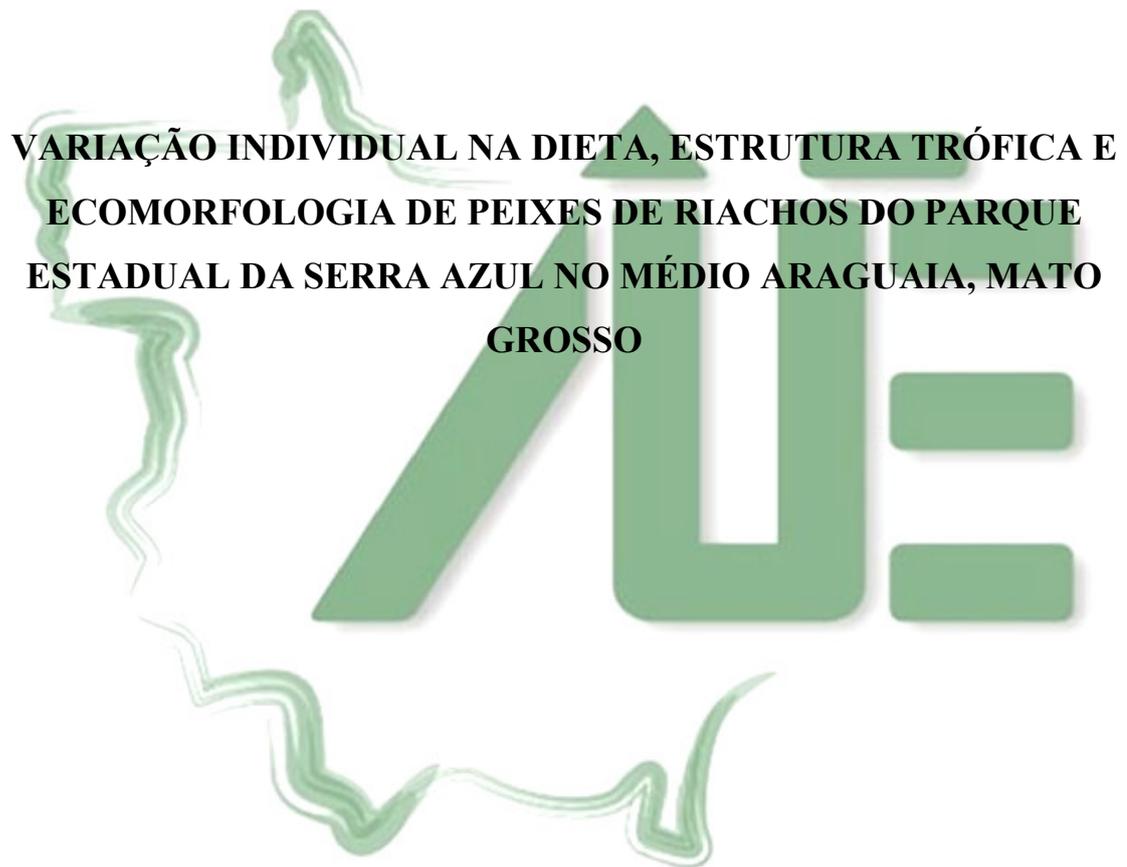


PABLO HENRIQUE FERNANDES SANTOS

**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA, ESTRUTURA TRÓFICA E
ECOMORFOLOGIA DE PEIXES DE RIACHOS DO PARQUE
ESTADUAL DA SERRA AZUL NO MÉDIO ARAGUAIA, MATO
GROSSO**



**NOVA XAVANTINA
MATO GROSSO – BRASIL
2016**

PABLO HENRIQUE FERNANDES SANTOS

**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA, ESTRUTURA TRÓFICA E
ECOMORFOLOGIA DE PEIXES DE RIACHOS DO PARQUE
ESTADUAL DA SERRA AZUL NO MÉDIO ARAGUAIA, MATO
GROSSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Pedro Vasconcellos Eisenlohr

Coorientador: Dilermando Pereira Lima Junior

**NOVA XAVANTINA
MATO GROSSO – BRASIL
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237v Santos, Pablo Henrique Fernandes.

Variação individual na dieta, estrutura trófica e ecomorfologia de peixes de riachos do Parque Estadual da Serra Azul no Médio Araguaia, Mato Grosso / Pablo Henrique Fernandes Santos. Nova Xavantina, 2016.

xi, 85 fls. ; Il.: 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

Orientador: Pedro Vasconcellos Eisenlohr

Coorientador: Dilermando Pereira Lima Junior

1. Peixes – Alimentação. 2. Dietas 3. Especialização alimentar. 4. Ecomorfologia. I. Título.

CDU: 639.3.043

Elaborada por: Geraldo Carlos da Silva – CRB1/2678
Bibliotecário da Universidade Federal de Mato Grosso – CUA/UFMT

**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA, ESTRUTURA TRÓFICA E
ECOMORFOLOGIA DE PEIXES DE RIACHOS DO PARQUE
ESTADUAL DA SERRA AZUL NO MÉDIO ARAGUAIA, MATO
GROSSO**

PABLO HENRIQUE FERNANDES SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso para obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 15 de junho de 2016, pela BANCA EXAMINADORA:

Dr. Pedro Vasconcellos Eisenlohr
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
Campus de Alta Floresta
Orientador

Dr. Paulo Cesar Venere
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Campus de Cuiabá
Membro Titular

Dr. Roberto Leung
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Campus do Araguaia
Membro Titular

Dr. Dilermando Pereira Lima Júnior
Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Campus do Araguaia
Membro Suplente

Dr. Ricardo Keichi Umetsu
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
Campus de Nova Xavantina
Membro Suplente

À minha família, pela paciência, colaboração, apoio e esforço concedidos para minha formação profissional.

Aos meus pais, Julio e Edimar.

À minha querida irmã Barbara.

A mim.

Aos meus amigos e colegas.

À natureza, mundo natural de infinita beleza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me fornecer as condições, perseverança e motivação necessárias durante minha vida acadêmica.

À minha família pelo apoio e confiança. Aos meus pais Julio Santos e Edimar Fernandes pelo amor e incentivo, e à minha irmã Barbara Santos pelo motivo de seguir em frente, por vocês fazerem tudo isso merecer o esforço.

Aos Professores Pedro Eisenlohr, orientador, e Dilermando Lima, coorientador, pelos conhecimentos transmitidos, ensinamentos e direção no caminho da pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de estudo.

A toda a população brasileira, que com seu trabalho contribui para a existência das bolsas de estudos distribuídas aos discentes do mestrado, as quais permitem a nossa manutenção e sobrevivência ao longo do curso.

Ao Projeto PPBio (financiado pelo CNPq, PROCESSO: 457497/2012-2), sob a coordenação do Prof. Fernando Pedroni, que pela Rede ComCerrado (Núcleo Araguaia) permitiu a aquisição de materiais indispensáveis para o desenvolvimento de minha pesquisa. Da mesma forma, agradeço à FAPEMAT, PRONEX, PROAP e PROCAD.

À Universidade do Estado de Mato Grosso, em especial ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, campus de Nova Xavantina, pela grande oportunidade, espaço acadêmico e incentivos. Agradeço aos professores do curso de mestrado por todo o apoio, incentivo e esforço empreendidos.

À Universidade Federal de Mato Grosso, em especial ao Laboratório de Ecologia de Ecossistemas Aquáticos do Cerrado, sob a responsabilidade do Prof. Dilermando Lima, por ter concedido espaço e material necessário para desenvolver minhas pesquisas, desde as coletas de campo e amostragens em laboratório até a confecção da dissertação.

Ao laboratório do Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura da Universidade Estadual de Maringá, que me proporcionou espaço para treinamento em análise de dietas de peixes com a supervisão de Natalia Carniatto e sob a responsabilidade de Rosemara Fugli. Agradeço imensamente a ambas por terem me proporcionado estágio em Maringá, momento este que foi o pontapé inicial para minha especialidade em ecologia trófica de peixes de riachos ainda na graduação e que me forneceu base para continuar nesta linha de pesquisa no mestrado.

Ao Professor Roberto Leung, que me orientou na graduação, me incentivou a trabalhar com ecologia trófica de peixes de riachos e também me incentivou a chegar ao mestrado.

Ao Professor Paulo Venere (UFMT), pelas contribuições técnicas e literárias.

À Professora Maryland Sanchez (UFMT), pela identificação das flores de Myrtaceae encontradas na dieta de *Astyanax xavante*.

Ao Fagner Júnior Oliveira, amigo de turma e de pesquisa durante todo o mestrado. Agradeço imensamente toda a ajuda fornecida na preparação de materiais para coleta, trabalho de campo e de laboratório.

Ao Luciano Lima, que, assim como o Fagner, ajudou no trabalho de campo, identificação das espécies e no trabalho em laboratório.

À equipe de coleta em campo, formada pelo Professor Dilermando Lima, Professor Sérgio Oliveira, Fagner, Luciano, Rosângela Strutz, João Carlos Oliveira, Lucas Moura e Augusto Hencke.

Agradeço a companhia dos demais integrantes da equipe de laboratório formada pela Professora Vanessa Abril, Cida Menes, Mariana Cristina, Lucas Heber, Lázaro Moura e o nosso saudoso “Seu” Antônio.

À ajuda imprescindível de Deimison Oliveira na triagem de dados em laboratório.

Ao Lucas Moura, pela construção esquemática das espécies de peixes em formato de desenho.

À Ana Clara Sousa, pela companhia durante o tempo em que residi em Nova Xavantina. Ao Jefferson Eduardo, pelo acolhimento em sua casa. Ao Everton Maciel, pelo acolhimento durante o tempo em que residi em Alta Floresta. Ao Eduardo Marques, pelas risadas e conversas descontraídas.

Agradeço a todos que foram aqui citados, família, amigos e colegas, e aqueles que a memória não me permite lembrar, mas que se sintam merecedores do meu agradecimento por terem contribuído direta ou indiretamente na construção deste sonho, por torná-lo realidade, por deixarem os dias menos tediosos, pelas piadas “sem graça” e aquelas que suscitaram gargalhadas estupendas, aqui vai o meu grande abraço e gratidão. Valeu! Obrigado por tudo!

Estamos na situação de uma criancinha que entra em uma imensa biblioteca, repleta de livros em muitas línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros, mas não sabe como. Não compreende as línguas em que foram escritos. Tem uma pálida suspeita de que a disposição dos livros obedece a uma ordem misteriosa, mas não sabe qual ela é.

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
FORMATAÇÃO	8
ARTIGO I.....	9
A VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA ESTÁ CORRELACIONADA COM A ECOMORFOLOGIA DE <i>Astyanax xavante</i> (Characidae)? IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS, EVOLUTIVAS E CONSERVACIONISTAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3 RESULTADOS	23
4 DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÕES	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ARTIGO II	40
A ECOMORFOLOGIA PREDIZ A ALIMENTAÇÃO EM TRÊS COMUNIDADES DE PEIXES DE RIACHOS NO BRASIL CENTRAL	40
RESUMO	41
ABSTRACT	42
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3 RESULTADOS	50
4 DISCUSSÃO	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
CONCLUSÕES GERAIS	68
APÊNDICES	69
ANEXO	85

RESUMO

Populações e comunidades de peixes de riachos frequentemente apresentam substancial variação morfológica e alimentar, sendo os hábitos alimentares fortemente correlacionados com a morfologia. Ao nível de população, avaliamos o grau de especialização alimentar em uma espécie de caracídeo endêmica e sua relação com a morfologia. Ao nível de comunidade, avaliamos a relação entre a morfologia e dieta para verificar se a ecomorfologia é capaz de prever o consumo alimentar das espécies de peixes. Durante um período de estiagem, fizemos amostragens em quatro córregos que nascem no Parque Estadual da Serra Azul, afluentes do médio rio Araguaia, na região leste do estado de Mato Grosso. Fizemos medições da morfologia corporal externa e interna dos peixes coletados e obtivemos informações sobre a dieta dessas espécies. Os resultados indicaram que a espécie de caracídeo endêmica é composta por indivíduos especialistas, sendo os traços ecomorfológicos relacionados à locomoção e percepção sensorial influentes no consumo de insetos. As espécies de peixes dos demais córregos foram agrupadas em diferentes categorias tróficas conforme os seus traços ecomorfológicos, os quais puderam prever o consumo alimentar nessas comunidades. Concluímos que a variação individual na dieta (especialização alimentar) está associada à variação morfológica e que a ecomorfologia é adequada para inferir sobre a dieta de determinada espécie de peixe de riacho em uma comunidade.

Palavras-chave: dieta, população, especialização, comunidade, ecomorfologia.

ABSTRACT

Populations and communities of stream fish frequently present substantial morphological variation and food, with eating habits being strongly correlated with morphology. At the population level, we evaluated the degree of food specialization in an endemic characid and its relationship with the morphology. At the community level, we evaluated the relationship between morphology and diet to check if the ecomorphology is able to predict food consumption of fish species. During a dry period we performed sampling in streams that are springs in the Parque Estadual da Serra Azul and tributaries of the middle Araguaia river, in the eastern portion of the state of Mato Grosso. We made measurements of external and internal body morphology of the fish caught, and obtained information on the diet of these species. The results indicated that the species of endemic characid is composed of specialist individuals, with the ecomorphological traits related to locomotion and sensory perception influential in the consumption of insects. The species of fish of other streams were grouped into different categories according to their trophic ecomorphological traits, which could predict food consumption in these communities. We conclude that the individual variation in the diet (food specialization) is associated with morphological variation and the ecomorphology is appropriate to infer the diet of a particular species of stream fish in community.

Keywords: diet, population, specialization, community, ecomorphology.

INTRODUÇÃO GERAL

Nicho pode ser definido como o conjunto de condições ecológicas bióticas e abióticas que determinam a amplitude dentro da qual uma espécie pode persistir e manter sua população (Hutchinson, 1957). Segundo essa teoria, os indivíduos de uma espécie se estabelecerão em habitats com condições ambientais que lhe forem favoráveis para sobrevivência e reprodução. Ainda segundo essa teoria, os indivíduos de uma mesma espécie são tratados como sendo equivalentes no uso dos recursos disponíveis (Bolnick *et al.*, 2003), vivendo em condições ecológicas descritas como homogêneas, com os indivíduos de uma mesma população interagindo entre si de maneira similar (Chase & Leibold, 2003).

Considerando a grande adaptabilidade e diversidade de peixes de água doce aos seus ambientes naturais, diversos estudos têm abordado a variação na dieta intrapopulacional na ecologia de populações (Araújo *et al.*, 2007; Araújo & Gonzaga, 2007; Araújo *et al.*, 2009). Mais recentemente, estudos sobre a relação entre a morfologia e aspectos ecológicos também vêm sendo recorrentes (Teixeira & Bennemann, 2007; Mazzoni *et al.*, 2010), em um tipo de estudo chamado ecomorfologia (Peres-Neto, 1999). Ambos os estudos, variação individual na dieta e ecomorfologia, são pensados sob a luz da teoria clássica de nicho ecológico (Grinnell, 1917; Hutchinson, 1957).

Entretanto, esta abordagem de nicho não leva em conta a variação no consumo alimentar que pode haver entre indivíduos de uma mesma população e que, por sua vez, pode influenciar no nicho trófico da própria espécie (Bolnick *et al.*, 2003). Os motivos que levam a essa variação intrapopulacional devem-se a fatores extrínsecos, como a qualidade e abundância dos recursos (Krebs & McCleery, 1984), e intrínsecos, que ocorrem devido aos diferentes níveis de organização de uma população, como sexo (Martins *et al.*, 2008), idade (Gustafsson, 1988) ou morfotipo (Estes *et al.*, 2003). Ainda assim, a variação interindividual no uso de recursos pode ocorrer mesmo sem os efeitos de sexo, idade ou morfotipos (Bolnick *et al.*, 2003; Estes *et al.*, 2003).

Dessa forma, considerando a variação individual dentro de uma população e que a disponibilidade de alimentos sofre mudanças no tempo e espaço (Manly *et al.*, 1993), pressupõe-se que os diferentes indivíduos sejam heterogêneos no uso de recursos e que cada indivíduo deve consumir apenas parte dos recursos disponíveis do ambiente, objetivando o máximo ganho energético (Svanbäck & Bolnick, 2005). Assim, consumir um recurso

alimentar, mesmo que seja de baixa caloria, pode ser vantajoso se apenas uma pequena fração da população o consome, um tipo de comportamento alimentar que diminui a intensidade da competição intraespecífica (Estes *et al.*, 2003). Esse comportamento de evitar a competição intraespecífica leva ao aumento da “especialização individual” dentro da população (Araújo *et al.*, 2011). A especialização individual ocorre quando os indivíduos consomem apenas parte de todo o conjunto de recursos disponíveis no ambiente (Bolnick *et al.*, 2003).

As implicações ecológicas da variação intrapopulacional e a consequente especialização individual residem no fato de que elas podem representar uma completa descrição de um sistema biológico (Bolnick *et al.*, 2003) e fornecer informações sobre as dinâmicas populacionais e evolutivas dos indivíduos (Bolnick *et al.*, 2011). A variação intrapopulacional pode ainda esclarecer como o comportamento e as interações ecológicas, como a competição, agem sobre o uso de recursos pelos indivíduos (Tinker *et al.*, 2012).

A variação intraespecífica vem sendo investigada em diversos grupos animais, dentre os quais moluscos, insetos, répteis, mamíferos, aves e peixes (Estes *et al.*, 2003). Para este trabalho, escolhemos estudar, primeiramente, uma população da espécie *Astyanax xavante* Garutti & Venere, 2009 (Characidae), que é endêmica ao córrego Avoadeira, tributário do médio rio Araguaia. Até o momento nenhum trabalho de ecologia trófica abordou a questão da variação intrapopulacional para esta espécie. Dessa forma, será importante estudar a sua variação individual no uso de recursos, pois nos permitirá obter informações e inferir sobre a sua dinâmica populacional, as interações entre os indivíduos e os mecanismos evolutivos que levaram a tais adaptações alimentares em *A. xavante*.

Outro tipo de estudo que aborda a variação existente nos organismos é a ecomorfologia. Ecomorfologia (ou ecologia morfológica) pode ser definida como o ramo da ecologia que investiga as relações entre morfologia e os aspectos ecológicos entre indivíduos, populações e comunidades (Peres-Neto, 1999). Os aspectos ecológicos mais recorrentes relacionados à ecomorfologia são o uso de micro-habitat e a dieta da comunidade de peixes, sendo que este último aspecto é estudado sob a perspectiva da partilha de nicho ecológico e partilha de recursos (Peres-Neto, 1999). A partilha de recursos é um dos maiores fatores estruturantes das comunidades de peixes, pois pressupõe que a diversidade de formas corporais entre as espécies levaria ao consumo diferenciado de recursos tróficos, com fortes efeitos sobre a diversidade biológica na comunidade (Mise *et al.*, 2013). Assim, as diferentes morfologias

corporais poderiam prever o tipo de alimento consumido por determinado conjunto de espécies de peixe (Teixeira & Bennemann, 2007).

