RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 27/10/2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Francisco de Paula Severo da Costa Neto

Habitat use, trophic structure and functional diversity of fish in karst streams in the Brazilian Midwest

São José do Rio Preto
2021

Francisco de Paula Severo da Costa Neto

Habitat use, trophic structure and functional diversity of fish in karst streams in the Brazilian Midwest

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Biologia Animal, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Profª. Drª. Lilian Casatti

São José do Rio Preto

2021

S498h

Severo-Neto, Francisco
Habitat use, trophic structure and functional diversity of fish in karst streams in the Brazilian Midwest / Francisco Severo-Neto. -- São José do Rio Preto, 2021
122 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientadora: Lilian Casatti

1. Ecologia animal. 2. Ictiologia. 3. Comunidades ecológicas. 4. Riachos cársticos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Francisco de Paula Severo da Costa Neto

Habitat use, trophic structure and functional diversity of fish in karst streams in the Brazilian Midwest

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Biologia Animal, junto ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de São José do Rio Preto.

Comissão Examinadora

Profª. Drª. Lilian Casatti
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Profª. Drª. Mônica Ceneviva Bastos
Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro

Prof. Dr. Camilo Andrés Roa-Fuentes
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC

Prof. Dr. Maurício Cetra
Universidade Federal de São Carlos – São Carlos

Profª. Drª. Denise de Cerqueira Rossa Feres
UNESP – Câmpus de São José do Rio Preto

São José do Rio Preto

27 de outubro de 2021

A todos aqueles que acreditaram, inclusive eu.

AGRADECIMENTOS

Essa é uma Tese escrita basicamente por minhas duas mãos, mas que envolve tanta gente junto que eu espero fazer jus em palavras a tudo aquilo que me foi presentado por tantas pessoas maravilhosas, não só nesses quatro anos, mas por toda minha jornada.

Primeiramente, aos meus pais, João e Vera. Por sempre me darem suporte, amor, carinho, cuidado e tudo o mais que uma pessoa pode pedir. Todo esse caminho não seria possível se vocês não tivessem me estimulado e apoiado desde os primeiros aquários lá com 6 anos, quando começou toda essa paixão por peixes que me acompanha e fortalece até hoje. Aos meus irmãos, João Paulo e Ana Paula. Mesmo que a vida tenha separado a gente geograficamente por um tempo, vocês sempre estiveram e estarão no meu coração. Aos meus sobrinhos, Juína e Liduardo, por serem essas pessoinhas que me dão gás, me agitam, me expõem a essa alegria de ser tio, diariamente. A minha tia Nyda, por ter me recebido nos dias em que estive em Rio Preto, sempre com muito carinho e fazendo aquele strogonoff maravilhoso. Ao meu vô Sebastião, por ser realmente esse bastião de pessoa. Por toda essa sabedoria, exemplo, força e coragem que taí esbanjando dos seus 92 anos. Suas fotos de pescaria no projetor de slides antigo e todas as conversas pelo Pantanal, antes mesmo de eu saber onde ficava isso, foi a sementinha que hoje me fez ser completamente apaixonado por esse lugar e me sentir tão em casa nele. Como se ainda estivesse lá sentado no chão da sua sala comendo pipoca e ouvindo tudo com uma curiosidade gigantesca.

Aos meus colaboradores, Karol, Jaque e Fábio, que me ajudaram demaaais nesses finalmente, fosse com estatística, escrita ou motivação. Vocês são maravilhosos!

Às pessoas que foram fundamentais na minha vida, principalmente nesse último ano. Meu amigo Heriberto. Que honra poder te chamar de meu amigo, meu amigo. Você foi e é tão importante pra mim, em momentos que nem imagina. Obrigado por tudo. Por todos os campos, as conversas, por compartilhar todo seu amor pelos peixes, pela nossa trajetória

desde as reuniões na casa da sua mãe comendo bolo e tomando café. À Manu. Pela atenção, amizade, carinho, ensinamentos e por me fazer rir tantas vezes. Vocês dois são extremamente importantes e representam muito pra mim. Vocês acreditaram em mim quando eu mesmo duvidei. Difícil colocar em palavras quando a vontade era abraçar vocês e dizer tudo pessoalmente. Mas obrigado. De coração.

Ao Fábio Roque e Fundação Neotrópica, junto com Rodolfo, Anderson e Bruno, pelas coletas no rio Formoso através do Projeto Observágua.

À Tamires, pelos anos de companheirismo, paciência, compreensão e respeito. À Brigite, Frida, Amora, Miumiu e Afonso por serem esses seres maravilhosos que tanto amor me deram ao longo dos anos.

Aos meus amigos André, Cássio e Rafael. Nossa, vocês sempre surgiram na hora certa. Obrigado por todo o apoio, atenção, cuidado e risada que vcs me proporcionaram.

À ZUFMS, nas pessoas do Thomaz, Lili e Gustavo, por toda a ajuda, parceria e amizade. Por termos virado uma família.

