*, e demonstramos a presença de diversidade críptica dentro do gênero. Pode-se dizer, por fim, que esta Tese obteve resultados importantes acerca da diversidade de dois dos principais grupos de insetos que ocorrem na PCRS. Apresentamos resultados importantes no âmbito da conservação para insetos predadores de topo em ambientes aquáticos como Belostomatidae. Além disso, também apresentamos informações relevantes para a identificação rápida de espécies de *Culicoides*, o que pode auxiliar no manejo destes importantes vetores de arboviroses que acometem tanto humanos quanto animais, causando prejuízos não apenas médicos e veterinários como também prejuízos econômicos.

Palavras-chave: *Belostoma*; *Culicoides*, Identificação molecular; Biogeografia, Modelagem de Nicho Ecológico; Filogenia.

ABSTRACT

The Neotropics is one of the most diverse regions on the planet, but the most of its diversity has not yet been described. This scenario is especially grave due to the current biodiversity crisis, which can result in “crypto-extinctions”. This situation is even more serious in small body sizes species groups such as insects. In fact, the taxonomic impediment associated with the great species diversity, reduced body size and the absence of more effective diagnostic characters is a problem that many groups of insects face. Some groups of Diptera and Hemiptera, especially those belonging to genera associated with aquatic environments, such as *Belostoma* and *Culicoides*, are among the most affected by the taxonomic impediment, which is directly related to a deficit in knowledge of several aspects related to its evolution or ecology. This occurs despite the ecological and economic importance presented by its species. Thus, the general objective of this thesis was to analyze the taxonomic diversity and patterns associated with the evolution of Diptera and Hemiptera species of Rio Grande do Sul Coastal plain. For this, molecular, morphological, biogeographic and environmental niche modeling analysis were performed. In chapter 1, I present the article entitled “Disentangling the taxonomy of *Belostoma* Latreille (Hemiptera, Heteroptera, Belostomatidae) with the aid of DNA Barcoding approaches”, published in the journal *Austral Entomology*. In this study, sequences were characterized for two mitochondrial genes (COI and 16S) were supported the division of *Belostoma* into 10 clades, represented by six reciprocally monophyletic species, one potentially new species and another three clades demonstrating taxonomic inconsistencies. In one of these clades, nine different morphotypes, including three species of the *oxyurum* group, were genetically similar, revealing the presence of large levels of phenotypic plasticity, and demonstrating the use of DNA Barcode for the genus. The second chapter presents the manuscript entitled “Population structure of *Belostoma angustum* Lauck (Insecta: Hemiptera: Heteroptera: Belostomatidae) across different geomorphological units of the Brazilian Pampa Biome”, submitted in the journal *Invertebrate Biology* and which approached the population structure of a *Belostoma* species, *B. angustum*, in the different geomorphological regions of Rio Grande do Sul, comparing samples obtained from the Coastal Plain with those collected in the other regions of the Pampa Biome from sequences of the mitochondrial genes (COI and 16S) and the nuclear gene ITS. This work demonstrated that, despite the high dispersal capacity of the species, there is a sign of population structuring between PCRS region and other more interior regions. This result differs from the only study published until now about the distribution patterns of genetic diversity in *B. angustum*, which suggested that this species

formed a panmitic population. This article also demonstrates that *B. angustum* underwent a population expansion during the Pleistocene, and appears to have colonized more interior areas from a refuge located in older areas of the PCRS. And finally, in the third chapter entitled "DNA Barcoding de *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) no Neotrópico, com insights acerca das relações filogenéticas entre espécies", to be submitted in the journal Acta Tropica, COI sequences, 16S and 28S demonstrated the presence of 12 strains among the specimens sampled. Among the 12 species collected, only *C. bambusicola* and *C. pusilloides* were found to be reciprocally monophyletic, and cryptic diversity levels were revealed for *C. alvarezi*, *C. fernandoi* and *C. venezuelensis*. On the other hand, *C. insignis* and *C. guttatus* share haplotypes among themselves and with an *C. fernandoi* specimen, suggesting the presence of phenotypic plasticity within the *hoffmani* subgenus. Thus, in this article, we highlight the need to redefine the diagnostic characters that use wing spots to define *Culicoides* species, especially for those belonging to the *hoffmani* group, and we demonstrate the presence of cryptic diversity within the genus. Finally, it can be said that this thesis obtained important results about the diversity of two of the main groups of insects that occur in PCRS. We present important results in the field of conservation for predatory insects in aquatic environments such as Belostomatidae. In addition, we also present information for a rapid identification of *Culicoides* species, which can help in the management of these important arboviruses vectors that affect both humans and animals, causing not only medical and veterinary damage but also economic loss.