É sabido que a fauna de peixes Neotropical é uma das mais diversificadas e complexas do mundo, sendo o Brasil um dos maiores privilegiados por possuir grandes redes hidrográficas, e que os estudos realizados em riachos, mesmo tendo recebido maior atenção nos últimos anos, possuem literatura um tanto escassa se comparada aos estudos realizados em grandes rios, dos quais os mais investigados pertencem à grande bacia do rio Paraná (Galves *et al.*, 2009). Além disso, se considerarmos a grande plasticidade trófica que existe em peixes de água doce (Abelha *et al.*, 2001), o estudo da ecologia trófica torna-se um campo de investigação interessante para testar a relação entre ecomorfologia e dieta da comunidade. Por esse motivo, escolhemos para este trabalho investigar a ecomorfologia alimentar em comunidades de três córregos que são pertencentes à bacia do rio Araguaia, na região da sua porção média, todos originados no Parque Estadual da Serra Azul (PESA), município de Barra do Graças, MT: Peixinho, Pitomba e Ouro Fino.

Assim, neste trabalho abordamos dois aspectos importantes em ecologia de populações e comunidades de peixes de riachos: a variação intrapopulacional na dieta e a relação entre ecomorfologia e alimentação. Em um primeiro momento, avaliamos a variação individual na dieta de uma população de *Astyanax xavante* Garutti & Venere, 2009 (Characidae), uma espécie de caracídeo endêmica ao córrego Avoadeira, tributário do médio rio Araguaia. Verificamos se há variação individual intraespecífica na alimentação de *A. xavante*, avaliamos a magnitude da especialização alimentar entre os indivíduos de uma população de *A. xavante* e se a especialização individual da dieta é acompanhada pela diferenciação de traços morfológicos entre os indivíduos. Em um segundo momento, verificamos se a ecomorfologia pode prever os hábitos alimentares de diferentes espécies de peixes dentro de cada comunidade dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, também tributários do médio rio Araguaia. Ainda, avaliamos quais medidas ecomorfológicas são mais importantes para refletir o tipo de alimento consumido entre as espécies de peixes dentro de cada comunidade desses córregos.

Neste trabalho estivemos interessados em responder as seguintes perguntas: I) a) existe variação na dieta entre indivíduos de uma mesma população de *Astyanax xavante*, no córrego Avoadeira? b) qual a magnitude de especialização individual entre os indivíduos da população dessa espécie? c) caso haja variação individual na dieta, ela está associada à variação

ecomorfológica? II) a) existe correlação entre ecomorfologia e dieta das espécies nas comunidades de peixes dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino? b) caso se confirme correlação significativa entre a morfologia e a dieta, os atributos ecomorfológicos estariam mais relacionados com quais itens alimentares? e c) quais traços ecomorfológicos são mais eficazes em refletir o tipo de alimento consumido nessas comunidades?

Para o estudo da variação na dieta de *A. xavante*, esperamos que os indivíduos pertencentes à mesma população apresentem distinção quanto ao consumo alimentar. Se essa população desfruta de grande quantidade de recursos (nichos amplos), esperamos que ela tenha um maior grau de indivíduos especialistas do que generalistas: os indivíduos poderão participar em toda a amplitude do nicho trófico, porém cada indivíduo, com suas características e necessidades intrínsecas, tenderá a consumir alguns itens alimentares específicos em maior quantidade se comparados aos outros alimentos disponíveis, como uma maneira de evitar a competição intraespecífica. Esperamos que diferenças morfológicas entre os indivíduos represente um dos parâmetros responsáveis pelas diferenças encontradas na dieta dessa espécie. Para o estudo da relação entre ecomorfologia e dieta das comunidades, nossa hipótese principal é que as espécies das comunidades dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino devem diferir na preferência alimentar em função de seus atributos morfológicos. Os atributos mais relacionados à dieta devem ser aqueles que influenciam na captura e processamento das presas (por exemplo, tamanho e forma corporal, tipo de dentição e posição dos olhos). Esperamos que os traços ecomorfológicos mais importantes para predizer a dieta sejam aqueles relacionados à própria alimentação (por exemplo, cabeça, dentes e órgãos digestivos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelha, M. C. F., A. A. Agostinho, E. Goulart. 2001. Plasticidade trófica em peixes de água doce. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 23: 425-434.
- Araújo, M. S., D. I. Bolnick & C. A. Layman. 2011. The ecological causes of individual specialisation. *Ecology Letters*, 14: 948-958.
- Araújo, M. S., D. I. Bolnick, L. A. Martinelli, A. A. Giaretta & S. F. dos Reis. 2009. Individual level diet variation in four species of Brazilian frogs. *Journal of Animal Ecology*, 78: 848-856.
- Araújo, M. S., & M. O. Gonzaga. 2007. Individual specialization in the hunting wasp *Trypoxylon (Trypargilum) albonigrum* (Hymenoptera, Crabronidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61, 1855–1863.
- Araújo, M. S., S. F. Reis, A. A. Giaretta, G. Machado & D. I. Bolnick. 2007. Intrapopulation diet variation in four frogs (Leptodactylidae) of the Brazilian Savannah. *Copeia*, 4:855-865.
- Bolnick, D. I., P. Amarasekare, M. S. Araújo, R. Bürger, J. M. Levine, M. Novak, V. H. W. Rudolf, S. J. Schreiber, M. C. Urban & D. A. Vasseur. 2011. Why intraspecific trait variation matters in community ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 26: 183-192.
- Bolnick, D. I., R. Svanbäck, J. A. Fordyce, L. H. Yang, J. M. Davis, C. D. Hulsey, & M. L. Forister. 2003. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *The American Naturalist*, 161: 1-28.
- Chase, J. M. & M. A. Leibold. 2003. *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. Chicago, University of Chicago Press, 212p.
- Estes, J. A., M. L. Riedman, M. M. Staedler, M. T. Tinker & B. E. Lyon. 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: patterns, causes and implications. *Journal of Animal Ecology*, 72: 144-155.
- Galves, W., O. A. Shibatta & F. C. Jerep. 2009. Estudos sobre diversidade de peixes da bacia do alto rio Paraná: uma revisão histórica. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 30: 141-154.

- Garutti, V. & P. C. Venere. 2009. *Astyanax xavante*, a new species of characid from middle rio Araguaia in the Cerrado region, Central Brazil (Characiformes: Characidae). *Neotropical Ichthyology*, 7: 377-383.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, p. 427-433.
- Gustafsson, L. 1988. Foraging behaviour of individual coal tits, *Parus ater*, in relation to their age, sex and morphology. *Animal Behaviour*, 36: 696-704.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
- Krebs, J. R. & R. H. Mccleery. 1984. *Optimization in behavioural ecology*.
- Manly, B. F. J., L. L. McDonald, & D. L. Thomas. 1993. *Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies*. Chapman & Hall, London, p. 177.
- Martins, E. G., M. S. Araújo, V. Bonato & S. F. Reis. 2008. Sex and season affect individual-level diet variation in the neotropical marsupial *Gracilinanus microtarsus* (Didelphidae). *Biotropica*, 40: 132-135.
- Mazzoni, R., M. Moraes, C. F. Rezende & J. C. Miranda. 2010. Alimentação e padrões ecomorfológicos das espécies de peixes de riacho do alto rio Tocantins, Goiás, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 100: 162-168.
- Mise, F. T., R. Fugii, J. P. A. Pagotto & E. Goulart. 2013. The coexistence of endemic species of *Astyanax* (Teleostei: Characidae) is propitiated by ecomorphological and trophic variations. *Biota Neotropica*, 13: 21-28.
- Peres-Neto, P. 1999. Alguns métodos e estudos em ecomorfologia de peixes de riachos. Pp. 209-236. In: Caramaschi E.P., R. Mazzoni, P.R. Peres-Neto (Eds.). *Ecologia de Peixes de Riachos*. *Oecologia Brasiliensis*, v. 6, PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- Svanbäck, R. & D. I. Bolnick. 2005. Intraspecific competition affects the strength of individual specialization: an optimal diet theory method. *Evolutionary Ecology Research*, 7: 993-1012.
- Teixeira, I. & S. T. Bennemann. 2007. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. *Biota Neotropica*, 7: 67-76.

Tinker, M. T., P. R. Guimarães Jr, M. Novak, F. M. D. Marquitti, J. L. Bodkin, M. Staedler, G. Bental & J. A. Estes. 2012. Structure and mechanism of diet specialisation: testing models of individual variation in resource use with sea otters. *Ecology Letters*, 15: 475-483.

FORMATAÇÃO

A presente dissertação, intitulada “**VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA, ESTRUTURA TRÓFICA E ECOMORFOLOGIA DE PEIXES DE RIACHOS DO PARQUE ESTADUAL DA SERRA AZUL NO MÉDIO ARAGUAIA, MATO GROSSO**”, aborda dois temas atuais e recorrentes em ecologia trófica de peixes de riachos: o grau de especialização individual existente em populações naturais e a relação entre dieta e morfologia. Em um primeiro momento, investigamos a possível presença de especialização individual no consumo alimentar de uma espécie de caracídeo endêmica e se a variação individual na sua dieta é acompanhada por uma diferenciação nas características ecomorfológicas da espécie-modelo. Em um segundo momento, avaliamos o poder preditivo da ecomorfologia sobre a dieta de diferentes espécies pertencentes a três comunidades de peixes de riachos. Esta dissertação foi elaborada segundo as normas da Revista *Neotropical Ichthyology* (Anexo A).

ARTIGO I**A VARIAÇÃO INDIVIDUAL NA DIETA ESTÁ CORRELACIONADA COM A
ECOMORFOLOGIA DE *Astyanax xavante* (Characidae)? IMPLICAÇÕES
ECOLÓGICAS, EVOLUTIVAS E CONSERVACIONISTAS**

Será submetido à Revista *Neotropical Ichthyology* (Anexo A)

RESUMO — (A variação individual na dieta está correlacionada com a ecomorfologia de *Astyanax xavante* (Characidae)? Implicações ecológicas, evolutivas e conservacionistas). Populações naturais podem ser compostas por indivíduos especialistas, entre outros fatores, em função de diferenças na morfologia. Nosso objetivo foi avaliar o grau de especialização individual na dieta de uma população isolada de *Astyanax xavante* e verificar sua associação com a ecomorfologia da espécie. Durante a estação seca de 2014, fizemos amostragem em um ambiente de cabeceira no córrego Avoadeira, localizado no Parque Estadual da Serra Azul e afluente do médio rio Araguaia. Coletamos 50 espécimes por meio de rede de arrasto, puçás e peneiras. Calculamos 24 índices ecomorfológicos a partir de 38 medidas morfológicas relacionadas à alimentação. Amostramos o conteúdo estomacal e os itens alimentares identificados foram quantificados por meio do método volumétrico. Para testar a hipótese da variação individual na dieta aplicamos o índice WIC/TNW, que calcula o grau de especialização individual. Para testar a hipótese de que a dieta varia em função da ecomorfologia usamos uma modelagem multiplicativa não-paramétrica. *Astyanax xavante* apresentou variação individual na dieta, sendo alto o grau de especialização individual com curta largura de nicho total. Encontramos dois modelos significativos, indicando quatro índices ecomorfológicos relacionados à posição do olho, nadadeira anal, pedúnculo e nadadeira pélvica predizendo o consumo de insetos. Os resultados de especialização individual mostraram-se condizentes com a literatura, apresentando implicações ecológicas, evolutivas e de conservação. A variação morfológica deve afetar diretamente a capacidade de forrageamento e contribuir para o aumento da variação individual na dieta. Concluímos que a população de *A. xavante* é composta por indivíduos especialistas com amplo espectro alimentar e curto nicho populacional. A variação individual na dieta ocorre em função da morfologia, sendo os órgãos relacionados à locomoção e percepção sensorial influentes sobre o consumo de insetos. Isso implica que os nichos individuais são relativamente curtos e que a ecomorfologia prediz, pelo menos em parte, as diferenças no consumo alimentar (insetos). Nossos resultados evidenciam a necessidade de preservar a maior diversidade de itens alimentares e de habitats que são pouco diversos para a manutenção de espécies especialistas, endêmicas e altamente isoladas.

Palavras-chave: peixe de riacho, população, alimentação, especialização, Cerrado.

ABSTRACT — (Is the individual variation in the diet correlated with ecomorphology of *Astyanax xavante* (Characidae)? Ecological, evolutionary and conservationist implications). Natural populations may be composed of individual specialists due to differences in morphology, among other factors. Our aim was to evaluate the degree of individual specialization in the diet of an isolated population of *Astyanax xavante* and its association with ecomorphology species. During the dry season of 2014 we conducted a sampling in headwaters in Avoadeira stream, located in the Parque Estadual da Serra Azul and an affluent middle Araguaia river. We collected 50 species by trawls, dip nets and screens. We calculated 24 ecomorphological indices from 38 morphological measures related to food. We sampled the stomach contents and identified food items, which were quantified by the volumetric method. To test the hypothesis of individual variation in diet, we applied the WIC / TNW index, which calculates the degree of individual specialization. To test the hypothesis that the diet will vary with ecomorphology use, we performed a non-parametric multiplicative modeling. *Astyanax xavante* presented individual variation in the diet and a high degree of individual specialization with short width total niche. We found two significant models, showing four ecomorphological indices related to the position of the eye, anal fin, peduncle and pelvic fin predicting the consumption of insects. The results showing individual specialization is consistent with the literature, presenting ecological, evolutionary and conservation implications. A morphological variation should be directly affected by the foraging capacity, and contributes to the increase in individual variation in diet. We conclude that the population of *A. xavante* is composed of specialist individuals with wide food spectrum and short population niche. The individual variation in the diet occurs due to the morphology, being the organs related to locomotion and sensory perception influential on the consumption of insects. This implies that the individual niches are relatively short and that ecomorphology predicts, at least in part, differences in food consumption (insects). Our results highlight the need to preserve the greater diversity of food items and habitats that are little diverse for maintenance of specialist, endemic and highly isolated species.

Keywords: stream fish, population, food, specialization, *Cerrado*.

1 INTRODUÇÃO

A teoria ecológica clássica, particularmente a de nicho, sugere que os indivíduos de uma mesma espécie sejam tratados como equivalentes no uso dos recursos disponíveis (Hutchinson, 1957; Bolnick *et al.*, 2003). Entretanto, existem muitas evidências de que espécies generalistas, que utilizam grande diversidade de recursos, são compostas por indivíduos heterogêneos, apresentando maior variação de nicho (Bolnick *et al.*, 2007). É sabido que os indivíduos de uma mesma espécie diferem entre si (Dall *et al.*, 2012), um fenômeno ecológico conhecido como variação individual. Dentro de uma mesma população os indivíduos podem diferir com relação a alguns aspectos tais como defesa contra predadores, resistência a parasitas, tolerâncias abióticas, capacidade competitiva ou uso de recursos (e.g., alimento; Bolnick *et al.*, 2011).

Dentro de uma população, os indivíduos podem variar na forma com que eles podem explorar seus recursos alimentares (Durrell, 2000) e cada indivíduo deve consumir apenas parte dos recursos disponíveis do ambiente, objetivando o máximo ganho energético (Svanbäck & Bolnick, 2005). Consumir um recurso alimentar, mesmo que seja de baixa caloria, pode ser vantajoso se apenas uma pequena fração da população o consome, pois esse tipo de comportamento alimentar diminui a intensidade da competição intraespecífica (Estes *et al.*, 2003). Podemos sugerir que uma consequência direta desse comportamento de evitar a competição intraespecífica leve ao aumento da “especialização individual” dentro da população (Araújo *et al.*, 2011). Nesse caso, a especialização individual ocorre quando os indivíduos consomem apenas parte de todo o conjunto de recursos disponíveis no ambiente (Bolnick *et al.*, 2003).

Em teoria, o nicho de uma população é formado por três componentes (Roughgarden, 1972): o nicho total (*total niche width*, TNW), que por sua vez pode ser decomposto de duas formas – componente intraindividual (*within-individual component*, WIC) e componente interindividual (*between-individual component*, BIC). Sendo WIC a média das larguras dos nichos individuais e BIC a variância entre os nichos individuais, o grau de especialização individual é a proporção de WIC sobre o nicho total da população, que é baixo (próximo de zero) quando há maior variação entre indivíduos e alto (próximo de um) quando há menor variação (Araújo *et al.*, 2007).

A especialização individual pode levar à variação dos caracteres fenotípicos dos indivíduos relacionados com a exploração de habitat e recursos tróficos, resultando em

características morfológicas variáveis, um processo denominado de polimorfismo de recurso ou trófico (Cucherousset *et al.*, 2011). É esperado que os indivíduos de diferentes idades, sexo, ou com morfologia distinta, tenham diferentes nichos (Bolnick *et al.*, 2003). No entanto, a variação interindividual no uso de recursos pode ocorrer mesmo sem os efeitos de sexo, idade ou morfotipos (Bolnick *et al.*, 2003; Estes *et al.*, 2003). Dessa forma, um indivíduo é denominado especialista quando o seu nicho é mais estreito que o da população por razões não atribuídas pelo sexo, idade ou grupos morfológicos (Bolnick *et al.*, 2003). Ainda assim, a relação entre dieta e morfologia (ou fenótipo) vem sendo abordada em diversos trabalhos que incorporam a variação intrapopulacional no uso de recursos (Araújo *et al.*, 2007; Araújo *et al.*, 2009; Bolnick & Paull, 2009; Martin & Pfennig, 2009), um tipo de estudo chamado ecomorfologia. A ecomorfologia é o ramo da ecologia que investiga as relações existentes entre a morfologia (fenótipo) e aspectos ecológicos (variação no uso de recursos) no nível de indivíduos, populações e comunidades, permitindo obter informações sobre a performance real ou o uso de recursos em condições naturais (Peres-Neto, 1999).

A variação individual intraespecífica tem grande importância ecológica, pois pode afetar a dinâmica de populações e comunidades, evolução da espécie e promover geração de biodiversidade (Tinker *et al.*, 2012). Além disso, as especializações podem afetar as consequências de mudança ou perda de habitat pela população, o que aponta particular interesse para ações conservacionistas (Durell, 2000).

Variações intraespecíficas vêm sendo investigadas em diversos grupos animais, sendo conhecidas ou suspeitas de ocorrer em vários grupos, como moluscos, insetos, répteis, mamíferos, aves e peixes (Estes *et al.*, 2003). A maioria dos exemplos foi encontrada para os vertebrados, em grande parte peixes, sendo a incidência de especialização individual mais comum em níveis tróficos superiores (predadores), levando a especular se ela varia de acordo com a posição trófica (Araújo *et al.*, 2011).