Ao Ibilce e professor Kiko Langeani, por todo o apoio durante esses anos em que esteve diante da coordenação do programa;

Aos membros da banca, Profª. Drª. Mônica Ceneviva Bastos, Prof. Dr. Camilo Andrés Roa-Fuentes, Prof. Dr. Maurício Cetra e Profª. Drª. Denise de Cerqueira Rossa Feres, por dedicarem seu tempo e suas contribuições;

Ao Otávio. Pelas primeiras orientações. Por compartilhar comigo tanto conhecimento. Por ter me apresentado à Serra da Bodoquena. Pelos peixes. Pelas conversas sobre céu, a Terra, a água e o ar. Por ter me “ensinado” que os buracos nas rochas são feitos pelos *Ancistrus* girando bem rápido com os bigodes pra frente. Por ter sido meu confidente, meu pai postiço, meu amigo. Por ter esperado eu te visitar antes de partir. Por tudo. Fique bem. Saudades.

À Lilian, minha orientadora. Acho que você não tem ideia de qual honrado eu fico de te chamar de minha orientadora. Você é uma pesquisadora maravilhosa que eu já admirava (inclusive o primeiro artigo que eu li sobre peixes era seu), antes de ver a pessoa maravilhosa que você é. Obrigado pela oportunidade de ser seu aluno e de darmos esse passo juntos. Obrigado por toda atenção, compreensão, por me ajudar em diversos momentos e por acreditar em mim. Eu espero muito poder compartilhar outros trabalhos com você, já que distância e pandemia dificultaram um pouco a proximidade que eu gostaria. Mas foi lindo. Obrigado.

Ao Pantanal que tantas alegrias já me deu nesses 16 anos. Tanta história, aventura, perrengue, bicho, peixe, planta. E que agora queima enquanto eu escrevo essa Tese. Que hajam dias melhores pra você e que as pessoas tenham mais noção do quanto é importante.

Aos peixes que, desde pequeno, me ajudaram tanto a passar por crises e dificuldades, sem ter a menor consciência disso. Por estarem lá vivendo a vida deles tranquilamente enquanto tentamos encontrar padrões e encaixotá-los em espécies e categorias. Por ser o grupo de vertebrados mais legal do planeta (que me desculpem os outros, mas é verdade). Por tanta coisa que pude alcançar sendo uma ferramenta pra transmitir o que vocês não podem falar. Assim como o Pantanal, que sejam mais valorizados. Não no futuro, mas agora. Que seus ambientes sejam protegidos e não destruídos ou negligenciados para que as gerações futuras possam amá-los, assim como eu amo. Obrigado.

Nesse Mato Grosso desde os tempos de menino
Quando eu comecei a percorrer os seus caminhos
E desse chão eu fiz o meu lugar
Nos meus sonhos quis plantar
E a colheita há de vir (SATER, 1996)

RESUMO

Sistemas cársticos constituem ambientes único no mundo. Sua geomorfologia se baseia em rochas carbonáticas que agem como um filtro natural na hidrologia, resultando em ambientes aquáticos de alta transparência e beleza cênica extraordinária. Além de seu apelo visual, contribuem diretamente com o consumo de água por uma grande parcela da população mundial. Apesar destes fatores, ambientes cársticos são ameaçados pela ação humana, seja diretamente através da modificação do ambiente ou contaminação dos leitos por agentes defensivos e fertilizantes provindos do sistema agropecuário, ou indiretamente pelo aquecimento global. No Brasil, ambientes cársticos estão representados em sua maior parte na região Nordeste e Sudeste. Na região Centro-Oeste, próximo à fronteira com o Paraguai encontra-se o único sistema cárstico no estado de Mato Grosso do Sul, a Serra da Bodoquena, que consiste de um platô inserido na borda sul da bacia do Alto Paraguai, cujos tributários drenam para a planície do Pantanal Brasileiro. Trata-se de uma região mundialmente conhecida pelo turismo ecológico, especialmente para as atividades envolvendo seus rios cristalinos e a fauna de peixes residente. Embora a riqueza de espécies de peixes da região tenha seu consequente apelo no turismo e na manutenção da biodiversidade como um todo, informações básicas sobre sua biologia ainda são incipientes. Mais ainda, a região tem passado por mudanças quanto às atividades econômicas principais, com a substituição de pastagens por lavouras, porém, o consequente impacto dessas mudanças sobre peixes ainda é desconhecido. Sendo assim, o objetivo geral dessa Tese foi compreender como as espécies utilizam o ambiente (Capítulo 1), os recursos alimentares (Capítulo 2) e o efeito da paisagem na composição das comunidades (Capítulo 3). Para atingir esses objetivos, lançamos mão da classificação das espécies em grupos tróficos funcionais, que permitem a compreensão do uso da dimensão espacial pelos peixes dentro dos córregos e como e onde os recursos são obtidos