Keywords: *Belostoma*; *Culicoides*; Molecular identification; Biogeography; Environmental Niche Modeling; Phylogeny.



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



**A evolução dos estudos ecotoxicológicos sobre a
atrazina e uma análise dos possíveis preditores na
tolerância de microalgas verdes expostas a esse
herbicida**

Muryllo Santos Castro

Orientador: Juliano Zanette
Coorientadora: Camila Martinez de Gaspar Martins

Rio Grande
2022



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



A evolução dos estudos ecotoxicológicos sobre a atrazina e uma análise dos possíveis preditores na tolerância de microalgas verdes expostas a esse herbicida

Aluno: MSc. Muryllo Santos Castro

Orientador: Prof. Dr. Juliano Zanette

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Camila Martins

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

Rio Grande
2022

Ficha Catalográfica

C355e Castro, Muryllo Santos.

A evolução dos estudos ecotoxicológicos sobre a atrazina e uma análise dos possíveis preditores na tolerância de microalgas verdes expostas a esse herbicida / Muryllo Santos Castro. – 2022. 118 f.

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

Orientador: Dr. Juliano Zanette.

Coorientadora: Dra. Camila Martins.

1. Algas Verdes 2. Bibliometria 3. Ecotoxicologia 4. Pesticida
5. Sensibilidade I. Zanette, Juliano II. Martins, Camila III. Título.

CDU 561.263

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 TESE DE DOUTORADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 001/2022**

Às 08h30 (oito horas e trinta minutos) do dia 22 (vinte e dois) do mês de fevereiro de 2022 (dois mil e vinte e dois), via Webconferência no endereço eletrônico: (<https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/juliano-zanette-juliano>) reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Tese de Doutorado do acadêmico Muryllo Santos Castro. A Tese intitulada “**A evolução dos estudos ecotoxicológicos sobre a atrazina e uma análise dos possíveis preditores na tolerância de microalgas verdes expostas a esse herbicida**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelo Orientador: Profº Dr. Juliano Zanette (Orientador e Presidente da Banca); Profº Dr. Danilo Giroldo (FURG); Profº Dr. Ricardo Luvizotto Santos (UFMA) e Thiago Estevam Parente Martins (FIOCRUZ) Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico **APROVADO**. Desta forma, o acadêmico concluiu mais uma das etapas necessárias para a obtenção do grau de **DOUTOR 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, pelo Acadêmico e pelo Coordenador do Curso.



Profº Dr. Juliano Zanette



Profº Dr. Danilo Giroldo




Profº Dr. Ricardo Luvizotto Santos



Profº Dr. Thiago Estevam Parente Martins



Muryllo Santos Castro



Prof. Dr. Rogério Tubino Vianna
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho às mulheres da minha vida:
Minha mãe Marlete e tias Margarete e Dores.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos à minha mãe Marlete e minhas tias Margarete e Dores, que sempre me apoiaram, incentivaram e deram suporte para que eu conseguisse completar essa etapa na minha formação acadêmica. Tenho lembranças de que quando criança sempre ouvia uma delas dizendo: “- Quando meu filho crescer, vai ser doutor”. É, consegui!

Agradeço ao meu orientador, professor Drº Juliano Zanette por ter aceitado trabalhar comigo ao longo desses anos. Sei que foi um desafio. Agradeço por sempre estar disponível para tirar as minhas dúvidas, pela paciência, por sempre levantando questionamentos e ajudando a pensar como um cientista. Com certeza aprendi muito com seu jeito detalhista, criterioso e empolgado de fazer ciência. Valeu! Agradeço à professora Drª Camila Martins, por me coorientar. Sua ajuda e conhecimento foi essencial nesse trabalho. Obrigado pelas conversas, conselhos e incentivo.