Os peixes compreendem o grupo com o maior número de espécies dos vertebrados, apresentam notável diversidade taxonômica e vivem em habitats muito diversos (Helfman *et al.*, 2009), tais como os ambientes de águas continentais. No Brasil, a família de peixes Characidae (ordem Characiformes) é a mais numerosa (Buckup *et al.*, 2007), sendo o gênero *Astyanax* o mais diversificado, encontrado somente em ambientes de águas continentais (Nelson, 2006). Nesse tipo de ambiente, os peixes teleósteos apresentam grande plasticidade alimentar, a ictiofauna tropical possui dieta flexível (Abelha *et al.*, 2001) e a variabilidade de

cadeias alimentares varia com a altitude (Esteves & Aranha 1999). Peixes de água continental apresentam pronunciado gradiente altitudinal de espécies, com baixa diversidade em grandes altitudes, sendo a altitude talvez o fator mais importante limitando as distribuições das espécies em áreas de alto relevo topográfico (Albert & Reis 2011). Além disso, é admitido que populações naturais isoladas apresentem substancial variação na dieta entre os indivíduos que coocorrem, com tendência para especialização em recursos pelágicos ou bentônicos (Bolnick & Araújo, 2011). Ademais, há evidências de que essa variação na dieta estaria correlacionada com a morfologia (Snowberg & Bolnick, 2008; Bolnick & Paull, 2009; Bolnick & Araújo, 2011). Os peixes são organismos que apresentam grande diversidade de formas corporais e adaptações relacionadas à alimentação, o que implica em variados tipos de nadadeiras, aparelhos bucais e tipo de dentição (Bemvenuti & Fischer, 2010), sendo os métodos de alimentação e hábitos alimentares fortemente correlacionados com a morfologia externa e interna (Keenleyside, 1979; Cailliet *et al.*, 1986).

Em resumo, considerando a alta diversidade, plasticidade trófica, grande variedade de morfotipos e incidência de especialização individual, é esperado que muitas espécies de peixes, particularmente de riachos neotropicais, sejam compostas por indivíduos especialistas, sendo a variação intraespecífica possivelmente acompanhada pela variação morfológica. Ademais, os resultados empíricos encontrados podem ser de grande importância, o que implica em melhores estratégias de conservação para peixes do cerrado.

Na região central do Brasil, nos domínios de Cerrado, é relatada a ocorrência de uma ampla diversidade de espécies de peixes, particularmente os de riachos (Venere & Garutti, 2011). Uma dessas espécies mostra-se de particular interesse para investigar a variação intraespecífica no uso de recursos em populações isoladas. Recentemente descrita, *Astyanax xavante* Garutti & Venere, 2009 (Characidae) é uma das muitas espécies de caracídeos que vivem em riachos que tem suas nascentes ou parte do seu curso d'água situada no Parque Estadual da Serra Azul (Venere & Garutti, 2011). Desde sua descrição, não existe registro de *A. xavante* fora de seu local de ocorrência, sendo, portanto, uma espécie endêmica (Garutti & Venere, 2009). Essa espécie ocorre apenas no córrego Avoadeira, tributário do médio rio Araguaia, apresentando uma distribuição não homogênea ao longo do córrego. Nos trechos de cabeceira desse córrego (altitude aproximada de 521 m) ocorre apenas *A. xavante*, e a partir dos trechos médios até jusante ocorrem outras espécies de peixes além de *A. xavante*. Dessa forma, *A. xavante* torna-se uma espécie-modelo para estudar variação intraindividual, considerando que pode ser um caso específico e inédito estudar uma população totalmente

isolada, livre de competidores interespecíficos, de uma espécie extremamente endêmica. Nos ambientes de cabeceira do córrego Avoadeira, o principal competidor de um indivíduo de *A. xavante* é outro indivíduo da mesma espécie, um caso clássico de conflito entre hierarquias evolutivas. Isso pode reforçar a ideia de existência de variação individual no consumo de recursos associada à variação morfológica, mesmo na ausência de outras espécies competidoras, no que concerne especialmente ao estudo de peixes de riachos, particularmente em ambientes de cabeceira.

Neste trabalho abordamos aspectos importantes em ecologia trófica de populações de peixes de riachos: a variação intrapopulacional na dieta e a relação entre morfologia e alimentação (ecomorfologia). Avaliamos a competição intraespecífica na dieta de uma população isolada de *Astyanax xavante*. Em suma, verificamos se há variação individual intraespecífica no consumo alimentar de *A. xavante* e avaliamos a magnitude da especialização alimentar entre os indivíduos dessa população. Dada a expectativa inicial de que a diminuição da competição intraespecífica poderia levar a um aumento da especialização individual, é interessante questionar se a especialização individual da dieta é acompanhada pela diferenciação de traços morfológicos entre os indivíduos.

Neste trabalho estivemos interessados em responder as seguintes perguntas: a) existe variação na dieta entre indivíduos de uma mesma população de *Astyanax xavante*, no córrego Avoadeira? b) qual a magnitude de especialização individual entre os indivíduos da população dessa espécie? c) caso haja variação individual na dieta, ela está associada à variação ecomorfológica?

Esperamos que os indivíduos pertencentes à mesma população de *A. xavante* apresentam distinção quanto ao consumo alimentar. Dessa forma, os indivíduos devem apresentar largura de nicho curto, indicando população composta por elevada especialização individual. Se a população estudada desfrutar de grande quantidade de recursos (nichos amplos), esperamos que ela tenha um maior grau de indivíduos especialistas do que generalistas, pois cada indivíduo tenderia a consumir determinados itens alimentares específicos de sua dieta em maior quantidade do que todos os outros alimentos consumidos pelos outros indivíduos, diminuindo a competição intraespecífica e aumentando a especialização individual na população. Por fim, ao encontrar especialização individual na dieta, esperamos que diferenças morfológicas entre os indivíduos representem um dos parâmetros responsáveis pelas diferenças encontradas na dieta. Em outras palavras, esperamos

que haja uma associação da especialização alimentar com a morfologia, no qual indivíduos com características morfológicas diferentes tendem a consumir diferentes itens alimentares. Assim posto, podemos evidenciar que a variação intraindividual no uso de recursos alimentares é influenciada pela morfologia, é intrínseca à espécie em questão e que ela pode ocorrer em populações isoladas, na ausência de outras espécies.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O trabalho de campo foi desenvolvido em um trecho do córrego Avoadeira (15°51'13.44"S e 52°15'17.16"W), um riacho de 2ª ordem localizado dentro do Parque Estadual da Serra Azul (PESA), município de Barra do Garças, MT, região da bacia do médio rio Araguaia, na divisa entre os estados de Mato Grosso e Goiás (Fig. 1).

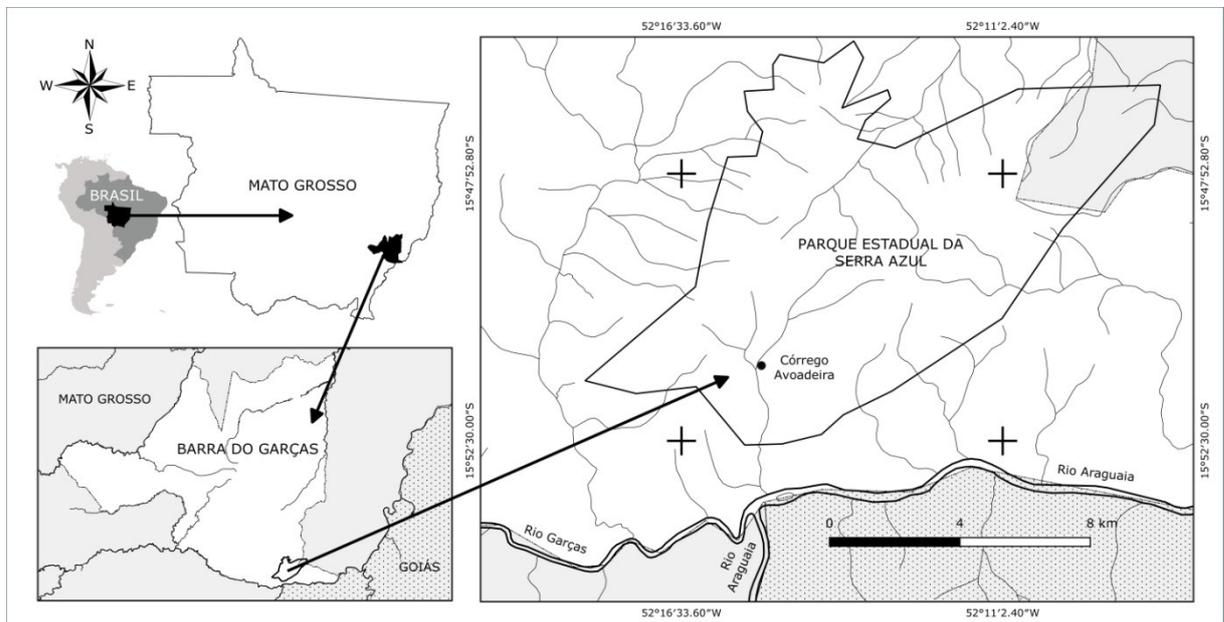


Fig. 1. Área de estudo com a indicação do trecho amostral no córrego Avoadeira, localizado no Parque Estadual da Serra Azul, Barra do Garças, MT.

No trecho de cabeceira amostrado ocorre apenas a espécie *Astyanax xavante* (Fig. 2). O PESA é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral que possui área de 11 mil ha

(FEMA, 2000) e é adjacente à área urbana da cidade. O clima da região compreende duas estações bem definidas: o verão chuvoso, que se estende de outubro a abril, e o inverno seco, que vai de maio a setembro (FEMA, 2000).



Fig. 2. Espécime de *Astyanax xavante*. CP: comprimento padrão.

2.2 Procedimentos no campo e coleta dos indivíduos

Realizamos uma coleta de campo durante o ápice da estação seca na região, no mês de agosto do ano de 2014, durante o período matutino. Dessa forma, minimizamos as alterações nos ambientes causadas pelos possíveis eventos de chuva que poderiam influenciar o córrego. Para demarcar o trecho amostral delimitamos uma faixa de 50 m de extensão para amostragem, com a fixação de redes de arrasto no início e no final da faixa, para impedir a eventual entrada e/ou fuga de espécimes devido às atividades de amostragem.

As coletas dos espécimes foram realizadas mediante pesca por rede de arrasto, puçá e peneiras. O esforço amostral foi concentrado no tempo de 60 minutos na tentativa de capturar todos os peixes que estiverem dentro da faixa amostral, de modo que todo o espaço aquático foi vasculhado com o objetivo de capturar os morfotipos (indivíduos) adaptados a viver nos mais diversos micro-habitats aquáticos.

Os indivíduos capturados foram colocados em caixa térmica de isopor contendo água e gelo para se proceder à eutanásia, sendo também utilizado o analgésico geral benzocaína (éster etílico do ácido paraaminobenzoico), como recomendado pelo Conselho Federal de Medicina Veterinária (CFMV, 2012). Posteriormente, os peixes foram transferidos para sacos plásticos com formalina a 10% para preservar os espécimes.

2.3 Procedimentos no laboratório e coleta de dados

No laboratório, os peixes foram mantidos em formalina a 10% durante três dias. Posteriormente, foram lavados com água até o necessário para retirar o excesso de formaldeído. Em seguida, foram agrupados e etiquetados com o nome do respectivo córrego e armazenados em bombonas contendo álcool etílico a 70%.

Logo após, os espécimes foram dissecados para a retirada do trato digestivo. Os tratos digestivos foram conservados separadamente em pequenos frascos de vidro contendo álcool etílico a 70% e identificados pelo número do peixe correspondente.

2.3.1 Ecomorfologia

Amostramos 50 indivíduos de *A. xavante* dos mais variados morfotipos. Para testar a relação entre a dieta e ecomorfologia dos espécimes coletados fizemos um total de 34 medições da morfologia corporal externa e interna, incluindo aquelas que são relacionadas à alimentação. As medidas da morfologia corporal foram realizadas com algumas adaptações, seguindo as definições e descrições dadas por Gatz Jr. (1979), Watson & Balon (1984), Motta *et al.* (1995), Bemvenuti & Fischer (2010) e Oliveira *et al.* (2010). Destas medidas, seis variáveis são qualitativas nominais e 28 são quantitativas contínuas (Apêndice A). As variáveis qualitativas foram tomadas por meio de observação direta e o uso de microscópio estereoscópico.

Das variáveis quantitativas, 22 são medidas lineares tomadas em linha reta com auxílio de paquímetro digital (precisão de 0,001 mm) e seis são medidas de área. Obtivemos essas medidas de área com uso de papel do tipo vegetal (transparente), que foi posto sobre o órgão a ser mensurado e realizado o contorno da sua forma com o uso de lápis. O desenho (polígono) formado, impresso no papel vegetal, foi posto sobre o papel milimetrado e contamos quantas unidades de 1 mm² preenchem a forma do desenho, resultando assim no respectivo valor da área. Particularmente, para calcular a área do olho (ArO), primeiramente medimos o diâmetro do olho (DO), dividimos o valor obtido pela metade para obter o valor do raio (r) e aplicamos a fórmula matemática tradicional para calcular a área (A) do círculo: $A = \pi * r^2$, em que π = constante matemática que equivale a 3,14; e r = raio, metade do diâmetro do círculo.

Das variáveis qualitativas, o tipo de dentição (TD) foi tratado com particularidade. Os dentes da maxila estiveram dispostos em apenas uma fileira e o tipo de dentição da maxila (TMx) foi o mesmo entre todos os indivíduos (dentes tri e multicuspidados), mas o tipo de dentição da mandíbula (TMd) apresentou variação. Os dentes da mandíbula estiveram dispostos em duas fileiras, anterior e posterior, com uma quantidade variável de cúspides apenas na fileira posterior. Dessa forma, os dados da dentição da mandíbula foram tratados de acordo com o número de cúspides da fileira posterior, na qual ora apresentava dentes tricuspídeos, ora multicuspidados, sendo então atribuídos códigos numerados de 1 a 3 para cada tipo distinto de dentição apresentado pela mandíbula: (1) fileiras anterior e posterior com dentes tri e multicuspidados; (2) fileira anterior tricuspídea e posterior multicuspidada; (3) fileiras anterior e posterior tricuspídeas. Assim, com relação à dentição da espécie, apenas o tipo de dentição da mandíbula foi considerado nas análises estatísticas descritas mais adiante.

De forma semelhante, as variáveis qualitativas orientação dos olhos (OrO), posição da boca (PB) e orientação da boca (OB) não apresentaram distinção entre os indivíduos e também não foram consideradas nas análises estatísticas.

2.3.2 Amostragem da dieta

Efetuamos a amostragem quantitativa dos itens alimentares observados pelo método volumétrico (V_o). O volume foi medido com a ajuda de papel milimetrado quadriculado constituído por unidades de 1 mm^2 , posicionado sob uma placa de Petri. Adicionalmente, com o auxílio de pequenas placas de inox com espessura de 1 mm de altura, obtivemos um volume cúbico com unidade de 1 mm^3 , equivalente a 0,001ml.

Abrimos os tratos digestivos sobre placa de Petri com o auxílio de pinças e bisturi. O conteúdo estomacal foi retirado e colocado sobre a placa de Petri e o excesso de álcool foi removido. O conteúdo foi compactado de modo a compor um “empacotado” com forma de paralelepípedo de 1 mm de altura. Para obter o volume alimentar total de cada trato digestivo, contamos os cubos de 1 mm^3 e convertemos em mililitros ($1 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ ml}$). Esse procedimento de contagem também foi adotado para obter o volume específico de cada item alimentar encontrado. Analisamos os itens alimentares por meio de microscópio estereoscópico e de microscópio óptico (quando necessário) e identificamos até a categoria

taxonômica mais exclusiva possível com o auxílio de literatura específica (Bicudo & Bicudo, 1970; Roldán, 1988; Higuti & Franco, 2001; Gullan & Cranston, 2007).

2.4 Tratamento dos dados e análises estatísticas

2.4.1 Índices ecomorfológicos

A partir das 28 variáveis quantitativas anteriormente citadas, calculamos 24 índices ecomorfológicos. Estes índices são proporções entre algumas medidas lineares e são usados como maneira de minimizar os efeitos das diferentes dimensões corporais sobre os dados ecomorfológicos (Winemiller, 1991) e permitir melhor comparação entre os espécimes. Os cálculos dos índices ecomorfológicos foram realizados seguindo as definições e descrições de Gatz Jr. (1979), Watson & Balon (1984) e Oliveira *et al.* (2010). Estes índices ecomorfológicos estão descritos no Apêndice B com suas siglas e respectivas fórmulas.

2.4.2 Análise da variação individual na dieta

Para testar a hipótese da variação individual na dieta de *A. xavante* aplicamos o índice de especialização individual, WIC/TNW, usando a matriz de dieta. O índice calcula a proporção do componente intraindividual existente sobre o nicho total da população. Originalmente proposto por Roughgarden (1972) para variação intra e entre fenótipos, este índice também pode ser aplicado no nível individual (Bolnick *et al.*, 2002).

O índice WIC/TNW é uma derivação da fórmula $TNW = WIC + BIC$ aplicado somente para dados contínuos e assume que o uso dos recursos segue uma distribuição normal (Bolnick *et al.*, 2002). Segundo Roughgarden (1972), o nicho total de uma população (*total nichewidth*, TNW) é formado por dois componentes: o componente intraindividual (*within-individual component*, WIC) e o componente interindividual (*between-individual component*, BIC) (Bolnick *et al.*, 2002). Em uma população de indivíduos especialistas a razão WIC/TNW é pequena (Bolnick *et al.*, 2003) e, nessa situação, a baixa proporção de WIC sobre o nicho total da população aponta a existência de variação individual. O grau relativo de especialização individual é uma medida direta do valor resultante da razão WIC/TNW, o qual se aproxima de 1 quando todos os indivíduos utilizam toda a amplitude do nicho populacional, enquanto valores menores apontam para um decréscimo na sobreposição

interindividual e maior especialização individual (Bolnick *et al.*, 2002). De outro modo, quando BIC é uma grande proporção de TNW, a variação interindividual também é grande (Bolnick *et al.*, 2003).

Para testar a significância estatística do índice WIC/TNW, reamostramos a matriz de dieta usando um *bootstrap* (Fox & Weisberg, 2012) não-paramétrico de Monte Carlo com 10.000 aleatorizações. Esta inferência permite mostrar, por meio de um *p-valor*, se o resultado observado do índice WIC/TNW poderia ser obtido também, e simplesmente, pelo acaso. Utilizamos um nível de significância $\alpha = 0,05$. Essa rotina foi realizada no software estatístico R (R Core Team, 2015) usando o pacote *RInSp* e a função *WTcMC*, com o default padrão “equal” no esquema de ponderação para os indivíduos (Zacarelli *et al.*, 2013).