por eles (Capítulo 1). Conhecendo o uso do espaço pelos peixes, determinamos quais itens fazem parte da dieta das espécies e como elas se relacionam na teia trófica regional (Capítulo 2). Encerramos investigando como a elevação e uso do solo atua sob a substituição de espécies e/ou atributos funcionais (Capítulo 3). Em suma, encontramos que: (1.) a maior parcela de peixes da região é de pequeno porte e contribui diretamente na riqueza de grupos funcionais tróficos; (2.) a dieta das espécies consiste basicamente de itens provenientes de fora do ambiente aquático e a rede trófica da comunidade apresenta alto grau de especialização, aninhamento e modularidade. Em outras palavras, um mesmo recurso pode ser partilhado entre várias espécies; entretanto, há aquelas que se especializam em determinado item, o que resulta na compartimentalização da comunidade com relação ao tipo de recurso consumido; (3.) A substituição de espécies/atributos funcionais não se relacionou com o uso do solo, mas sim com a altitude, mostrando que, no primeiro caso, fatores estocásticos estão envolvidos e no segundo, ambientais. Em conclusão, o conjunto de espécies de peixes da Serra da Bodoquena apresenta únicos padrões de uso de habitat, um reflexo da imposição ambiental da região, como uso de corredeiras; peixes pequenos usam principalmente margens e representam a maior parcela da riqueza da comunidade, evidenciando um padrão Neotropical; a partilha de recursos é alta e dependente de itens alóctones; e, no contexto da bacia do Alto Paraguai, o padrão singular de altitude da região é um fator fundamental na manutenção da diversidade de peixes.

Palavras–chave: Ictiologia. Comunidades. Água doce. Interações tróficas. Ecomorfologia. Diversidade Beta. Bacia do Alto Rio Paraguai. Serra da Bodoquena.

ABSTRACT

Karst systems constitute unique environments in the world. Its geomorphology is based on carbonate rocks that act as a natural filter in the hydrology, resulting in highly transparent aquatic environments and extraordinary scenic beauty. In addition to their visual appeal, they directly contribute to water consumption by a large portion of the world's population. Despite these factors, karst environments are threatened by human action, either directly through the modification of the environment or contamination of beds by defensive agents and fertilizers from the agricultural system, or indirectly by global warming. In Brazil, karst environments are mostly represented in the Northeast and Southeast regions. In the Center-West region, close to the border with Paraguay, the only karst system in the state of Mato Grosso do Sul is the Serra da Bodoquena which consists of a plateau inserted in the southern edge of the Upper Paraguay River basin, whose tributaries drain into the plain of the Brazilian Pantanal.

It is a region known worldwide for ecological tourism, especially for activities involving its crystalline rivers and resident fish fauna. Although the richness of fish species in the region has its consequent appeal for tourism and the maintenance of biodiversity as a whole, basic information about their biology still incipient. Furthermore, the region has undergone changes in terms of its main economic activities, with the replacement of pastures by crops, but the consequent impact of these changes on fish is still unknown. Therefore, the general objective of this Thesis was to understand how species use the environment (Chapter 1), the feeding resources (Chapter 2), and the effect of landscape on community composition (Chapter 3). To achieve these goals, we use the classification of species into functional trophic groups, which allow us to understand the use of the spatial dimension by fish within streams and how and where resources are obtained by them (Chapter 1). Knowing the use of space by fish, we determine which items are part of the species' diet and how they are related in the regional

food web (Chapter 2). We close by investigating how elevation and land use act under the replacement of species and/or functional attributes (Chapter 3). In summary, we found that: (1.) the largest portion of fish in the region is small and contributes directly to the richness of trophic functional groups; (2.) the species' diet basically consists of items from outside the aquatic environment and the trophic network of the community presents a high degree of specialization, nestedness and modularity. In other words, the same resource can be shared among several species, although there are those that specialize in a certain item, which results in the compartmentalization of the community in relation to the type of resource consumed; (3.) The replacement of species/functional attributes was not related to land use, but rather to altitude, showing that, in the first case, stochastic factors are involved and, in the second, environmental ones. In conclusion, the set of fish species in Serra da Bodoquena presents unique patterns of habitat use, a reflection of the environmental imposition of the region; small fish mainly use margins and represent the largest portion of the richness of the community, evidencing a Neotropical pattern; resource sharing is high and dependent on allochthonous items; and, in the context of the Upper Paraguay basin, the region's unique altitude pattern is a fundamental factor in maintaining fish diversity.

Keywords: Ichthyology. Communities. Freshwater. Interações tróficas. Ecomorfology. Beta diversity. Upper Paraguay River basin. Serra da Bodoquena.

Summary

1 General Introduction	14
1.1 References	20
2 Chapter 1 - Functional trophic groups of fish fauna in headwater karst streams from Brazilian Midwest	25
2.1 Introduction	26
2.2 Methods	27
2.3 Results	30
2.4 Discussion	40
2.5 References	43
2.6 Supporting Material	48
3 Chapter 2 - Trophic structure and trophic network of the fish fauna in karst streams from the Upper Paraguay River basin	52
3.1 Introduction	53
3.2 Methods	56
3.3 Results	61
3.4 Discussion	64
3.5 References	69
3.6 Supporting Material	77
4 Chapter 3 – Fish taxonomic and functional diversity across elevation and deforestation gradients in karst streams from Brazilian Midwest	84
4.1 Introduction	85
4.2 Methods	88
4.3 Results	95
4.4 Discussion	102
4.5 References	107
4.6 Supporting Material	118
5 Synthesis	121