Ao Drº Pablo Guimarães, colaborador dos estudos desenvolvidos nessa tese. Agradeço por me ensinar sobre microalgas e como cultivá-las, tudo que sei, aprendi contigo. Agradeço pelas dúvidas tiradas, pelas ajudas com os experimentos, colaboração e amizade durante esses anos de doutorado. Valeu!!

À professora Drª Fabiana Barbosa, pela amizade, ensinamentos e colaboração no estudo cienciométrico que realizamos.

Agradeço aos amigos que tive o prazer de conviver diariamente no laboratório. Yarin, minha colombiana preferida, obrigado pela amizade, pela ajuda com os experimentos, pelas ajudas com a estatística, por ter incentivado e ensinado a usar o R. Ana Cecilia e Isadora, obrigado por dar suporte nos experimentos. Bruno, obrigado por ajudar nos ensaios de GST. Sua ajuda foi super necessária. Aos amigos que o doutorado me trouxe e que deixaram a trajetória mais leve, Roxana, Manuela, Andrea, Rafael e Cláudio. À Larissa, que me apoiou e me ajudou desde a seleção no doutorado. À Gabriela, amizade que vou levar pra vida toda. Ao meu “cão”panheiro Gregory, esse foi um companheiro essencial. Aos profissionais Isabel Mendes e Arthur Pereira e também ao cloridrato de sertralina que ajudaram a manter minha saúde mental “controlada”.

À professora Drª Liliana Rodrigues, coordenadora do Laboratório de algas perifíticas da Universidade Estadual de Maringá (UEM), por me receber para um

estágio em seu laboratório e ao Ubirajara que ajudou na identificação das microalgas usadas nesse estudo.

À professora e colaboradora Dr^a Ana Teresa Lombardi, coordenadora do laboratório de Biotecnologia de Microalgas da Universidade Federal de São Carlos, (UFSCar) por me receber em seu laboratório para um estágio de mobilidade e dar todo o suporte para que realizássemos os experimentos relacionados à fotossíntese. Às amigas que fiz no laboratório e que ajudaram bastante nos experimentos, Jaqueline e Douglas. Jaque! Obrigado pela paciência e por sempre estar disponível.

Ao programa de Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PPGBAC), e os professores que fazem parte desse programa, que me trouxeram muito conhecimento e que aprendi a admirar: Professora Fabiana Schneck, professor Rogério Vianna e os anfitriões do meu primeiro churrasco gaúcho, professor Cleber e professora Edélti. Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande (FURG) por ser casa por esses anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Internacional para a Ciência, Estocolmo, Suécia, co-financiada pela Organização para a Proibição de Armas Químicas (OPCW) pelo financiamento desse trabalho.

E por fim, mas não tão menos importante, à Deus.

RESUMO

A atrazina (ATZ) é um herbicida utilizado no controle de ervas daninhas na agricultura. Entretanto, têm sido encontrada frequentemente em ecossistemas aquáticos, afetando a saúde de organismos não-alvo, como as microalgas, que desempenham funções cruciais para a manutenção desses ecossistemas. O objetivo geral dessa tese foi avaliar a evolução dos estudos ecotoxicológicos com a ATZ e como as características das microalgas poderiam prever a sua toxicidade para diferentes espécies da classe Chlorophyceae. No primeiro capítulo foram respondidas perguntas como: (i) Qual a tendência global de estudos desenvolvidos avaliando o efeito do herbicida ATZ? (ii) Quais os efeitos biológicos avaliados? (iii) Em que grupos de organismos? Para responder a essas perguntas foi realizado um estudo cienciométrico avaliando a evolução da pesquisa sobre ATZ durante o período de 1959 a 2019, na categoria de Toxicologia da *Web of Science*. Analisamos também a utilização de microalgas e cianobactérias como modelos biológicos para testes de toxicidade com ATZ. Mostramos um aumento no número de publicações científicas durante o período estudado. Embora as microalgas sejam organismos bastante afetados, apenas 7,5% dos 988 estudos compilados avaliavam efeitos da ATZ nesse grupo. Esses achados apontam aos pesquisadores e agências de fomento, as lacunas no conhecimento sobre os efeitos tóxicos da ATZ, e nortear o desenvolvimento de novos projetos de pesquisa e de políticas ambientais. No segundo capítulo foram respondidas as perguntas: (i) Microalgas da classe Chlorophyceae apresentam diferentes níveis de tolerância à ATZ? (ii) Que características intrínsecas dessas espécies poderiam ser preditoras na diferença dessa tolerância? (iii) A inibição da fotossíntese é um possível mecanismo de toxicidade da ATZ em microalgas? A resposta sobre a diferença na tolerância foi obtida através da análise do efeito da ATZ na inibição do crescimento de sete espécies de microalgas verdes. Para descobrir possíveis preditoras, as características morfológicas, fisiológicas, fotossintéticas e bioquímicas dessas espécies foram correlacionadas com os níveis de tolerância demonstrados. Em relação ao mecanismo de toxicidade, as algas foram expostas à ATZ e o rendimento fotossintético foi avaliado. Foi observado que as algas menos tolerantes apresentaram maiores taxas fotossintéticas e menores níveis de atividade da enzima glutathione *S*-transferase (GST) e teor de clorofila-*a*. Já as mais tolerantes apresentaram maior biovolume, ou seja, células maiores apresentam uma maior tolerância à ATZ. Os resultados indicam que a área celular, teor de clorofila-*a*, os níveis fotossintéticos e a biotransformação de GST em combinação, podem ser potenciais preditores para a tolerância de espécies de Chlorophyceae para ATZ. Também foi constatado que a fotossíntese é inibida de forma semelhante em todas as espécies de microalgas quando expostas