2.4.3 Dieta em função da ecomorfologia

2.4.3.1 Preparo das matrizes

Organizamos o conjunto de dados em duas matrizes separadas: a matriz preditora e a matriz resposta. A matriz preditora foi composta pela ecomorfologia, com os indivíduos dispostos nas linhas e os índices ecomorfológicos mais o tipo de dentição da mandíbula nas colunas. A matriz resposta foi composta pela dieta da espécie, com os indivíduos dispostos nas linhas e os itens alimentares nas colunas.

2.4.3.2 Ordenação dos indivíduos em relação aos itens alimentares

Durante as análises estatísticas, observamos que havia elevada quantidade de itens alimentares na matriz resposta, o que fazia com que os padrões ecológicos se perdessem quando a mesma foi posta em função da matriz preditora. Resolvemos então construir outras versões de matrizes resposta com o objetivo de reduzir o número de variáveis (itens alimentares) por meio do agrupamento de itens alimentares mais específicos em grupos com categorias taxonômicas mais amplas. Para realizar este método simplesmente somamos os valores dos itens alimentares específicos e atribuímos o resultado a determinado grupo taxonômico que eles passaram a pertencer. Priorizamos o agrupamento dos itens alimentares que já eram amplos por não ser possível identificá-los durante a amostragem do conteúdo estomacal. Mesmo com todo esse processo alguns itens continuavam na sua mesma categoria

mais específica, ao passo que outros eram agrupados. Dessa forma alguns itens que puderam ser agrupados em categorias mais amplas não o foram, pois preferimos conservá-los na matriz até onde foi possível para preservar a diversidade de itens alimentares encontrada na dieta da espécie. Um exemplo disso aconteceu com os itens ‘Diptera’, ‘Ephemeroptera’ e ‘Odonata’, que são ordens da classe Insecta, que por sua vez não foram incluídos na categoria alimentar mais ampla ‘insetos’. Quando tentamos agrupar todos os insetos em um único item alimentar não obtivemos sucesso na performance dos modelos. Após todo esse processo e observadas as matrizes resposta que melhor respondiam à matriz preditora, verificamos que uma matriz resposta com 47 indivíduos e 22 itens alimentares seria a mais adequada para as análises estatísticas.

Utilizando o programa PC-ORD 6.07 (McCune & Mefford 2011) aplicamos a matriz resposta dos dados de dieta com 47 indivíduos e 22 itens alimentares a uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA), que reduziu a dimensionalidade dos dados. Testamos a significância de cada eixo por 999 permutações de Monte Carlo.

2.4.3.3 Modelagem dos itens alimentares em função das variáveis ecomorfológicas

Utilizando o programa HyperNiche 2.25 (McCune, 2009) aplicamos os eixos significativos selecionados da PCoA como variáveis respostas em uma modelagem multiplicativa não-paramétrica (*Nonparametric Multiplicative Regression for Habitat Modeling* - NPMR; McCune, 2006). Padronizamos os dados da matriz preditora para a mesma escala e obtivemos 3004 modelos. Porém, como esses modelos mostraram baixa performance geral, decidimos substituí-los por modelos que considerassem, como variáveis resposta, os itens alimentares separadamente e não os eixos de PCoA. Aqui, tivemos acesso a 47.452 modelos, dos quais retivemos os 10 primeiros com base nos maiores coeficientes de determinação por validação cruzada (xR^2). Durante a seleção dos modelos utilizamos as opções padrão do programa HyperNiche 2.0 para o controle de *overfitting*. Para testar a significância de cada modelo, realizamos 999 permutações de Monte Carlo.

Para avaliar de maneira geral como a dieta responde à ecomorfologia, criamos duas matrizes de dissimilaridade, por meio da distancia euclidiana, e correlacionamos as duas matrizes em um gráfico de regressão. A significância estatística desta análise foi obtida após 10.000 permutações de Monte Carlo. Esta rotina estatística foi realizada no software R (R

Core Team, 2015) usando o pacote *stats* com sua função *dist* para gerar as matrizes de distância com o método "euclidean" (R Core Team, 2015), e o pacote *ade4* com sua função *mantel.rtest*, para executar um teste de randomizações entre as duas matrizes de distância (Chessel *et al.*, 2004; Dray & Dufour, 2007). A significância do modelo (dissimilaridade na dieta em função da dissimilaridade na ecomorfologia) foi testada por meio de uma Análise de Variância (ANOVA), também realizada no software *R* (R Core Team, 2015).

3 RESULTADOS

A dieta de *Astyanax xavante* foi composta por 64 itens alimentares de procedência autóctone ou alóctone, de origem animal ou vegetal (nas análises de dados não incluímos o item Nematoda, considerado aqui como parasito, e nem os itens alimentares não identificados, NID). No Apêndice E, apresentamos resumidamente os nomes e dados quantitativos dos 22 itens alimentares que foram utilizados nas análises estatísticas, descritas no subitem 2.4.3 *Dieta em função da ecomorfologia* (p. 21). Também resumimos os dados referentes à ecomorfologia, por meio da estatística descritiva, apresentando os valores das medidas morfológicas (Apêndice C) e dos índices ecomorfológicos (Apêndice D).

Variação individual na dieta

O resultado do índice WIC/TNW mostra que a população estudada de *A. xavante* apresentou variação individual na sua dieta. Os valores do nicho total da população, dos componentes intra e interindividual e do índice WIC/TNW estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos parâmetros da especialização individual.

	Componentes da variação individual			
	<i>Total niche width</i> (TNW)	<i>Within-individual</i> (WIC)	<i>Between-individual</i> (BIC)	Índice WIC/TNW
Valor observado	$\approx 2,867 \cdot 10^{-1}$	$\approx 1,152 \cdot 10^{-6}$	$\approx 1,189 \cdot 10^{-3}$	$\approx 0,761$

O valor de especialização individual encontrado para a espécie *A. xavante* foi significativo e diferiu daquele esperado pelo acaso ($WIC/TNW = 0,76$; $P = 0,0022$; $N = 50$). Como o grau relativo de especialização individual varia entre 0 a 1, podemos dizer que a proporção do componente intraindividual sobre o nicho total encontrado para a espécie ($WIC/TNW = 0,76$) foi relativamente alta, porém baixa o suficiente para indicar que a população apresenta especialização alimentar. A Fig. 3 reforça este resultado ao mostrar que o valor real do índice WIC/TNW esteve presente em menos de 5% dos valores simulados da distribuição nula e fora dos limites de 95% dos valores do modelo nulo. Dessa forma, pode-se dizer que a variação individual no consumo de recursos em *A. xavante* não ocorre ao acaso e é determinada pela especialização existente entre os indivíduos dentro da população.

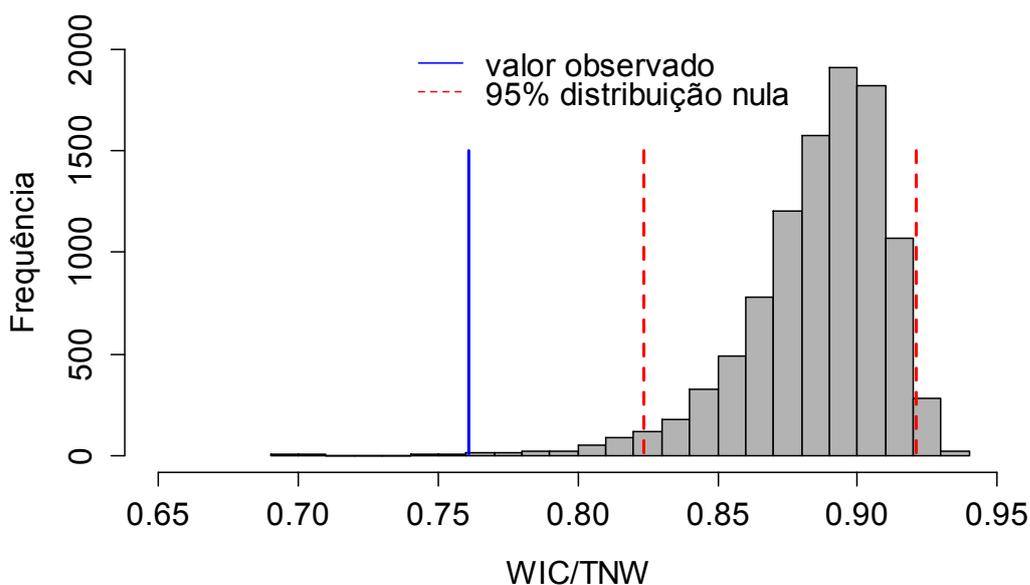


Fig. 3. Histograma mostrando a distribuição dos valores simulados de WIC/TNW obtidos por meio do teste de Monte Carlo. As linhas vermelhas limitam o intervalo de 2,5% a 97,5% da distribuição simulada. A linha azul indica a posição do valor observado do índice WIC/TNW (0,76) obtido a partir da matriz de dieta original.

Dieta em função da ecomorfologia

De uma maneira geral a dissimilaridade na dieta mostrou-se fracamente correlacionada com a ecomorfologia, não apresentando padrão ecológico significativo ($P_{\text{Simulado}} = 0,363$; $r^2_{\text{ajustado}} = -0,001$; $P = 0,501$). Esse resultado parece convergir com a fraca performance dos modelos inicialmente propostos, isto é, aqueles que consideraram os eixos de PCoA como variáveis respostas. A resposta ecomorfológica parece se dar de forma mais específica em relação aos itens de dieta, o que pode ser confirmado nos modelos apresentados a seguir.

Os resultados de NPMR identificaram quatro índices ecomorfológicos como sendo os mais importantes na diferenciação da dieta, predizendo o consumo de um único item alimentar, ‘insetos’. Segundo o critério de sensibilidade, os preditores mais importantes para explicar o consumo de ‘insetos’ foram, em sequência, a posição do olho (PO), razão de aspecto da nadadeira anal (RAA), largura relativa do pedúnculo caudal (LRPd) e razão de aspecto da nadadeira pélvica (RAPv) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado dos modelos significativos (NPMR) com as variáveis respostas associadas aos seus preditores.

Variável resposta	xR ²	p-valor	Preditores (Sensitividade 1)
insetos*	0.4124	0.019	PO (0.7858) RAA (0.1885) LRPd (0.1296) RAPv (0.1179)
insetos*	0.2428	0.037	PO (0.8774)

* O item alimentar ‘insetos’ corresponde a todo conteúdo estomacal atribuído à classe Insecta e que não pode ser identificado em categorias taxonômicas mais específicas.

O resultado da análise de regressão parcial mostrou que a posição do olho (PO) e a razão de aspecto da nadadeira anal (RAA) foram as variáveis mais explicativas e significativas para o consumo de “insetos”, enquanto a razão de aspecto da nadadeira pélvica (RAPv) e a largura relativa do pedúnculo caudal (LRPd) apresentaram baixa explicação e ausência de significância (Tabela 3).

Tabela 3. Modelos NPMR parciais de cada variável preditora para o consumo de ‘insetos’. Valores estatisticamente significativos estão marcados em negrito.

Parâmetro	Variável ecomorfológica			
	PO	RAA	RAPv	LRPd
xR ² (%)	17,97	12,61	4,54	4,49
p-valor	0,004	0,006	0,758	0,621

De maneira geral, observamos uma relação negativa entre o consumo de insetos e os índices ecomorfológicos significativos. O consumo de insetos diminuiu conforme os valores de PO e RAA aumentam. Outra interpretação seria que o consumo de insetos é maior quando os valores dos índices PO e RAA são baixos e decresce quando os valores desses índices aumentam (Figs. 4-5). Dessa forma, notamos segregação alimentar no consumo de insetos em função desses dois índices. Assim, indivíduos que se encontram na dimensão de nicho no qual esses dois índices são baixos consomem insetos em maior quantidade, ao passo que indivíduos que se encontram na dimensão de nicho no qual esses dois índices são altos consomem insetos em menor quantidade.

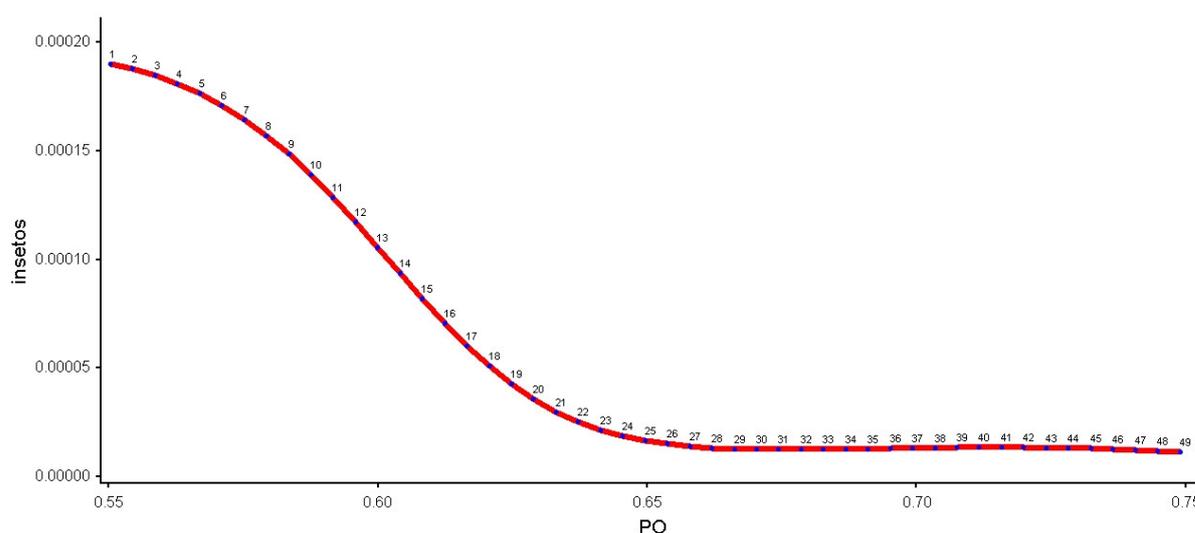


Fig. 4. Consumo do item alimentar ‘insetos’ medido em volume (ml) em função do índice ecomorfológico ‘posição do olho’ (PO).

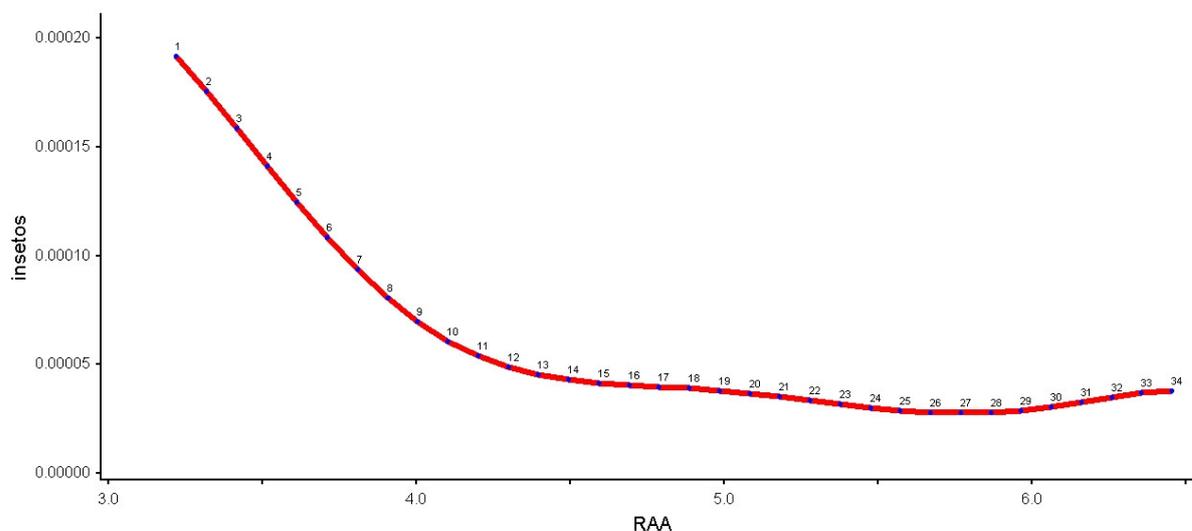


Fig. 5. Consumo do item alimentar ‘insetos’ medido em volume (ml) em função do índice ecomorfológico ‘razão de aspecto da nadadeira anal’ (RAA).

4 DISCUSSÃO

Varição individual na dieta

Nossos resultados mostraram que há variação individual na dieta do caracídeo endêmico *A. xavante*. Essa evidência empírica vem a contradizer a ideia das teorias clássicas de que os organismos são equivalentes no consumo dos recursos e corroborar a existência de especialização alimentar em populações naturais, assim como encontrada em outras espécies (Araújo *et al.*, 2009; Bolnick & Paull, 2009; Araújo *et al.*, 2011).

Mesmo compondo apenas uma parte de TNW, o componente intraindividual esteve relativamente próximo do nicho total da população, um indicativo que levaria a supor que a população estudada é generalista. Porém, isso não aconteceu aqui. De fato, até mesmo espécies generalistas são, na verdade, compostas por indivíduos relativamente especializados, o que nos leva à necessidade de entender o quanto essa especialização individual seria forte ou fraca (Bolnick *et al.*, 2007).

De acordo com especificações de Bolnick *et al.* (2003), que propôs uma escala com diferentes graus de especialização individual obtidos de populações hipotéticas, o valor de WIC/TNW encontrado para *A. xavante* se aproxima de uma população com WIC/TNW =

0,75. Esse valor indica existência de especialização individual, porém com alto valor do componente intraindividual e baixa largura total de nicho (Bolnick *et al.*, 2003). Isto significa dizer que o nicho alimentar da espécie possui baixa amplitude. Nichos estreitos são característicos de espécies especialistas, as quais possuem uma amplitude estreita de utilização de recursos, vivendo adequadamente dentro de uma faixa estreita de condições onde podem ter uma melhor taxa de sobrevivência e captura de presas (Peers *et al.*, 2012). Dessa forma, os especialistas devem se encontrar em habitats mais específicos e, assim, serem mais sensíveis às mudanças ambientais, como, por exemplo, as mudanças climáticas (Klockmann *et al.*, 2016). Estas assertivas estão fortemente de acordo com a espécie *A. xavante*, que é endêmica e, particularmente, com a nossa população em estudo, que é totalmente isolada de outras subpopulações da espécie e até de outros competidores interespecíficos. Neste contexto, uma atenção especial à conservação da espécie deve ser dada, considerando que as mudanças climáticas são um fato recorrente e têm efeitos diretos sobre as espécies mais sensíveis (Bellard *et al.*, 2012). Há de se destacar a importância de *A. xavante* estar localizada em uma área de preservação permanente (PESA). Entretanto, como o parque é adjacente à área urbana do município onde está localizado, é necessário tornar efetivo o controle de visitação ao parque e minimizar os efeitos diretos causados por influências humanas, como, por exemplo, a constante ameaça de fogo que poderia devastar toda a vegetação e alterar a disponibilidade de alimento, inclusive no habitat aquático, visto a mata ciliar ser fonte importante de recursos alimentares para peixes de riachos (Andrian *et al.*, 2001; Borba *et al.*, 2008).