1 General Introduction

Karst systems are unique environments worldwide. Originally, its definition is based on bedrocks of carbonate limestones which are dissolved by the action of atmospheric carbon dioxide present on rainfall (Hartmann et al., 2014). Karst regions occupy 7-12% of the Earth's continental area and their aquifers represent a source of water to almost a quarter of the world's population (Ford & Williams, 2007). Despite their meaningfulness, the integrity of theses systems is threatened by the human action, as contaminations through fertilizers and pesticides, growing water demand for agriculture and as a response to climate change (Hartmann et al., 2014). In Brazil, karst systems can be found mostly in the Northeast and Southeast regions (Ferreira & Uagoda, 2020). In the Central Western Brazil, this geomorphology occurs in the the Serra da Bodoquena region (Figure 1). Comprised by a 200 km length strip that extends in the north-south direction (Sallun-Filho & Karmann, 2007), Serra da Bodoquena is a remarkable ecosystem located on the southeastern portion of the Upper Paraguay River basin. Moreover, whilst most bedside streams of this drainage, and consequently of the Pantanal, flow of arenitic Cerrado plateaus from the eastern border, this karst system holds one of the largest Mata Atlântica remnants in Mato Grosso do Sul state. The crystallinity of its waters, due the action of the dissolved limestone makes this region known worldwide, becoming one of the most touristic sites in the country, receiving an amount of about 150.000 tourists a year (OTEB, 2020).

In the Western border of Serra da Bodoquena lies the Parque Nacional da Serra da Bodoquena (PNSB; Figure 2). Created in 2000, the PNSB is the single federal conservation unit of integral protection in Mato Grosso do Sul state and its importance reach regional and national scales since: I) belongs to the Cerrado-Pantanal corridor, a large planning unit that seeks to reconcile nature conservation with responsible economic development according to the social characteristics of the region; II) is inserted in the core zone of the Reserva da

Biosfera da Mata Atlântica; III) surrounds the Reserva Indígena Kadiwéu (538.536 hectares); besides, it is a fundamental part of the Reserva da Biosfera do Pantanal, holds watersheds that supplies the region's main hydrographic basins and shelters the largest remnant of deciduous seasonal forest Mato Grosso do Sul state (Brasil, 2021). Thereby, this region is considered an extremely high priority area for conservation according to the Mapa das Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira, elaborated by PROBIO and Secretaria de Biodiversidade e Florestas (Brasil, 2007).