às concentrações tóxicas equivalentes (EC30) de ATZ. Isto corrobora a ideia de que a inibição da fotossíntese seja o principal mecanismo de toxicidade deste herbicida em microalgas.

Palavras-chave: algas verdes, bibliometria, ecotoxicologia, pesticida, sensibilidade.

ABSTRACT

Atrazine (ATZ) is a herbicide used to control weeds in agriculture. However, they have been frequently found in aquatic ecosystems, affecting the health of non-target organisms, such as microalgae, which play crucial roles in the maintenance of these ecosystems. The general objective of this thesis was to evaluate the evolution of ecotoxicological studies with ATZ and how the characteristics of microalgae could predict their toxicity to different species of the Chlorophyceae class. In the first chapter, questions such as: (i) What is the global trend of studies developed evaluating the effect of the ATZ herbicide? (ii) What are the biological effects evaluated? (iii) In which groups of organisms? To answer these questions, a scientometric study was carried out evaluating the evolution of research on atrazine during the period from 1959 to 2019, in the Toxicology category of the Web of Science. We also analyzed the use of microalgae and cyanobacteria as biological models for ATZ toxicity tests. We show an increase in the number of scientific publications during the period studied. Although microalgae are highly affected organisms, only 7.5% of the 988 compiled studies evaluated the effects of ATZ in this group. These findings may point out to researchers and funding agencies the gaps in knowledge about the toxic effects of ATZ and guide the development of new research projects and environmental policies. In the second chapter, the questions were answered: (i) Do microalgae of the Chlorophyceae class present different levels of tolerance to ATZ? (ii) What intrinsic characteristics of these species could be predictors of the difference in this tolerance? (iii) Is the photosynthesis inhibition a possible mechanism of ATZ toxicity in microalgae? The answer on the difference in tolerance was obtained by analyzing the effect of ATZ on the growth inhibition of seven species of green microalgae. To discover possible predictors, the morphological, physiological, photosynthetic, and biochemical characteristics of these species were correlated with the presented tolerance levels. Regarding the mechanism of toxicity, the algae were exposed to ATZ, and the photosynthetic yield was evaluated. It was observed that the less tolerant algae showed higher photosynthetic rates and lower levels of activity of the enzyme glutathione S-transferase (GST) and chlorophyll-*a* content. On the other hand, the more tolerant ones presented greater biovolume, that is, larger cells present greater tolerance to ATZ. The results indicate that cell area, chlorophyll-*a* content, photosynthetic levels and GST biotransformation in combination may be potential predictors for the tolerance of Chlorophyceae species to ATZ. It was also found that photosynthesis is similarly inhibited in all microalgae species when exposed to equivalent toxic concentration (EC30) of ATZ. This corroborates the idea that the inhibition of photosynthesis is the main mechanism of toxicity of this herbicide in microalgae.

Key-words: green algae, bibliometry, ecotoxicology, pesticide, sensitivity.