Podemos fazer algumas considerações sobre os fatores ecológicos que levam à especialização individual. Segundo Araújo *et al.* (2011), as interações ecológicas podem modificar a intensidade da especialização individual por meio de dois aspectos. Em primeiro lugar temos que considerar a teoria de forrageamento ótimo (TFO). Em segundo lugar, consideramos que a especialização individual (WIC/TNW) depende de três fatores: dietas ótimas, critério de otimização e hierarquia social. A TFO procura explicar porque os indivíduos usam apenas um subconjunto de recursos. A teoria afirma que os indivíduos avaliam seus recursos pelo valor energético (optando pelos mais valiosos), o tempo para manipulá-lo (dependente das características dos indivíduos) e a capacidade fenotípica para capturar, manusear e digerir. Nessa perspectiva, quando os recursos se tornam escassos deveria ocorrer expansão de nicho à medida que os indivíduos passam a utilizar recursos antes

não consumidos. Assim, a largura do nicho depende da diversidade de recursos (oportunismo ecológico), traços fenotípicos e abundância de recursos.

Dessa forma, os indivíduos devem apresentar diferenças no consumo alimentar de três maneiras diferentes. Primeiro, porque eles podem ter dietas ótimas diferentes que se devem, por exemplo, à variação fenotípica que pode produzir diferenças na forma de detectar, capturar, manipular e digerir o alimento. Segundo, porque eles devem usar diferentes critérios de otimização para minimizar o risco de predação, maximizar o consumo ou diferentes necessidades fisiológicas. Terceiro, porque em função de indivíduos dominantes, aqueles que são subordinados podem ter sua capacidade de atingir o seu ideal prejudicada e serem incapazes de acessar os recursos preferidos.

Segundo Bolnick *et al.* (2003), as consequências da especialização individual podem ser vistas sob as perspectivas ecológica, evolutiva e conservacionista. Ecologicamente, o entendimento sobre a variação individual pode servir como uma completa descrição de um sistema biológico e indicar que diferentes dinâmicas populacionais podem surgir a partir deste fenômeno. A alta variação de nicho entre indivíduos reduz o número de membros da mesma espécie com os quais um determinado indivíduo irá competir. Dessa forma, a população poderá ser dividida em subgrupos que podem competir entre si, porém com baixa competição entre os grupos. Populações muito variáveis podem ser mais estáveis em face de possibilidades tais como competição ou predação, influência sobre diferentes formas de seleção sobre os itens alimentares e diversificação ocorrendo mais prontamente. Numa escala temporal, durante a qual ocorre a especialização individual, muitas das possibilidades anteriormente citadas podem não se confirmar, mas não se tem conhecimento teórico que considera os efeitos consistentes da variação temporal (Bolnick *et al.*, 2003).

Numa perspectiva evolutiva, a variação de nicho intrapopulacional representa um importante aspecto para a seleção natural. O reconhecimento de interações ecológicas no consumo específico de recursos indica que os indivíduos dentro de uma população podem estar sujeitos a pressões seletivas diferentes. Indivíduos especialistas têm vantagens na aptidão (*fitness*), maior eficiência reprodutiva e maior sucesso reprodutivo. Porém, a aptidão no consumo específico de recursos e a especialização individual facilitam as interações dependentes de frequência que podem levar à seleção disruptiva, na qual indivíduos fenotipicamente intermediários poderiam sofrer alta competição e ter menor aptidão. Essa seleção disruptiva pode levar à expansão de nicho, evolução de polimorfismos e do

isolamento reprodutivo e à radiação adaptativa. Entretanto, a variação intrapopulacional nem sempre leva ao isolamento reprodutivo. Se tais efeitos irão levar a algum traço evolutivo, isso dependerá de sua herdabilidade e consistência temporal da variação individual (Bolnick *et al.*, 2003).

Ainda, segundo Bolnick *et al.* (2003), sob uma perspectiva conservacionista, populações de especialistas individuais podem ser prejudicadas, visto que os planos de gestão geralmente objetivam preservar os recursos básicos das espécies visando algum recurso médio. No entanto, a variação de nicho dentro de uma população pode ajudar a amenizar a perda de determinados habitats ou recursos (tróficos). A biologia da conservação destaca a importância de preservar a variação intraespecífica para preservar a diversidade genética de uma espécie e a sua capacidade de se adaptar às mudanças ambientais. A especialização individual é negativamente correlacionada com o número de espécies coocorrentes (Bolnick *et al.*, 2003). Dessa forma, subentende-se que, para preservar populações de uma espécie com alta variância (maior especialização individual), é necessário concentrar os esforços de preservação em um habitat que apresenta baixa diversidade interespecífica. Então, como as reservas ambientais objetivam preservar habitats com alta biodiversidade, isso diminuiria a diversidade de nichos tróficos intraespecífica. Neste caso, o estudo da variação intrapopulacional no uso de recursos alimentares em *A. xavante* fornece subsídios (evidência empírica) para a ideia de que preservar um habitat com baixa diversidade é extremamente importante para manter (preservar) populações que são totalmente isoladas de outros congêneres e que vivem na ausência de outros competidores interespecíficos, como é o caso da espécie-modelo desta pesquisa. Por essa perspectiva, *Astyanax xavante* torna-se um ícone entre os caracídeos de riacho e faz por si mesma um patrimônio natural, ecológico e genético.

Dieta em função da ecomorfologia

Nossos resultados indicaram que a ecomorfologia relaciona-se com a dieta de *A. xavante*, sendo a posição do olho (PO), razão de aspecto da nadadeira anal (RAA), razão de aspecto da nadadeira pélvica (RAPv) e a largura relativa do pedúnculo caudal (LRPd) os índices ecomorfológicos mais relevantes predizendo o consumo de um único item alimentar, insetos.

Maiores valores do índice RAPv são encontrados em peixes com hábitos pelágicos com alta capacidade de equilíbrio, enquanto baixos valores são encontrados principalmente em peixes bentônicos, pois auxiliam os mesmos a manterem o corpo no fundo do leito de habitats lóticos (Gatz Jr., 1979; Oliveira *et al.*, 2010). Além disso, as nadadeiras pélvicas forçam o corpo do peixe para baixo durante o movimento, atuando em conjunto com as peitorais no controle da posição vertical (Breda *et al.*, 2005). Dessa forma, maiores valores do índice de RAPv são encontrados em peixes que nadam mais ativamente, de modo que a movimentação e forma das nadadeiras pélvicas atuam para ajustar verticalmente o corpo do peixe durante a natação e regular a sua subida ou descida na coluna d'água.

Altos valores do índice LRPd indicam indivíduos com melhor performance no nado contínuo (Oliveira *et al.*, 2010) e apresentam boa capacidade natatória (Santos *et al.*, 2011). De forma geral, as medidas acerca do pedúnculo caudal estão relacionadas ao quanto a sua rigidez permite ao peixe aplicar maior flexibilidade e força à nadadeira caudal durante a propulsão (Gatz Jr., 1979). Um pedúnculo caudal estreito fornece grande amplitude de deslocamento e controle do ângulo de ataque (Webb, 1984). Então, indivíduos com diferentes formas do pedúnculo caudal, principalmente com relação à largura, devem apresentar diferenças na capacidade de realizar movimentos oscilatórios com a nadadeira caudal, levando determinados indivíduos a terem arrancadas mais rápidas ou mais lentas no nado conforme a forma do seu pedúnculo.

Apesar de a variável qualitativa orientação dos olhos (OrO) ser a mesma entre os indivíduos de *A. xavante* (orientação lateral), a posição dos olhos apresentou variação (PO). Este índice indica a altura relativa dos olhos com relação à altura da cabeça. Esta variável está relacionada com a posição preferencial do peixe na coluna d'água (Oliveira *et al.*, 2010), de modo que olhos posicionados mais lateralmente (mais baixos) indicam hábitos pelágicos, enquanto uma posição dorsal (mais altos) está associada a um modo de vida mais sedentário e bentônico (Gatz Jr., 1979). Ter os olhos posicionados a diferentes alturas em relação à cabeça, seja mais lateralmente ou dorsalmente, implica na capacidade dos indivíduos detectarem presas que se localizam em diferentes alturas na coluna d'água, pois as mesmas podem ser mais frequentes na superfície da água, na massa d'água ou nos bentos.

Nadadeira anal com grande razão de aspecto (RAA) indica alta capacidade para realizar progressão ou regressão de movimentos (Oliveira *et al.*, 2010). A nadadeira anal trabalha em conjunto com a nadadeira dorsal para ajustar a posição do corpo durante a propulsão, levando

à estabilização do movimento de progressão, promovendo frenagens ou permitindo mudar de direção bruscamente (Breda *et al.*, 2005). Essa característica implica no modo pelo qual o peixe pode caçar e perseguir ativa e eficientemente a sua presa, permitindo ao mesmo reverter o seu movimento quando a presa mudar de direção, por exemplo.

Esses dois índices (PO e RAA) foram os mais importantes para o consumo de insetos, muito provavelmente porque estão relacionados à maior capacidade de percepção das presas e de possibilitar movimentos mais precisos durante o forrageamento. A posição do olho e a robustez (razão de aspecto) das nadadeiras têm muito a ver com a posição vertical do peixe na coluna d'água, de forma que isso levaria determinados indivíduos a serem mais aptos em localizar e capturar sua presa na superfície, na região pelágica, ou no fundo do riacho. A capacidade de capturar presas nos diferentes micro habitats do meio aquático, em função de diferenças na morfologia, leva indivíduos dentro de uma população a consumirem distintos itens alimentares e em quantidades diferentes. Dessa forma, peixes mais ágeis em perceber e capturar suas presas irão consumir mais eficientemente e em maior quantidade que os demais indivíduos que não possuem tais características morfológicas. Esse fato leva os indivíduos a evitarem a competição e, assim, aumentar a especialização individual no consumo alimentar.

Todas essas assertivas podem indicar que pequenas diferenças na morfologia corporal, particularmente sobre os órgãos ou parte do corpo envolvidos nos índices ecomorfológicos aqui considerados, podem ser cruciais para um melhor desempenho individual, influenciando diretamente na performance em detectar, atacar, capturar e o modo processamento das presas.

O consumo diferenciado no uso de recursos permite que os indivíduos dos mais variados tamanhos (ocupando diferentes nichos) coexistam em uma mesma população. Em um nicho morfológico n-dimensional, cada grupo morfológicamente não-semelhante (distinto) irá consumir recursos em diferentes níveis tróficos, diminuindo dessa forma a sobreposição alimentar e aumentando a disponibilidade de recursos para os demais grupos. Entretanto, a existência de certo grau de sobreposição alimentar (alto grau de especialização e nicho estreito), como foi verificado para *A. xavante*, mostra que alguns indivíduos de cada grupo com semelhança morfológica eventualmente consomem itens alimentares em variados níveis tróficos, diferentes daqueles que seriam esperados em função de sua morfologia. Esse tipo de comportamento aponta a existência de oportunismo alimentar para a espécie modelo desse estudo, e indica certa importância ecológica. Peixes oportunistas consomem itens alimentares que são pouco habituais da sua dieta ou que são abundantes (Gerking, 1994),

possivelmente para satisfazer suas necessidades nutricionais, podendo levar a modificações nos padrões de especialização trófica e performances individuais (Evangelista *et al.*, 2014). O sucesso em aproveitar as oportunidades irá depender da capacidade do peixe em capturar e ingerir sua presa (Gerking, 1994).

5 CONCLUSÕES

Em resumo, nós concluímos que a população de *A. xavante* considerada nesse estudo é composta de indivíduos especialistas. O grau de especialização foi relativamente alto, com alto valor do componente intraindividual e curto nicho total da população, apesar de a população apresentar uma dieta composta por ampla gama de itens alimentares. Essa especialização deve se dar por conta de diferenças em dietas ótimas, no risco de predação e em função da hierarquia social. Como consequência, a população deve ser composta por subgrupos, mas com baixa competição entre grupos (perspectiva ecológica), com os indivíduos especialistas tendo melhor aptidão e sucesso reprodutivo (perspectiva evolutiva), tornando a variação intraespecífica um fator importante na preservação da variação genética e adaptação às mudanças ambientais (perspectiva conservacionista). Sugerimos que ações conservacionistas devem objetivar conservar, além dos recursos básicos, também aqueles que garantem a sobrevivência dos especialistas. Contrariamente às ações comumente adotadas pelos planos de manejo, nossos resultados sugerem fortemente a ideia de que preservar habitats pouco diversos é tão importante quanto aqueles altamente diversificados.

A variação individual no uso de recursos foi acompanhada pela variação morfológica. Quando consideramos os atributos ecomorfológicos em *A. xavante*, aqueles que mais interferem na dieta, preferencialmente para o consumo de insetos, estão relacionados aos órgãos locomotores (nadadeiras e pedúnculo caudal) e de percepção (olhos), promovendo diferenças individuais relacionadas à capacidade natatória e perceptiva. Considerando que as diferenças morfológicas relatadas nesse estudo estão relacionadas a diferentes graus de consumo alimentar (insetos), podemos considerar que este seja um dos mecanismos ecológicos que esteja sendo determinante na incidência e grau de especialização individual em *A. xavante*.

Pesquisas futuras podem objetivar verificar se a especialização individual nessa espécie também se repete em nível de comunidade, ou seja, qual o grau de especialização em *A.*

xavante quando em convívio com outras espécies? Outra questão seria analisar o grau de especialização individual utilizando alguns métodos tais como observação direta e isótopos estáveis, ou ainda com relação às características comportamentais, fisiológicas, período reprodutivo, idade, ontogenia, sexo, variação temporal e diversidade de habitats.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelha, M. C. F., A. A. Agostinho, E. Goulart. 2001. Plasticidade trófica em peixes de água doce. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 23: 425-434.
- Albert, J. S., P. Petry, R. E. Reis. 2011. Major biogeographic and phylogenetic patterns. Pp. 21-57. In: J. S. Albert & R. E. Reis (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Berkeley: University of California Press.
- Andrian, I. F., H. B. R. Silva & D Peretti. 2001. Dieta de *Astyanax bimaculatus* (Linnaeus, 1758) (Characiformes, Characidae), da área de influência do reservatório de Corumbá, estado de Goiás, Brasil. *Maringá, Acta Scientiarum*, 23: 435-440.
- Araújo, M. S., D. I. Bolnick & C. A. Layman. 2011. The ecological causes of individual specialisation. *Ecology Letters*, 14: 948-958.
- Araújo, M. S., D. I. Bolnick, L. A. Martinelli, A. A. Giaretta & S. F. dos Reis. 2009. Individual level diet variation in four species of Brazilian frogs. *Journal of Animal Ecology*, 78: 848-856.
- Araújo, M. S., S. F. Reis, A. A. Giaretta, G. Machado & D. I. Bolnick. 2007. Intrapopulation diet variation in four frogs (Leptodactylidae) of the Brazilian Savannah. *Copeia*, 4:855-865.
- Bellard, C., C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller & F. Courchamp. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15: 365-377.
- Bemvenuti M. A. & L. G. Fischer. 2010. Peixes: Morfologia e adaptações. *Cadernos de Ecologia Aquática*. 5: 31-54.
- Bicudo, C. E. M. & R. M. T Bicudo. 1970. Algas de águas continentais brasileiras. In: *Algas de águas continentais brasileiras*. Funbec.

- Bolnick, D. I., P. Amarasekare, M. S. Araújo, R. Bürger, J. M. Levine, M. Novak, V. H. W. Rudolf, S. J. Schreiber, M. C. Urban & D. A. Vasseur. 2011. Why intraspecific trait variation matters in community ecology. *Trends in ecology & evolution*, 26: 183-192.
- Bolnick, D. I. & M. S. Araújo. 2011. Partitioning the relative effects of diet and trophic morphology on fitness in stickleback. *Evolutionary Ecology Research*. 13: 439-459.
- Bolnick, D. I., & J. S. Paull. 2009. Morphological and dietary differences between individuals are weakly but positively correlated within a population of threespine stickleback. *Evolutionary Ecology Research*, 11: 1217-1233.
- Bolnick, D. I., R. Svanbäck, M. S. Araújo & L. Persson. 2007. Comparative support for the niche variation hypothesis that more generalized populations also are more heterogeneous. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104: 10075-10079.
- Bolnick, D. I., R. Svanbäck, J. A. Fordyce, L. H. Yang, J. M. Davis, C. D. Hulsey, & M. L. Forister. 2003. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *The American Naturalist*, 161: 1-28.
- Bolnick, D. I., L. H. Yang, J. A. Fordyce, J. M. Davis & R. Svanbäck. 2002. Measuring individual-level resource specialization. *Ecology*, 83: 2936-2941.
- Borba, C. da S., Fugi, R., Agostinho, A. A., & Novakowski, G. C. 2008. Dieta de *Astyanax asuncionensis* (Characiformes, Characidae), em riachos da bacia do rio Cuiabá, Estado do Mato Grosso. *Maringá, Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 30: 39-45.
- Breda, L., E. F. Oliveira & E. Goulart. 2005. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. *Maringá, Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 27: 371-381.
- Buckup, P.A., N.A. Menezes & M.S. Ghazzi. 2007. Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Museu Nacional, Rio de Janeiro.
- Cailliet, G. M., M. S. Love, & A. W. Ebeling. 1986. *Fishes: a field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history*. Belmont, California, USA. Wadsworth Publishing. 194p.

- Chessel, D., A.B. Dufour & J. Thioulouse. 2004. The ade4 package-I-One-table methods. *R News*, 4: 5-10.
- Conselho Federal de Medicina Veterinária. Guia brasileiro de boas práticas para eutanásia em animais. 2012. Website: <http://www.cfmv.gov.br/portal/destaque.php?cod=880>. Acesso: 30 de abril de 2015.
- Cucherousset, J., A. Acou, S. Blanchet, J.R. Britton, W.R.C. Beaumont & R.E. Gozlan. 2011. Fitness consequences of individual specialization in resource use and trophic morphology in European eels. *Oecologia*, 167: 75–84.
- Dall, S. R. X., A. M. Bell, D. I. Bolnick & F. L. W. Ratnieks. 2012. An evolutionary ecology of individual differences. *Ecology Letters*, 15: 1189-1198.
- Dray, S. & A.B. Dufour. 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22: 1-20.
- Durell, S. E. A. Le V. Dit. 2000. Individual feeding specialisation in shorebirds: population consequences and conservation implications. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 75: 503-518.
- Estes, J. A., M. L. Riedman, M. M. Staedler, M. T. Tinker & B. E. Lyon. 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: patterns, causes and implications. *Journal of Animal Ecology*, 72: 144-155.
- Esteves, K.E. & J.M.R. Aranha. 1999. Ecologia trófica de peixes de riachos. Pp. 157-182. In: Caramaschi E.P., R. Mazzoni, C.R.S.F. Bizerril, P.R. Peres-Neto (Eds.). *Ecologia de Peixes de Riachos: Estado Atual e Perspectivas*. *Oecologia Brasiliensis*, v. 6, PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- Evangelista, C., A. Boiche, A. Lecerf & J. Cucherousset. 2014. Ecological opportunities and intraspecific competition alter trophic niche specialization in an opportunistic stream predator. *Journal of Animal Ecology*, 83: 1025-1034.
- Fema - Fundação Estadual do Meio Ambiente - MT. 2000. Diagnóstico ambiental do Parque Estadual da Serra Azul. Barra do Garças. SEMA.
- Fox, F. & S. Weisberg. 2012. Bootstrapping Regression Models in R. An Appendix to *An R Companion to Applied Regression*, Second Edition. Available from:

<http://socserv.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/appendix/Appendix-Bootstrapping.pdf>. (Date of access – 05 April 2016).