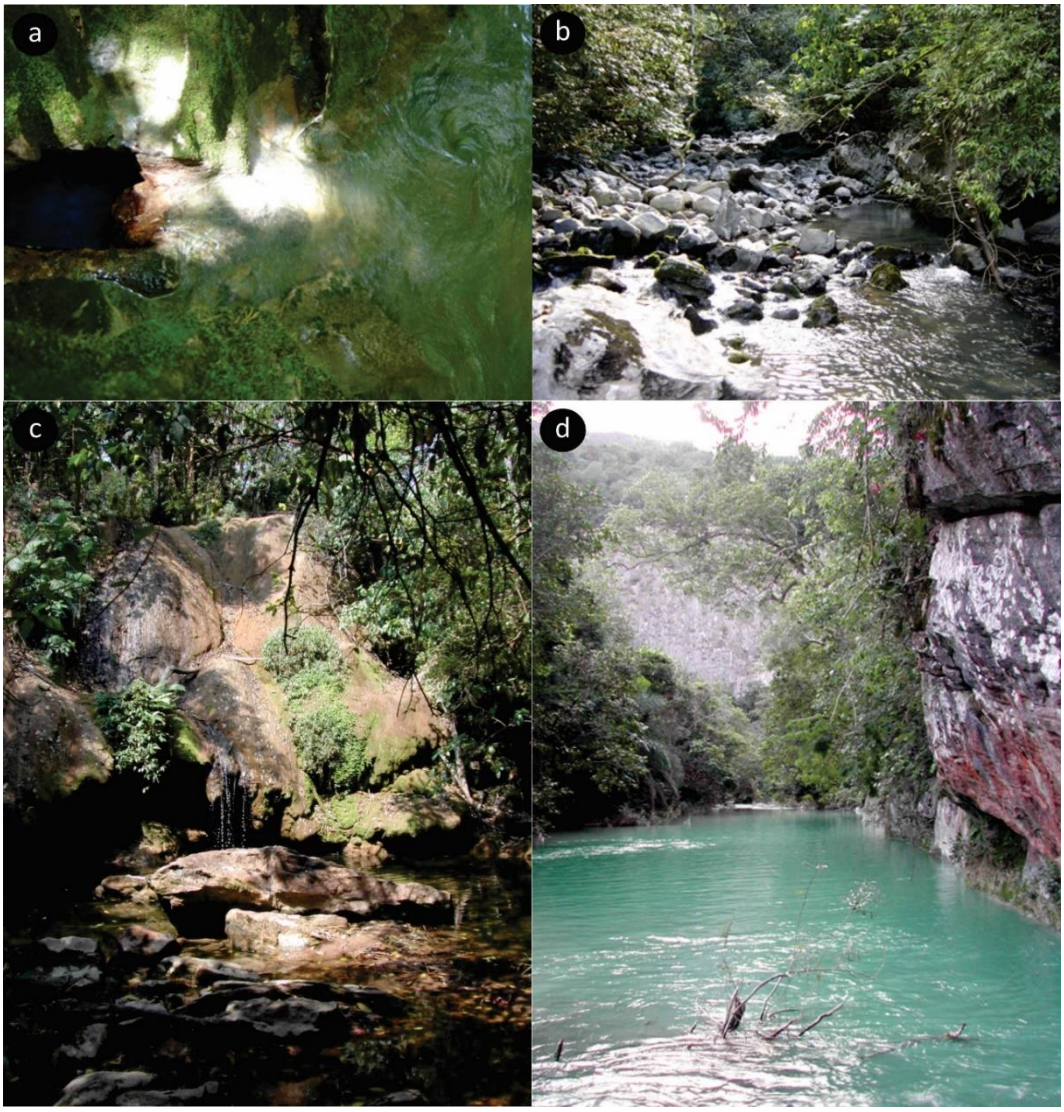

Figure 1 – Typical karst formations in Serra da Bodoquena streams, Western Brazil. A - “Sumidouro” in the Perdido River drainage. B – Ressurgence in Santa Maria stream. C – Formation of limestone “tufas”. D – Rocky wall and riparian forest in the stream surroundings. Source: Extracted from Vilela et al. (2020).

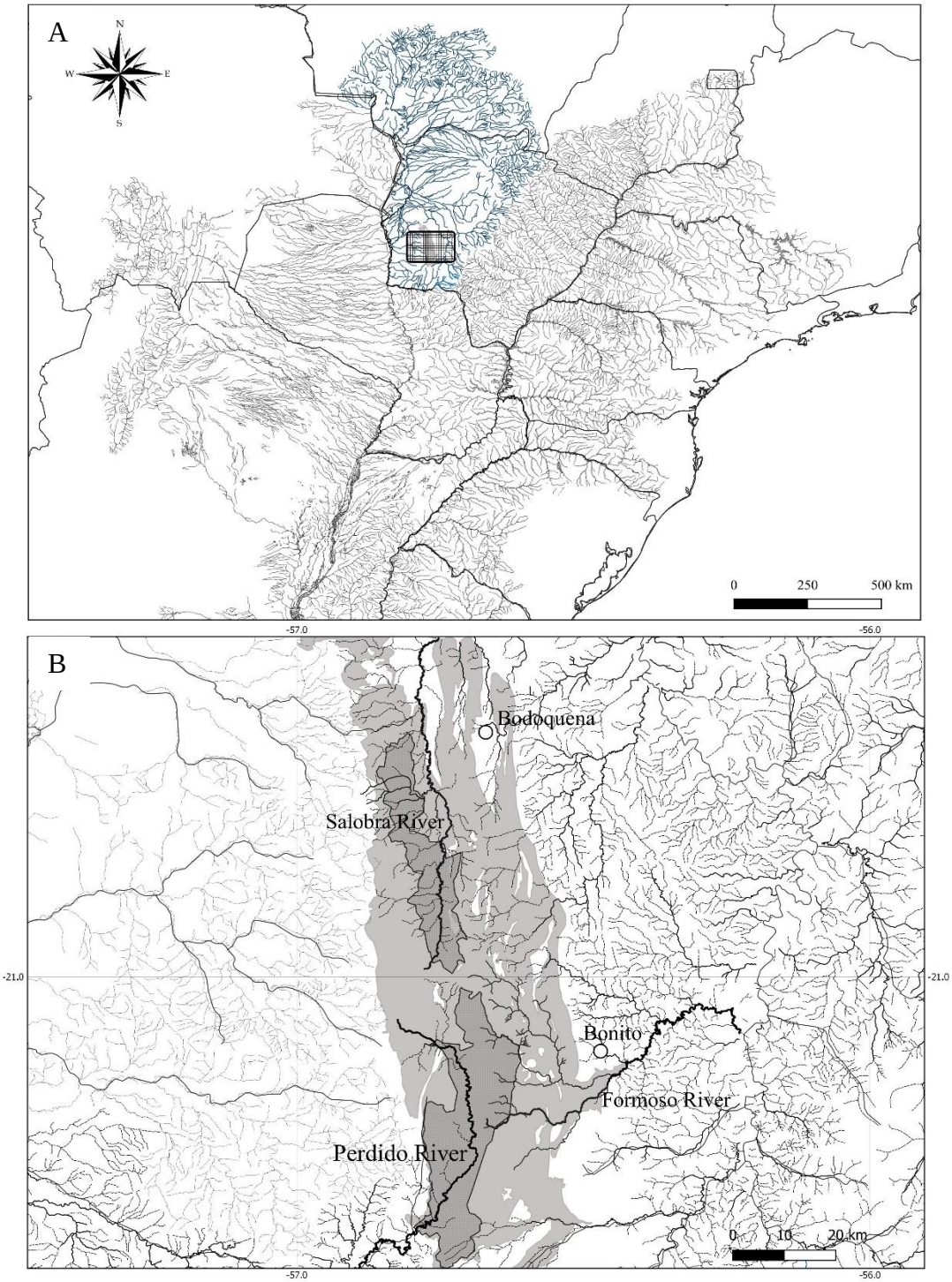

Figure 2. A – Location of Serra da Bodoquena within the Upper Paraguay River basin, the upper drainage of La Plata system. B – Grey area represents the carbonate rocks of Serra da Bodoquena; shaded area the Parque Nacional da Serra da Bodoquena, and the rivers which are focus of this Thesis. Source: Prepared by the author.