- Garutti, V. & P. C. Venere. 2009. *Astyanax xavante*, a new species of characid from middle rio Araguaia in the Cerrado region, Central Brazil (Characiformes: Characidae). *Neotropical Ichthyology*, 7: 377-383.
- Gatz Jr., A. J. 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane studies in Zoology and Botany*, 21: 91-124.
- Gerking, S.D. 1994. Feeding ecology of fish. California, Academic Press, 416p.
- Gullan, P. J. & Cranston, P. S. 2007. Os insetos: um resumo de entomologia. Roca.
- Helfman, G. S., B. B. Collette, D. E. Facey & B. W. Bowen. 2009. The diversity of fishes: Biology, Evolution and Ecology. Ed. Wiley-Blackwell, 2 ed., 720p.
- Higuti, J. & G. M. S. Franco. 2001. Identificação de invertebrados para análise de conteúdo estomacais de peixes. Maringá: UEM.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415–427.
- Keenleyside, M.H.A. 1979. Diversity and adaptation in fish behaviour. *Zoophysiology*. Berlin, Springer, v. 11, 177p.
- Klockmann, M., M. Scharre, M. Haase & K. Fischer. 2016. Does narrow niche space in a ‘cold-stenothermic’ spring snail indicate high vulnerability to environmental change? *Hydrobiologia*, 765: 71-83.
- Martin, R. A., & D. W. Pfennig. 2009. Disruptive selection in natural populations: the roles of ecological specialization and resource competition. *The American Naturalist*, 174: 268-281.
- McCune, B. 2006. Nonparametric habitat models with automatic interactions. *Journal of Vegetation Science*, 17: 819-830.
- McCune, B. 2009. Nonparametric Multiplicative Regression for Habitat Modeling. Available from: <http://www.pcord.com/NPMRintro.pdf>. (Date of access – 05 April 2016).

- McCune, B. & M. J. Mefford. 2011. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.07 MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Motta, P. J., K. B. Clifton, P. Hernandez & B. T. Eggold. 1995. Ecomorphological correlates in ten species of subtropical seagrass fishes: diet and microhabitat utilization. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 37-60.
- Nelson, J. S. 2006. *Fishes of the World*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 4 ed., 601p.
- Oliveira, E. F., E. Goulart, L. Breda, C. V. Minte-Vera, L. R. S. Paiva & M. R. Vismara. 2010. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. *Neotropical Ichthyology*, 8: 569-586.
- Peers, M. J., D. H. Thornton & D. L. Murray. 2012. Reconsidering the specialist-generalist paradigm in niche breadth dynamics: resource gradient selection by Canada lynx and bobcat. *PloS ONE*, 7: e51488.
- Peres-Neto, P. 1999. Alguns métodos e estudos em ecomorfologia de peixes de riachos. Pp. 209-236. In: Caramaschi E.P., R. Mazzoni, P.R. Peres-Neto (Eds.). *Ecologia de Peixes de Riachos*. *Oecologia Brasiliensis*, v. 6, PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Roldán, G. 1988. *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Roughgarden, J. 1972. Evolution of niche width. *American Naturalist* 106:683–718.
- Santos, A. B. I., F. L. Camilo, R. J. Albieri & F. G. Araújo. 2011. Morphological patterns of five fish species (four characiforms, one perciform) in relation to feeding habits in a tropical reservoir in south-eastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 27: 1360–1364.
- Snowberg, L. K. & D. I. Bolnick. 2008. Assortative mating by diet in a phenotypically unimodal but ecologically variable population of stickleback. *The American Naturalist*, 172: 733-739.

- Svanbäck, R. & D. I. Bolnick. 2005. Intraspecific competition affects the strength of individual specialization: an optimal diet theory method. *Evolutionary Ecology Research*, 7: 993-1012.
- Tinker, M. T., P. R. Guimarães Jr, M. Novak, F. M. D. Marquitti, J. L. Bodkin, M. Staedler, G. Benthall & J. A. Estes. 2012. Structure and mechanism of diet specialisation: testing models of individual variation in resource use with sea otters. *Ecology letters*, 15: 475-483.
- Venere, P.C. & V. Garutti. 2011. Peixes do Cerrado: Parque Estadual da Serra Azul, rio Araguaia, MT. São Carlos: Rima, Fapemat, 220p.
- Watson, D. J., & E. K. Balon. 1984. Ecomorphological analysis of fish taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *Journal of Fish Biology*, 25, 371-384.
- Webb, P. W. 1984. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*, 24: 107-120.
- Winemiller, K.O. 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecological Monographs* 61:343–365.
- Zaccarelli, N., G. Mancinelli & D.I. Bolnick. 2013. RInSp: an R package for the analysis of individual specialisation in resource use. *Methods in Ecology and Evolution*, 4: 1018-1023.

ARTIGO II

**A ECOMORFOLOGIA PREDIZ A ALIMENTAÇÃO EM TRÊS COMUNIDADES DE
PEIXES DE RIACHOS NO BRASIL CENTRAL**

Será submetido à Revista *Neotropical Ichthyology* (Anexo A)

RESUMO — (A ecomorfologia prediz a alimentação em três comunidades de peixes de riachos no Brasil Central). Peixes de riachos são organismos diversos que apresentam variadas formas corporais e adaptações alimentares. A dieta das espécies nas comunidades é pensada para ser correlacionada com a morfologia externa e interna. A relação entre a morfologia e a dieta das espécies de peixes de três córregos do Cerrado, no Brasil Central, foi avaliada com o objetivo de verificar se a ecomorfologia seria capaz de prever o consumo alimentar dessas espécies. Durante a estação seca de 2014, fizemos amostragens nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, todos nascentes do Parque Estadual da Serra Azul e afluentes do médio rio Araguaia. Coletamos os espécimes por meio de rede de arrasto, puçás e peneiras. Calculamos 15 índices ecomorfológicos a partir de 22 medidas morfológicas, entre outras, relacionadas à alimentação. Amostramos o conteúdo estomacal e os itens alimentares identificados foram quantificados por meio do método volumétrico. Para testar a hipótese de que a ecomorfologia prediz a alimentação nas três comunidades aplicamos a matriz resposta de dieta em função da matriz preditora morfológica, controlando o efeito da filogenia, a uma análise canônica de redundância (RDA). Observando o princípio da parcimônia, selecionamos as variáveis preditoras morfológicas. As variáveis morfológicas mais importantes para prever o consumo alimentar com as respectivas categorias tróficas dos peixes foram, no córrego Peixinho, o tipo de dentição e posição da boca (insetívoros, algívoros e carnívoros) e a altura relativa da boca (insetívoros e invertívoros); no Pitomba, também o tipo de dentição (insetívoros, invertívoros, herbívoros e algívoros) e o coeficiente intestinal (detritívoros); e no Ouro Fino, a orientação dos olhos e da boca (invertívoros, detritívoros e algívoros), o comprimento relativo da cabeça (insetívoros, invertívoros e herbívoros) e novamente o tipo de dentição (insetívoros). Essas variáveis estiveram relacionadas com a posição dos peixes na coluna d'água, com o tamanho das presas consumidas, e a capacidade de processamento e absorção dos itens alimentares. Concluímos que a ecomorfologia mostra-se adequada para prever o consumo alimentar nas comunidades de peixes dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino.

Palavras-chave: comunidade, cerrado, dieta, estrutura trófica, padrões ecomorfológicos.

ABSTRACT — (The ecomorphology predicts the diet in communities of three streams fishes species in Central Brazil). Stream fishes are diverse organisms presenting various body shapes and dietary adaptations. The diet of the species in the communities is thought to be correlated with the external and internal morphology. The relationship between the morphology and the diet of three fish stream species of Cerrado, in central Brazil, was evaluated with the aim of verifying if the ecomorphology would be able to predict the food consumption of these species. During the dry season 2014, we sampled the Peixinho, Pitomba and Ouro Fino streams, all of them springs of the Parque Estadual da Serra Azul and tributaries of the middle river Araguaia. We collected specimens by trawls, dip nets and screens. We calculated 15 ecomorphological indices from 22 morphological measurements, among others related to food. We sampled the stomach contents, and identified food items were quantified by the volumetric method. To test the hypothesis that ecomorphology predicts feeding in the three communities, we applied the diet response matrix as a function of morphological predictor matrix in a canonical redundancy analysis (RDA), controlling for the effect of phylogeny. Considering the principle of parsimony, we selected the morphological predictor variables. The most important morphological variables to predict food consumption, with their trophic categories of fish, were, in Peixinho stream, the type of teeth and mouth position (insectivores, algivores and carnivores) and the relative height of mouth (insectivores and invertivores); in Pitomba, also the type of dentition (insectivores, invertivores, herbivores and algivores) and the intestinal coefficient (detritivores); and in Ouro Fino, the orientation of the eyes and mouth (invertivores, detritivores and algivores), the relative head length (insectivores, invertívoros and herbivores) and, again, the type of dentition (insectivores). These variables were related to the fish position in the water column, with the size of prey consumed, and processing capacity and absorption of food items. We conclude that ecomorphology proved to be suitable to predict food consumption in fish communities of Peixinho, Pitomba and Ouro Fino streams.

Keywords: community, savannah, diet, trophic structure, ecomorphological patterns.

1 INTRODUÇÃO

A ecomorfologia é o ramo da ecologia que investiga as relações existentes entre a morfologia (fenótipo) e aspectos ecológicos (variação no uso de recursos) no nível de indivíduos, populações e comunidades, permitindo obter informações sobre a performance real ou o uso de recursos em condições naturais (Peres-Neto, 1999). Um estudo ecomorfológico objetiva compreender as interações que existem entre a morfologia e a ecologia (Norton *et al.*, 1995), como, por exemplo, a dieta de determinada espécie ou a estrutura trófica de uma comunidade. Um dos grandes focos de estudos da ecomorfologia é a relação preditiva entre a forma de um peixe e os padrões de uso das presas por ele consumidas; dessa forma, a morfologia de determinado peixe deve ter um papel muito importante na determinação de sua dieta, pois a variação na sua morfologia é pensada para ser subjacente na variação da capacidade alimentar, que por sua vez deve apresentar um papel crucial na formação de sua dieta (Wainwright & Richard, 1995).

Os peixes são organismos que vivem nos mais diversos habitats aquáticos, apresentam uma grande variedade de formas corporais e muitas adaptações relacionadas à alimentação (Bemvenuti & Fischer, 2010), estando muitas vezes ligadas ao tipo de alimento consumido. Adicionalmente, os métodos de alimentação e hábitos alimentares dos peixes estão fortemente correlacionados com a sua morfologia externa e interna, como, por exemplo, a forma do corpo, a forma da boca, a forma das nadadeiras, a forma dos dentes e o comprimento do intestino, que podem influenciar o que um peixe come e como se alimenta (Cailliet *et al.*, 1986).

Ademais, a ecologia alimentar de determinada espécie de peixe está totalmente associada à dinâmica populacional, contribuindo para a compreensão de assuntos tais como a partilha de recursos, preferência de habitat, seleção de presa, predação, evolução, competição e ecologia trófica (Braga *et al.*, 2012). Esse conhecimento sobre a ecologia alimentar de peixes tem particular interesse no desenvolvimento de estratégias de conservação, o que é de grande importância para a proteção de espécies e ecossistemas (Braga *et al.*, 2012).

Dessa forma, os estudos dos hábitos alimentares podem contribuir para a compreensão das interações entre os membros de uma comunidade (Cailliet *et al.*, 1986). A ecomorfologia pode-se tornar um bom preditor da dieta de peixes de riacho, pois quando conhecemos a forma externa e interna do corpo poderemos deduzir quais as suas preferências de habitat e, conseqüentemente, os itens alimentares que devem fazer parte de sua dieta.

Na região central do Brasil, no domínio do Cerrado, é relatada a ocorrência de uma grande diversidade de peixes, particularmente os de riachos (Venere & Garutti, 2011). Nesta região está localizado o Parque Estadual da Serra Azul (PESA), uma Unidade de Conservação de Proteção Integral que abriga nascentes de muitos córregos locais, que descem a serra e percorrem certa distância até desaguarem na margem esquerda do médio rio Araguaia.

Assim, considerando o poder preditivo da morfologia sobre a dieta de espécies de peixes, escolhemos três desses córregos que nascem no PESA e abordamos um aspecto importante em ecologia de comunidades de peixes de riachos: a relação entre ecomorfologia e alimentação. Em seguida, verificamos se a ecomorfologia pode predizer os hábitos alimentares de diferentes espécies de peixes dentro de cada comunidade dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, tributários do médio rio Araguaia. Ainda, avaliamos quais traços ecomorfológicos são mais importantes para refletir o tipo de alimento consumido entre as espécies de peixes dentro de cada comunidade desses córregos. Analisamos essas questões controlando o efeito da autocorrelação filogenética (Peres-Neto *et al.*, 2006).

Neste trabalho estivemos interessados em responder as seguintes perguntas: a) existe correlação entre ecomorfologia e dieta das espécies nas comunidades de peixes dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino? b) Caso se confirme correlação significativa entre a morfologia e a dieta, quais atributos ecomorfológicos estariam mais relacionados com quais itens alimentares? c) Quais traços ecomorfológicos são mais eficazes em refletir o tipo de alimento consumido?

Nossa hipótese principal é que as espécies das comunidades dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino devem diferir na preferência alimentar em função de seus atributos morfológicos. Os atributos mais relacionados à dieta devem ser aqueles que influenciam na captura e processamento das presas (por exemplo, tamanho e forma corporal, tipo de dentição e posição dos olhos). Esperamos que os traços ecomorfológicos mais importantes para predizer a dieta sejam aqueles relacionados à própria alimentação (por exemplo, cabeça, dentes e órgãos digestivos).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Todos os córregos que amostramos neste trabalho são originados no Parque Estadual da Serra Azul (PESA), município de Barra do Garças, MT, e todos eles drenam para a bacia do médio rio Araguaia. Para estudar a ecomorfologia alimentar realizamos amostragens nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, sendo que os trechos amostrais situam-se no entorno do parque (Fig. 1). O PESA é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral que possui área de 11 mil ha (FEMA, 2000) e é adjacente à área urbana da cidade. O clima da região compreende duas estações bem definidas: o verão chuvoso, que se estende de outubro a abril, e o inverno seco, que vai de maio a setembro (FEMA, 2000). No mês de agosto, quando coletamos os peixes, ocorre o pico da estação seca, o que nos permitiu evitar as alterações nos ambientes causadas pelos possíveis eventos de chuva e que poderiam influenciar os riachos.

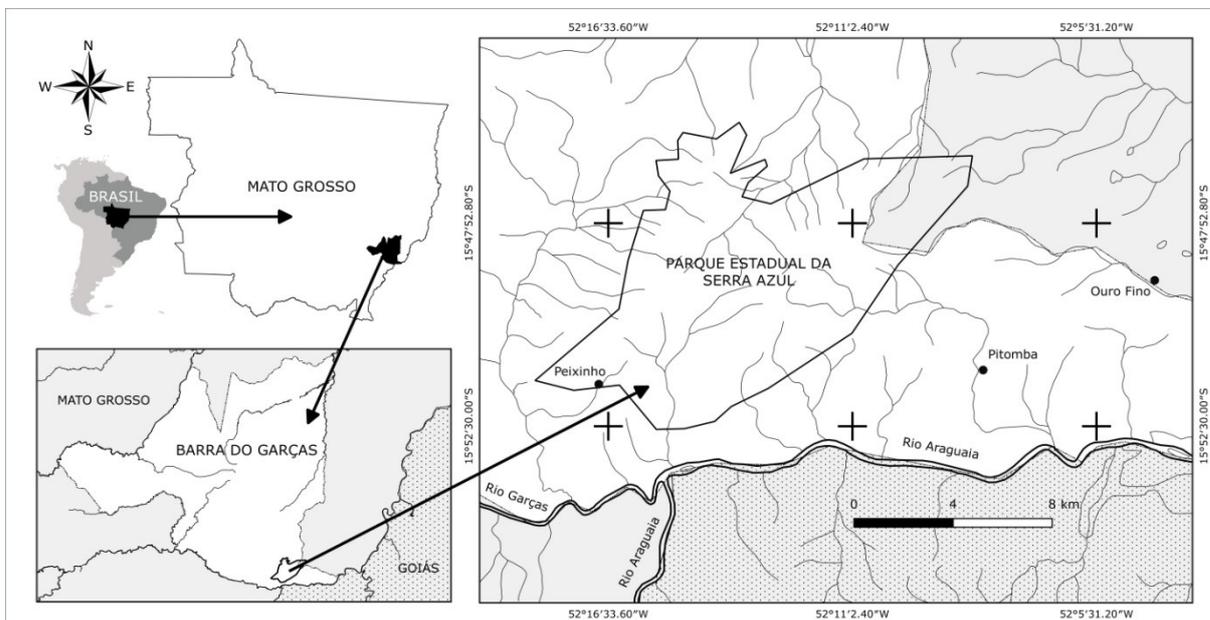


Fig. 1. Área de estudo com a indicação dos trechos amostrais nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, localizados no entorno do Parque Estadual da Serra Azul, Barra do Garças, MT.

2.2 Procedimentos no campo e coleta dos indivíduos

Realizamos uma coleta de campo em cada riacho durante o ápice da estação seca na região, no mês de agosto do ano de 2014, durante o período matutino. Para demarcar o trecho amostral delimitamos uma faixa de 50 m de extensão para amostragem, com a fixação de redes de arrasto no início e no final da faixa para impedir a eventual entrada e/ou fuga de espécimes devido às atividades de amostragem.

Realizamos as coletas dos espécimes mediante pesca por rede de arrasto, puçá e peneiras. Concentramos o esforço amostral no tempo de 60 min na tentativa de capturar todos os peixes que estiveram dentro da faixa amostral, de modo que todo o espaço aquático foi vasculhado com o objetivo de capturar espécies adaptadas a viver nos mais diversos micro-habitats aquáticos.