The park covers an area of about 76,000 hectares split in two portions, North and South, with distinct geomorphological features. In the North portion, the main drainage belongs to Salobra River, a tributary of Miranda watershed, with the occurrence of rivers carved in canyons, where the western edge of the mountain has steep cliffs and deep and narrow recesses, while the South portion presents a less steep landscape and the main drainage belongs to Perdido river, a tributary of Apa watershed, and springs of Formoso River, also of Miranda watershed. Although these drainages present mostly of its surroundings covered by original savanic and forest formation within the PNSB domains, their extensions are beyond the park limits. Salobra drainage cover an area of 250,000 hectares, Formoso and Perdido drainagens covers 125,000 and 72,000 hectares, respectively (Imasul, 2014). Across their range off the PNSB these rivers suffer the influence of landscape modification to agricultural or pastoral activities, urban effluents, marsh dredging, road crossing, in addition to direct and indirect impacts from the tourism, such as resource consumption, waste generation, infrastructure and acess to natural areas (Bessa et al., 2017).

Upper Paraguay River basin (UPRB) is part of the La Plata-Uruguay-Paraná-Paraguay system, which is the second largest drainage system in South America (Lowe-McConnell, 1987). In terms of fish richness, UPRB holds an amount of 350 fish species (Gimênes-Jr & Rech, 2021), of which 60 are represented in the PNSB (Vilela et al., 2020). However, despite efforts dating back to the year 2000, data about ecology, behavior, distribution, diet and taxomony of this group still incipient in the Serra da Bodoquena as a whole. A reflex of this unrecognized diversity lies on the seven new species described in the region from 2004 to 2021, beyond the undescribed ones from *Ancistrus*, *Astyanax*, *Australoheros* and *Hypostomus* genus, as example. Contrasting to these recent discoveries, human occupation and the land use conversion for livestock dates back to the 60s and the current large remnants of forests are located in steep areas, which makes access difficult (ICMBIO, 2013). In this way, is

paramount that effort that intend to acknowledge aspects of fish ecology in the region be done.

One of the most primordial aspect in relation to animal interactions concerns how organisms explore their habitat and use the resources. These data can elucidate interactions from pair of coexisting species (e.g., Freitas et al., 2017) up to the network of a whole community (Montoya et al., 2006) and, regarding to fish, its relations with the land-water interface. One of the most simple and efficient way to obtain this data is through direct observation of the fish in their natural habitat by snorkeling or diving. Although this technique is most employed on marine habitats, it has proven to be an efficient tool on Neotropical freshwater to gather information about: spatial patterns of habitat use (Ceneviva-Bastos et al., 2010; Romero & Casatti, 2012), nucler-follower interactions (Garrone-Neto & Carvalho, 2011; Teresa et al., 2011), activity patterns and feeding behavior (Sabino & Zuanon, 1998) and functional trophic groups (Sazima, 1986; Brejão et al., 2013; Casatti et al., 2001). Indeed, classification of the species within trophic groups represents a useful summarization of resource and habitat use which favours comparison between communities regardless the taxonomic hierarchy (Simberloff & Dayan, 1991). Complementary, data about diet of the species can present a more fine and detailed information over fish and their resource. In a general sense, fish morphology can favor or limit access to different resources (Matthews, 1998), so, the wide range of shapes in the mega diverse ichthyofauna from Neotropics becomes a challenge. Data about diet can unravel patterns of coexistence through the competitive exclusion principle (Zaret & Rand, 1971) and the role of the resource input derived from riparian forests and the effects of its removal (Lobón-Cerviá et al., 2016), as examples. Moreover, diet information brings up quality data about the food web of the ecosystems, which plays a major gap in the case of tropical freshwaters systems (Winemiller et al., 2008).

Notwithstanding the economic, cultural, touristic and biodiversity aspects of this emblematic region, Serra da Bodoquena also presents a unique feature in the Upper Paraguay River basin hydrology. Whilst most of this basin encompass the wide plains of Pantanal floodplain, reaching between 80 and 150 m.a.s.l., Serra da Bodoquena can reach up to 800 m.a.s.l. (Sallun Filho & Karmann, 2007). This feature contributes to the presence of high flowing streams and, consequently, fish species with adaptations to inhabit high flowing habitats. In a general sense, this kind of environmental restriction, associated with structural elements of the stream, acts as a filter of species in a way that the fish composition is expected to be heterogeneously distributed along the water course (Poff, 1997). Moreover, land use in the streams' surroundings can influence the local composition and represents an additional filter to the community. The environmental filter acts to prevent species that do not have a certain set of characteristics from persisting under a particular set of environmental conditions, so it is considered one of the mechanisms that, together with the limiting similarity, dispersal and colonization-extinction of species, can explain the formation of the assemblages (Sobral & Cianciaruso, 2012).