Colocamos os indivíduos capturados em caixa térmica de isopor contendo água e gelo para se proceder à eutanásia, sendo também utilizado o analgésico geral benzocaína (éster etílico do ácido paraaminobenzóico), como recomendado pelo Conselho Federal de Medicina Veterinária (CFMV, 2012). Posteriormente, transferimos os peixes para sacos plásticos com formalina a 10% para preservar os espécimes.

2.3 Procedimentos no laboratório e coleta de dados

No laboratório, mantivemos os peixes em formalina a 10% durante três dias. Posteriormente, lavamos os espécimes com água até o necessário para retirar o excesso de formaldeído. Em seguida, agrupamos e etiquetamos o material com o nome do respectivo córrego e armazenamos os mesmos em bombonas contendo álcool etílico 70%.

Procedemos à identificação das espécies com o auxílio de chaves taxonômicas, com a eventual utilização de lupas e/ou microscópio para observações corporais mais detalhadas. Logo após, dissecamos os espécimes para a retirada do trato digestivo. Conservamos os tratos digestivos separadamente em pequenos frascos de vidro contendo álcool etílico 70% e identificados pelo número do peixe correspondente.

2.3.1 Ecomorfologia

Como critério de inclusão, amostramos as espécies que apresentaram abundância mínima de três indivíduos até o máximo de 10, considerando os maiores indivíduos em ordem crescente de tamanho (CP – comprimento padrão ou CT – comprimento total, vide Apêndice A). Os demais indivíduos, não inclusos na amostragem, continuaram depositados na coleção ictiológica do laboratório imersos em bombonas contendo álcool etílico 70%.

Para testar a relação entre a dieta e ecomorfologia das espécies coletadas nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino efetuamos 22 medições da morfologia corporal externa e interna, incluindo aquelas relacionadas à alimentação. As medidas da morfologia corporal foram realizadas com algumas adaptações, seguindo as definições e descrições dadas por Gatz Jr. (1979), Watson & Balon (1984), Motta *et al.* (1995), Bemvenuti & Fischer (2010) e Oliveira *et al.* (2010). Destas medidas, quatro variáveis são qualitativas nominais e 18 são quantitativas contínuas (Apêndice A). As variáveis qualitativas foram tomadas por meio de observação direta e o uso de microscópio estereoscópico.

Das 18 variáveis quantitativas, 15 são medidas lineares tomadas em linha reta com auxílio de paquímetro digital (precisão de 0,001 mm) e três são medidas de área. Obtivemos essas medidas de área com uso de papel do tipo vegetal (transparente), que foi posto sobre o órgão a ser mensurado e realizado o contorno da sua forma com o uso de lápis. O desenho (polígono) formado, impresso no papel vegetal, foi posto sobre o papel milimetrado e contamos quantas unidades de 1 mm² preenchem a forma do desenho, resultando assim no respectivo valor da área. Particularmente, para calcular a área do olho (ArO), primeiramente medimos o diâmetro do olho (DO), dividimos o valor obtido pela metade para obter o valor do raio (r) e aplicamos a fórmula matemática tradicional para calcular a área (A) do círculo: $A = \pi * r^2$, em que π = constante matemática que equivale a 3,14; e r = raio, metade do diâmetro do círculo.

2.3.2 Amostragem da dieta

Efetuamos a amostragem quantitativa dos itens alimentares observados pelo método volumétrico (V_o). O volume foi medido com a ajuda de papel milimetrado quadriculado constituído por unidades de 1 mm², posicionado sob uma placa de Petri. Adicionalmente, com

o auxílio de pequenas placas de inox com espessura de 1 mm de altura, obtivemos um volume cúbico com unidade de 1 mm^3 , equivalente a 0,001ml.

Abrimos os tratos digestivos sobre placa de Petri com o auxílio de pinças e bisturi. O conteúdo estomacal foi retirado e colocado sobre a placa de Petri e o excesso de álcool foi removido. O conteúdo foi compactado de modo a compor um “empacotado” com forma de paralelepípedo de 1 mm de altura. Para obter o volume alimentar total de cada trato digestivo, contamos os cubos de 1 mm^3 e convertemos em mililitros ($1 \text{ mm}^3 = 0,001 \text{ ml}$). Adotamos este procedimento de contagem também para obter o volume específico de cada item alimentar encontrado. Analisamos os itens alimentares através de microscópio estereoscópico e microscópio óptico (quando necessário) e identificamos até a categoria taxonômica mais exclusiva possível com o auxílio de literatura específica (Bicudo & Bicudo, 1970; Roldán, 1988; Higuti & Franco, 2001; Gullan & Cranston, 2007).

2.4 Tratamento dos dados e análises estatísticas

2.4.1 Índices ecomorfológicos

A partir das 18 variáveis quantitativas anteriormente citadas, calculamos 15 índices ecomorfológicos. Esses índices são proporções entre algumas medidas lineares e são usados como maneira de minimizar os efeitos das diferentes dimensões corporais sobre os dados ecomorfológicos (Winemiller, 1991) e permitir melhor comparação entre os espécimes. Os cálculos dos índices ecomorfológicos foram realizados seguindo as definições e descrições de Gatz Jr. (1979), Watson & Balon (1984) e Oliveira *et al.* (2010). Estes índices ecomorfológicos estão descritos no Apêndice B com suas siglas e respectivas fórmulas.

2.4.2 Dieta em função da ecomorfologia

2.4.2.1 Preparo das matrizes

Para cada comunidade (córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino), organizamos o conjunto de dados em três matrizes separadas: a matriz preditora, a matriz resposta e a matriz taxonômica. A matriz preditora foi composta pelos dados ecomorfológicos, com os indivíduos das espécies dispostos nas linhas e os índices ecomorfológicos mais as variáveis qualitativas

nas colunas. A matriz resposta foi composta pelos dados de dieta, com os indivíduos das espécies dispostos nas linhas e os itens alimentares nas colunas. A matriz taxonômica foi composta por uma matriz quadrática, com o mesmo número de linhas e colunas, com os indivíduos das espécies dispostos nas linhas e colunas na mesma sequência.

Agrupamos os itens alimentares da matriz resposta em 26 categorias amplas: ‘algas’, ‘Arachnida’, ‘artrópode terrestre’, ‘Coleoptera’, ‘crustáceo’, ‘Diptera aquático’, ‘Diptera terrestre’, ‘Ephemeroptera aquático’, ‘Hemiptera aquático’, ‘Hemiptera terrestre’, ‘Hymenoptera’, ‘inseto aquático’, ‘inseto terrestre’, ‘invertebrado aquático’, ‘invertebrado terrestre’, ‘Isoptera’, ‘larva de Lepidoptera’, ‘larva de Odonata’, ‘Odonata terrestre’, ‘fragmentos de peixe’, ‘Plecoptera’, ‘Psocoptera’, ‘sedimento’, ‘Thysanoptera’, ‘Trichoptera aquático’ e ‘vegetal superior’ (plantas vasculares).

Construímos a matriz taxonômica quadrática segundo os métodos propostos por Douglas & Matthews (1992), aplicando valores discretos de acordo com o grau de similaridade entre pares de indivíduos das espécies, no qual o valor 1 foi aplicado a pares de espécimes congêneros, 2 para espécimes de diferentes gêneros da mesma família, 3 para espécimes de diferentes famílias da mesma ordem e 4 para espécimes de diferentes ordens.

2.4.2.2 Análises estatísticas

Para testar a hipótese de que a ecomorfologia prediz a alimentação nas comunidades dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, realizamos uma análise canônica de redundância (RDA) para cada córrego, no software *R* (R Core Team, 2015), usando os pacotes *vegan* (Oksanen *et al.*, 2015), *packfor* (Dray *et al.*, 2013) e *ape* (Paradis *et al.*, 2004). Realizamos as análises sobre RDA descritas a seguir conforme os métodos propostos por Borcard *et al.* (2011) e de acordo com o *script* de Eisenlohr (2014), com adaptações.

Primeiramente ajustamos os dados da matriz resposta por uma transformação de Hellinger e padronizamos a matriz preditora para a mesma escala. Utilizando as matrizes resposta transformada e preditora padronizada, realizamos uma RDA global prévia para observar se existe correlação significativa entre a ecomorfologia e a dieta. A significância desta análise foi obtida após 999 permutações, utilizando um nível de significância $\alpha = 5\%$ (esse mesmo nível de significância foi utilizado nos demais testes). Havendo significância (p

$\leq 0,05$), realizamos uma seleção progressiva das variáveis preditoras para obter um modelo ajustado sob a ótica da parcimônia (Blanchet *et al.*, 2008).

Realizamos uma RDA final, utilizando as matrizes resposta em função da matriz preditora, agora composta somente pelas variáveis selecionadas. Para evitar a colinearidade entre as variáveis preditoras, verificamos o fator de inflação da variância (VIF) de cada uma, sendo os valores menores que 10 admitidos como aceitáveis. As significâncias da RDA final, assim como seus eixos produzidos, foram obtidas após 999 permutações. Por fim, produzimos os gráficos de RDA resultantes usando apenas os eixos significativos, que apresentam as maiores variâncias explicativas dos modelos.

Posteriormente, utilizando a matriz de dieta como multivariável resposta em função de cada variável preditora selecionada, obtivemos a variância de cada preditor selecionado, particionando-a em relação aos efeitos das demais variáveis e obtendo a significância de cada uma separadamente (999 permutações).

Para controlar a influência filogenética sobre a relação entre dieta e morfologia, usamos a matriz taxonômica, além das matrizes preditora e resposta, e particionamos as variâncias destes três componentes (dieta, morfologia e filogenia). Dessa forma, pudemos remover os efeitos filogenéticos e assim obtivemos as variâncias parciais de cada um dos componentes da análise. Para obter filtros filogenéticos, aplicamos uma análise de coordenadas principais (PCoA) à matriz taxonômica utilizando como índice de dissimilaridade o método de distância euclidiana. Os autovetores produzidos a partir da PCoA foram usados como variáveis para realizar uma RDA (999 permutações). Então, particionamos a variância entre os componentes dieta, morfologia e filogenia, testando a significância das frações “puras” por meio de ANOVAs com 999 permutações (Peres-Neto *et al.*, 2006).

3 RESULTADOS

Selecionamos as espécies mais abundantes (mínimo de três e máximo de 10 indivíduos) de cada comunidade. Assim, a comunidade do córrego Peixinho foi composta por seis espécies, do Pitomba por cinco e do Ouro Fino por sete espécies (Tabela 1).

Utilizando a estatística descritiva, nós sumarizamos, em apêndices, os dados referentes às medidas morfológicas quantitativas (Peixinho, Apêndice F; Pitomba, Apêndice G; Ouro

Fino, Apêndice H), medidas morfológicas qualitativas (Apêndice I), índices ecomorfológicos (Peixinho, Apêndice J; Pitomba, Apêndice K; Ouro Fino, Apêndice L) e dieta (Peixinho, Apêndice M; Pitomba, Apêndice N; Ouro Fino, Apêndice O).

Tabela 1. Lista das espécies mais abundantes coletadas nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino para amostragem das medidas morfológicas e de dieta.

Espécies	Acrônimo	Número de indivíduos coletados	Número de indivíduos amostrados
Córrego Peixinho			
<i>Astyanax argyrimarginatus</i>	Aa	4	4
<i>Astyanax elachylepis</i>	Ae	4	4
<i>Creagrutus figueiredoi</i>	Cf	6	6
<i>Eigenmannia</i> cf. <i>trilineata</i>	Et	3	3
<i>Hyphessobrycon</i> aff. <i>tenuis</i>	Ht	48	10
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	Mo	23	10
Total de indivíduos		88	37
Córrego Pitomba			
<i>Astyanax argyrimarginatus</i>	Aa	4	4
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>rodwayi</i>	Hr	4	4
<i>Hypostomus</i> sp. 3	H3	18	10
<i>Imparfinis mirini</i>	Im	7	7
<i>Knodus</i> cf. <i>breviceps</i>	Kb	6	6
Total de indivíduos		39	31
Córrego Ouro Fino			
<i>Bryconops</i> cf. <i>giacopinii</i>	Bg	4	4
<i>Hemigrammus</i> cf. <i>rodwayi</i>	Hr	29	10
<i>Hypostomus</i> sp. 4	H4	3	3
<i>Knodus</i> cf. <i>breviceps</i>	Kb	11	10
<i>Moenkhausia venerei</i>	Mv	9	9
<i>Odontostilbe</i> sp.	Od	5	5
<i>Melanorivulus zygonectes</i>	Mz	3	3
Total de indivíduos		64	44

Córrego Peixinho

Os resultados da RDA global prévia da comunidade do córrego Peixinho mostraram que 22% do conjunto de variáveis predictoras ecomorfológicas contribuíram para explicar o

conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,004$). Encontramos três variáveis preditoras mais ajustadas para prever o consumo alimentar: o tipo de dentição (TD), altura relativa da boca (ARBo) e a posição da boca (PB) (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis preditoras selecionadas e os valores da estatística do teste do córrego Peixinho. Tipo de dentição (TD), altura relativa da boca (ARBo) e posição da boca (PB). VIF: Fator de Inflação da Variância.

Variáveis	Seleção progressiva			Variância particionada	
	R ² ajustado	<i>p</i> -valor	VIF	Variância	<i>p</i> -valor
TD	9,95%	0,001	1,10	0,0548	0,001
ARBo	9,62%	0,001	1,42	0,0702	0,001
PB	5,17%	0,027	1,52	0,0314	0,023

A RDA final apontou que as três variáveis preditoras ecomorfológicas selecionadas (TD, ARBo e PB) contribuíram para explicar aproximadamente 18% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$) e não foram colineares entre si ($VIF < 10$, Tabela 2). A variância e significância estatística parcial de cada preditor selecionado mostraram o quanto cada uma destas variáveis ecomorfológicas contribuiu para explicar o consumo alimentar na comunidade do córrego Peixinho (Tabela 2). Nesta comunidade, a RDA final indicou os eixos 1 ($F = 5,8979$; $p = 0,001$) e 2 ($F = 3,5689$; $p = 0,002$) como sendo significativos (Fig. 2).

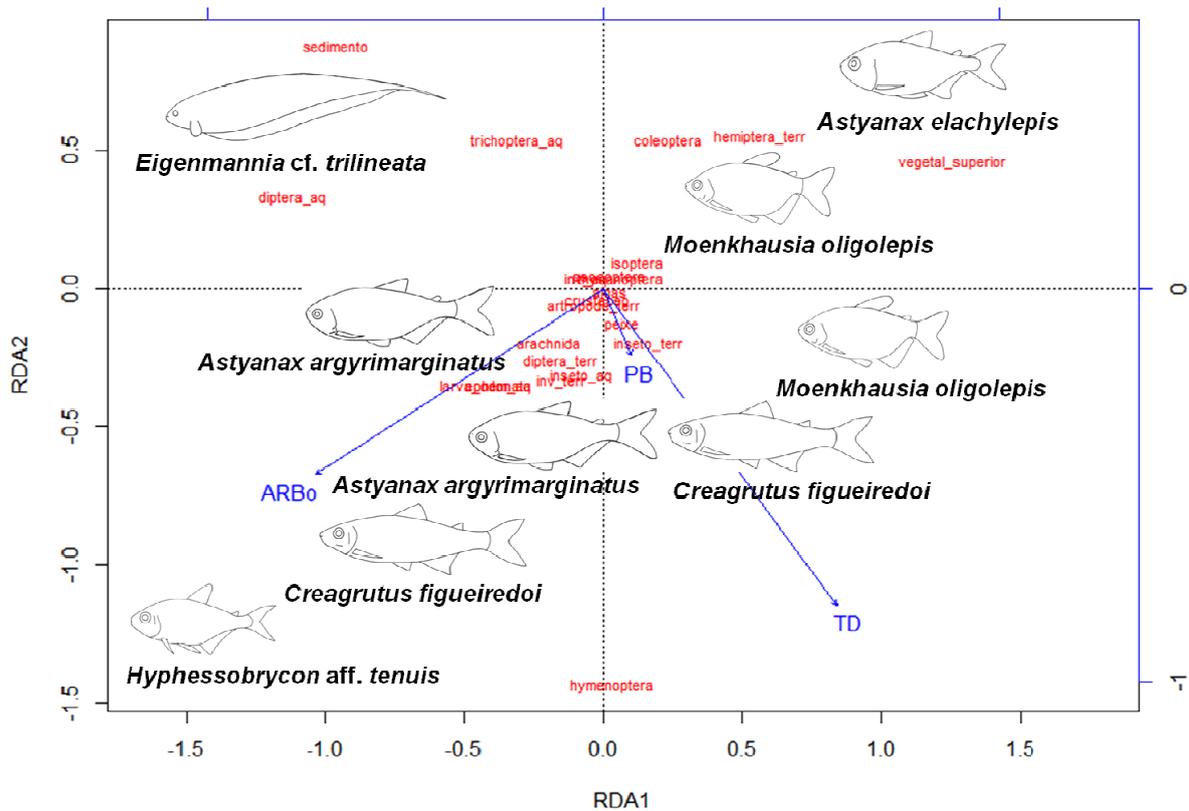


Fig. 2. Projeção das espécies de peixes do córrego Peixinho (indicadas pelos desenhos) com as variáveis predictoras selecionadas (em azul) e os itens alimentares correspondentes (em vermelho).

De acordo com o gráfico de RDA, observamos que o grupo formado pelas espécies *Astyanax argyrimarginatus*, *Creagrutus figueiredoi* e *Moenkhausia oligolepis* foi caracterizado ecomorfológicamente pelo tipo de dentição (TD) e posição da boca (PB), levando essas espécies a consumir itens alimentares nas categorias tróficas dos carnívoros ('fragmentos de peixes'), insetívoros ('insetos terrestres') e algívoros ('algas'). Já o grupo formado por *Astyanax argyrimarginatus*, *Creagrutus figueiredoi* e *Hyphessobrycon aff. tenuis* foi caracterizado principalmente pela altura relativa da boca (ARBo) e apresentou predomínio do consumo de itens alimentares presentes nas categorias tróficas dos carnívoros ('Arachnida', 'artrópode terrestre'), invertívoros ('invertebrado terrestre', 'crustáceo') e insetívoros ('larva de Odonata', 'Diptera terrestre', 'inseto aquático', 'Ephemeroptera aquático').

A PCoA da matriz taxonômica produziu cinco variáveis (autovetores filogenéticos) responsáveis por explicar aproximadamente 19% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$). Destas cinco variáveis, três foram selecionadas (Tabela 3) e usadas na matriz

filogenética final para realizar a partição de variância. Os resultados da partição de variância mostraram que a filogenia não teve efeito sobre a correlação entre dieta e morfologia e somente a fração ecomorfológica foi importante para predizer a dieta, sendo responsável por 6% de sua variação (Fig. 3).

Tabela 3. Variáveis filogenéticas selecionadas e os valores da estatística do teste do córrego Peixinho.