The variation in species composition between communities in different locations is known as beta diversity (Whittaker, 1960). Beta diversity patterns can be generated by species turnover or richness difference, with nestedness being a special type of the latter (see Legendre, 2014). Turnover is interpreted as the exchange of species in an ecological gradient, due to environmental filters, limited dispersion or historical factors (Benone & Montag, 2021). Richness difference is the difference in the number of species between communities, which may be the result of uneven in the availability of niches or barriers to dispersal (Benone & Montag, 2021). However, the taxonomic facet is only one of those considered in the study of local and/or regional biodiversity, since there is a functional and phylogenetic facet (Cardoso et al., 2014; Pool et al., 2014). Beta functional diversity indicates the variation of

functional types between different communities and can be decomposed analogously to taxonomic beta diversity, that is, into turnover and nestedness (Villéger et al., 2013).

In this sense, this Thesis aims to bring up information about habitat use, trophic interactions and distribution patterns of fish from Serra da Bodoquena streams. More specifically, it relies on data collected from streams of Salobra, Formoso and Perdido watersheds, within and outside de PNSB boundaries, in different conditions of habitat integrity. In the first chapter, we explore the habitat use and food acquisition of fish, through direct observations of the individuals on snorkeling sessions in Serra da Bodoquena streams. These aspects of basic natural history are the first step to understand the auto ecology of the species and subside their conservation in a long-term. The second chapter approaches the trophic interactions between fish and their resources and the effect of these interactions in the architecture of the local food web. In conclusion, from the landscape perspective, the chapter three approaches the species distribution and the effects of land use and elevation on the functional and taxonomic beta diversity. In another words, how and whether the landscape influences the fish composition and shape along altitudinal and deforestation environmental gradients.

1.1 References

Bessa E, Silva F, Sabino J. 2017. Impacts of fish tourism. In DT Blumstein, B Geffroy, DSM Samia & E Bessa (Eds.), Ecotourism's promise and peril (pp. 59–72). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.

Benone N, Montag L. 2021. Métodos quantitativos para mensurar a diversidade taxonômica em peixes de riachos. Oecologia Australis, 25(2), 399–415.

Brasil. 2007. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de ações prioritárias para a convervação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade Brasileira. Brasília, MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas.

Brejão GL, Gerhard P, Zuanon J. 2013. Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. Neotropical Ichthyology, 11(2), 361–373.

Cardoso P, Rigal F, Carvalho JC, Fortelius M, Borges PA, Podani J, Schmera D. 2014. Partitioning taxon, phylogenetic and functional beta diversity into replacement and richness difference components. Journal of Biogeography, 41, 749–761.

Casatti L, Langeani F, Castro RMC. 2001. Peixes de riacho do Parque Estadual do Morro do Diabo, Bacia do Alto Rio Paraná, SP. Biota Neotropica, 1, 1–15.

Ceneviva-Bastos M, Casatti L, Rossa-Feres DC. 2010. Meso and microhabitat analysis and feeding habits of small nektonic characins (Teleostei: Characiformes) in Neotropical streams. Zoologia: an international journal for Zoology, 27: 191–200.

Ferreira CF, Uagoda RES. 2020. Um panorama sobre mapeamentos de dolinas no Brasil, feições elementares do carste. Revista Brasileira de Geografia Física, 13(1), 302–321.

Ford DC, Williams PW. 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology, Wiley, Chichester.

Freitas TMS, Montag LF, Barthem RB. 2017. Distribution, feeding and ecomorphology of four species of Auchenipteridae (Teleostei: Siluriformes) in Eastern Amazonia, Brazil. Iheringia, Série Zoologia, 107, e2017008.

Garrone-Neto D, Carvalho LN. 2011. Nuclear-follower foraging associations among Characiformes fishes and Potamotrygonidae rays in clean waters environments of Teles Pires and Xingu rivers basins, Midwest Brazil. Biota Neotropica, 11, 1–4.

Gimênes-Jr H, Rech R. 2021. Guia ilustrado dos peixes do Pantanal e entorno. Instituto do Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. In press.

Hartmann A, Goldscheider N, Wagener T, Lange J, Weiler M. 2014. Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches. Rev Geophys, 52(3), 218–242.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2013. Plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Bodoquena. Encarte 3 – Análise do PNSB. Available at www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/Encarte3_serra_da_bodoquena.pdf

Imasul (Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul). 2014. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Miranda. Available at http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2015/06/Diagn%C3%B3stico-Final-Plano-de-Bacia-Miranda.pdf

Legendre P. 2014. Interpreting the replacement and richness difference components of beta diversity. Global Ecology and Biogeography 23(11), 1324–1334.

Lobón-Cerviá J, Mazzoni R, Rezende CF. 2016. Effects of riparian forest removal on the trophic dynamics of a Neotropical stream fish assemblage: Riparian cover and stream dwelling fishes. Journal of Fish Biology, 89, 50–64.

Lowe-McConnell RH. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge, Cambridge University Press, 382p.

Matthews WJ. 1998. Patterns in freshwater fish ecology. Norwell, Chapman & Hall.

Montoya JM, Pimm SL, Solé RV. 2006. Ecological networks and their fragility. Nature, 442, 259.

OTEB (Observatório de Turismo de Bonito). 2020. Available in <https://otbonito.com.br/?page_id=268>. Acessed in Aug 23 2021.

Poff NL. 1997. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. Journal of North American Benthological Society, 16, 391–409.

Pool TK, Grenouillet G, Villéger S. 2014. Species contribute differently to the taxonomic, functional, and phylogenetic alpha and beta diversity of freshwater fish communities. Diversity and Distributions, 20, 1235–1244.

Romero RM, Casatti L. 2012. Identification of key microhabitats for fish assemblages in tropical Brazilian savanna streams. International Review of Hydrobiology, 97, 526–541.

Root RB. 1967. The niche exploitation pattern of the blue-gray gnat-catcher. Ecological Monographs, 37, 317–350.

Sabino J, Zuanon J. 1998. A stream fish assemblage in Central Amazonia: distribution, activity patterns and feeding behavior. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 8, 201–210.

Sater A. 1996. Milhões de Estrelas. Canção do album Caminhos me levem.

Sallun Filho W, Karmann I. 2007. Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil. Journal of Maps, 3, 282–295.

Sazima I. 1986. Similarities in feeding behavior between some marine and freshwater fishes in two tropical communities. Journal of Fish Biology, 29, 53–65.

Simberloff D, Dayan T. 1991. The guild concept and the structure of ecological communities. Annual Reviews of Ecology and Systematics, 22, 115–143.

Sobral FL, Cianciaruso MV. 2012. Estrutura filogenética e funcional de assembleias: (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. Bioscience Journal, 28, 617–631.

Teresa FB, Romero RM, Casatti L, Sabino J. 2011. Habitat simplification affects nuclearfollower foraging association among stream fishes. Neotropical Ichthyology, 9, 121–126.

Villéger S, Grenouillet G, Brosse S. 2013. Decomposing functional β- diversity reveals that low functional β- diversity is driven by low functional turnover in European fish assemblages. Global Ecology and Biogeography, 22, 671–681.

Vilela MJA, Severo-Neto F, Froehlich O, Carvalho FR. 2021. Ictiofauna do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil: composição e subsídios à conservação. Biotemas, 34(2), 1–23.

Whittaker RH. 1960. Vegetation of the Siskiyou mountains, Oregon and California. Ecological Monographs, 30(3), 279–338.

Zaret TM, Rand AS. 1971. Competition in tropical stream fishes: support for the competitive exclusion principle. Ecology, 52, 336–342.

5 Synthesis

Despite holding the status of one of the most well-conserved biomes, the future of the Pantanal is uncertain. In the plain, extreme annual wildfires and shifting on the flooding pulses can generate cascading processes which consequences still unknown. Besides, the highlands that harbors the headwater streams are threatened with siltation by erosion, agrochemicals and sewage input. In this sense, the knowledge of habits and distribution of fishes from Upper Paraguay River basin makes a fundamental tool not only upon a current conservation perspective, but also for restoration purposes.

Serra da Bodoquena has the potential to become a landmark in terms of stream's conservation and, from the ecosystem perspective, a source area to metapopulations across the entire basin, especially to small sized fish. During prolonged drought seasons in the Pantanal floodplain, the habitats that holds small species, as *baías*, dry completely, extinguishing, albeit on a small scale, populations of several fish species. In fact, a single *baía* can harbor more than a third of the amount of the species in the entire basin. Therefore, these habitats are true repositories of diversity and genetic pool of fishes which, in turn, plays essential roles on the ecosystem dynamics. However, while knowledge about ecosystem services of fish as fruit-eating and seed dispersal, prey-predator and host-parasite, and their relationships in the water-land interface still on its early years, the effects of climate change already can be seen in the Pantanal landscape. Consecutive dry seasons in the last years dried a large amount of *baías*, consequently driving to the loss of diversity and fish abundance in the environment. In this sense, the maintenance of small streams, which tend to be perennial, can be a key to avoid the simplification of fish communities in the Pantanal as a whole.

This Thesis sheds light not only about habitat use, resource partitioning and distribution of fishes from Serra da Bodoquena, but how interesting and underestimate fishes of Upper Paraguay River basin can be. We found that the set of fish species in Serra da

Bodoquena presents unique patterns of habitat use, which mirror the environmental imposition of the region, mostly altitude. The fish fauna is composed mainly by small fish that use margins and represent the largest portion of the richness of the community. Feeding partitioning is high and feeding is highly dependent on allochthonous items. In the context of the Upper Paraguay River basin, the region's unique altitude pattern is a critical factor in maintaining fish diversity among sites.