Variáveis (autovetores filogenéticos)	Seleção progressiva	
	R ² ajustado	<i>p</i> -valor
MDS1	9,80%	0,001
MDS2	8,04%	0,004
MDS4	4,52%	0,049

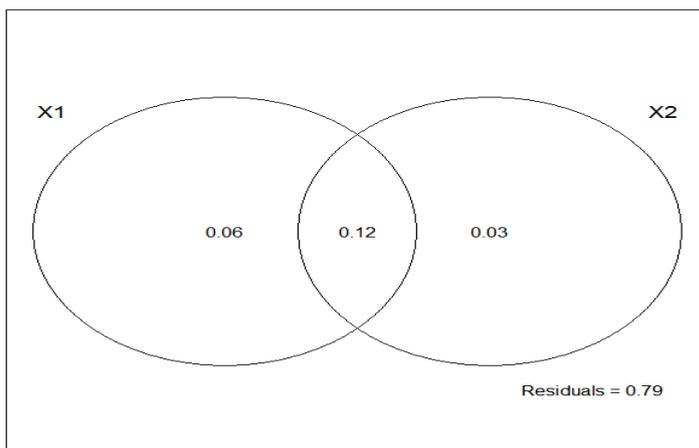


Fig. 3. Diagrama representando a porcentagem de variação na dieta explicada pela morfologia (X1; $p = 0,015$), filogenia (X2; $p = 0,099$) e a fração compartilhada por ambos no córrego Peixinho. A fração residual mostra a quantidade de variação não explicada por nenhum dos componentes da partição de variância.

Córrego Pitomba

Os resultados da RDA global prévia da comunidade do córrego Pitomba mostraram que 41% do conjunto de variáveis predictoras ecomorfológicas contribuíram para explicar o conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$). Encontramos duas variáveis predictoras

mais ajustadas para prever o consumo alimentar: o coeficiente intestinal (CI) e o tipo de dentição (TD) (Tabela 4).

Tabela 4. Variáveis preditoras selecionadas e os valores da estatística do teste do córego Pitomba. Coeficiente intestinal (CI) e tipo de dentição (TD). VIF: Fator de Inflação da Variância.

Variáveis	Seleção progressiva			Variância particionada	
	R ² ajustado	<i>p</i> -valor	VIF	Variância	<i>p</i> -valor
CI	37,45%	0,001	1,0111	0,2255	0,001
TD	7,86%	0,001	1,0111	0,0480	0,001

A RDA final mostrou que as duas variáveis preditoras ecomorfológicas selecionadas (CI e TD) contribuíram para explicar cerca de 41% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$) e não foram colineares entre si ($VIF < 10$; Tabela 4). A variância e significância estatística parcial de cada preditor selecionado mostraram o quanto cada uma destas variáveis ecomorfológicas contribuiu para explicar o consumo alimentar na comunidade do córrego Peixinho (Tabela 4). Nessa comunidade, a RDA final indicou os eixos 1 ($F = 19,1939$; $p = 0,001$) e 2 ($F = 4,0047$; $p = 0,001$) como sendo significativos (Fig. 4).

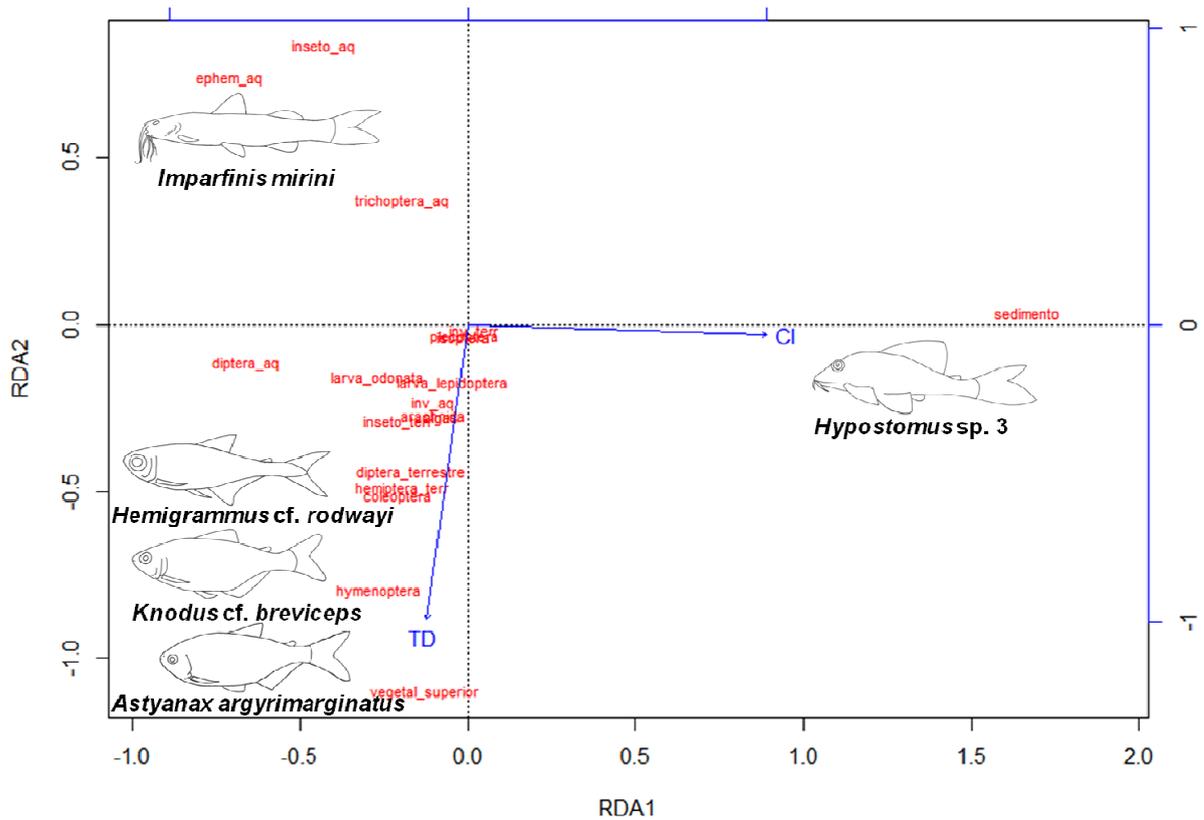


Fig. 4. Projeção das espécies de peixes do córrego Pitomba (indicadas pelos desenhos) com as variáveis preditoras selecionadas (em azul) e os itens alimentares correspondentes (em vermelho).

De acordo com o gráfico de RDA, podemos observar que o grupo formado pelas espécies *Hemigrammus cf. rodwayi*, *Knodus cf. breviceps* e *Astyanax argyrimarginatus* foram caracterizadas ecomorfológicamente pelo tipo de dentição (TD), levando-as a consumir itens alimentares nas categorias tróficas dos carnívoros ('Arachnida'), invertívoros ('invertebrados terrestres', 'invertebrados aquáticos'), insetívoros ('Plecoptera', 'Diptera aquático', 'larva de Odonata', 'Isoptera', 'larva de Lepidoptera', 'inseto terrestre', 'Diptera terrestre', 'Hemiptera terrestre', 'Coleoptera', 'Hymenoptera'), herbívoros ('vegetal superior') e algívoros ('algas'). Por outro lado, a espécie *Hypostomus sp. 3* ficou isolada das demais, foi caracterizada principalmente pelo coeficiente intestinal (CI) e apresentou predomínio do consumo de itens alimentares presentes na categoria trófica dos detritívoros (sedimento).

A PCoA da matriz taxonômica produziu quatro variáveis (autovetores filogenéticos), sendo responsáveis por explicar 51% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$). Destas variáveis, todas as quatro foram selecionadas (Tabela 5) e usadas na matriz

filogenética final para realizar a partição de variância. Os resultados da partição de variância mostraram que a filogenia teve efeito sobre a correlação entre dieta e morfologia e foi a fração mais importante para predizer a dieta, sendo responsável por 9% de sua variação (Fig. 5).

Tabela 5. Variáveis filogenéticas selecionadas e os valores da estatística do teste do córrego Pitomba.

Variáveis (autovetores filogenéticos)	Seleção progressiva	
	R ² aj.	<i>p</i> -valor
MDS2	23,12%	0,001
MDS1	22,72%	0,001
MDS4	7,92%	0,001
MDS3	3,77%	0,012

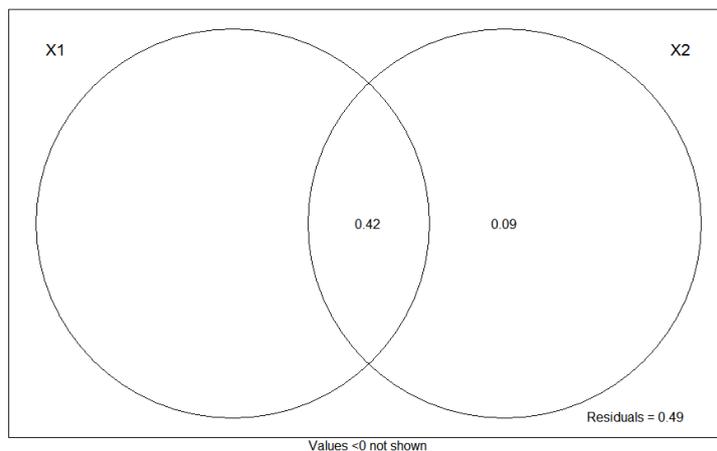


Fig. 5. Diagrama representando a porcentagem de variação na dieta explicada pela morfologia (X1; $p = 0,486$), filogenia (X2; $p = 0,001$) e a fração compartilhada por ambos no córrego Pitomba. A fração residual mostra a quantidade de variação não explicada por nenhum dos componentes da partição de variância.

Córrego Ouro Fino

Os resultados da RDA global prévia da comunidade do córrego Ouro Fino mostraram que aproximadamente 17% do conjunto de variáveis preditoras ecomorfológicas contribuíram para explicar o conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,002$). Encontramos quatro

variáveis preditoras mais ajustadas para predizer o consumo alimentar: orientação dos olhos (OrO), comprimento relativo da cabeça (CRCab), tipo de dentição (TD) e orientação da boca (OB) (Tabela 6).

Tabela 6. Variáveis preditoras selecionadas e os valores da estatística do teste do córrego Ouro Fino. Orientação dos olhos (OrO), comprimento relativo da cabeça (CRCab), tipo de dentição (TD) e orientação da boca (OB). VIF: fator de inflação da variância.

Variáveis	Seleção progressiva			Variância particionada	
	R ² ajustado	<i>p</i> -valor	VIF	Variância	<i>p</i> -valor
OrO	10,21%	0,001	2,0324	0,0360	0,003
CRCab	4,93%	0,007	1,1875	0,0333	0,003
TD	4,78%	0,009	1,5461	0,0327	0,004
OB	4,11%	0,024	2,6305	0,0251	0,022

A RDA final mostrou que as três variáveis preditoras ecomorfológicas selecionadas (OrO, CRCab, TD e OB) contribuíram para explicar aproximadamente 16% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$) e não foram colineares entre si ($VIF < 10$, Tabela 6). A variância e significância estatística parcial de cada preditor selecionado mostraram o quanto cada uma destas variáveis ecomorfológicas contribuiu para explicar o consumo alimentar na comunidade do córrego Ouro Fino (Tabela 6). Nesta comunidade, a RDA final indicou os eixos 1 ($F = 5,7734$; $p = 0,001$), 2 ($F = 2,9077$; $p = 0,001$) e 3 ($F = 2,1936$; $p = 0,014$) como sendo significativos. Para interpretação, nós plotamos em um gráfico de RDA apenas os eixos 1 e 2, que apresentam a maior parte da explicação dos dados, como mostrado na Fig. 6.

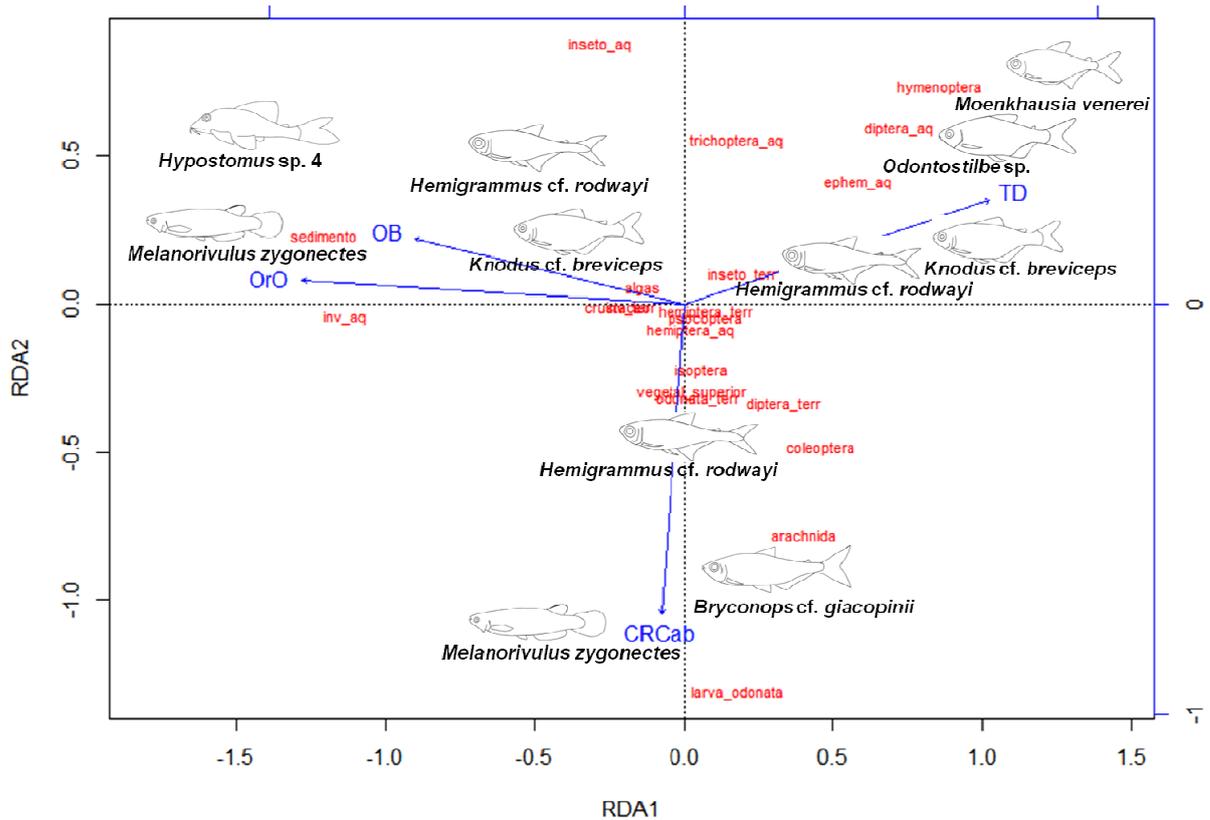


Fig. 6. Projeção das espécies de peixes do córrego Ouro Fino (indicadas pelos desenhos) com as variáveis preditoras selecionadas (em azul) e os itens alimentares correspondentes (em vermelho).

De acordo com o gráfico de RDA, podemos observar que o grupo formado pelas espécies *Hypostomus* sp.4, *Melanorivulus zygonectes*, *Hemigrammus* cf. *rodwayi* e *Knodus* cf. *breviceps* foi caracterizado ecomorfologicamente pela orientação dos olhos (OrO) e orientação da boca (OB), levando-as a consumir itens alimentares nas categorias tróficas dos invertívoros (‘invertebrado aquático’, ‘crustáceo’, ‘invertebrado terrestre’), detritívoros (‘sedimento’) e algívoros (‘algas’). Já o grupo formado por *Hemigrammus* cf. *rodwayi*, *Melanorivulus zygonectes* e *Bryconops* cf. *giacopinii* foi caracterizado principalmente pelo comprimento relativo da cabeça (CRCab) e apresentou predomínio do consumo de itens alimentares presentes nas categorias tróficas dos invertívoros (‘crustáceo’), insetívoros (‘Isoptera’, ‘larva de Odonata’, ‘Odonata terrestre’, ‘Hemiptera aquático’, ‘Hemiptera terrestre’) e herbívoros (‘vegetal superior’). Um terceiro grupo, formado por *Knodus* cf. *breviceps*, *Hemigrammus* cf. *rodwayi*, *Moenkhausia venerei* e *Odontostilbe* sp., caracterizou-se pelo tipo de dentição (TD), com predomínio do consumo itens alimentares presentes na

categoria trófica dos insetívoros ('Diptera aquático', 'Ephemeroptera aquático', 'Hymenoptera' e 'inseto terrestre').

A PCoA da matriz taxonômica produziu seis variáveis (autovetores filogenéticos), sendo responsáveis por explicar em torno de 21% do conjunto de variáveis respostas de dieta ($p = 0,001$). Dessas variáveis, todas as seis foram selecionadas (Tabela 7) e usadas na matriz filogenética final para realizar a partição de variância.

Os resultados da partição de variância mostraram que a filogenia teve efeito sobre a correlação entre dieta e morfologia e foi a fração mais importante para prever a dieta, sendo responsável por 6% de sua variação (Fig. 7).

Tabela 7. Variáveis filogenéticas selecionadas e os valores da estatística do teste do córrego Ouro Fino.

Seleção progressiva		
Variáveis (autovetores filogenéticos)	R^2 ajustado	p -valor
MDS1	9,20%	0,001
MDS3	5,22%	0,003
MDS6	5,04%	0,004
MDS2	5,01%	0,004
MDS4	4,55%	0,006
MDS5	3,33%	0,031

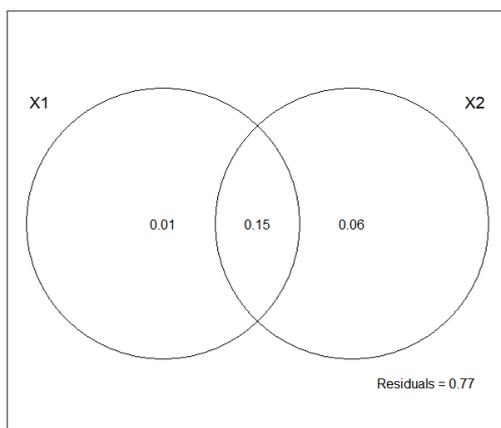


Fig. 7. Diagrama representando a porcentagem de variação na dieta explicada pela morfologia (X1; $p = 0,0147$), filogenia (X2; $p = 0,003$) e a fração compartilhada por ambos no córrego Ouro Fino. A fração residual mostra a quantidade de variação não explicada por nenhum dos componentes da partição de variância.

4 DISCUSSÃO

Córrego Peixinho

O tipo de dentição (TD) e a posição da boca (PB) indicaram as espécies *Astyanax argyrimarginatus*, *Creagutus figueiredoi* e *Moenkhausia oligolepis* como sendo carnívoras, insetívoras e algívoras. De acordo com nossos resultados, o TD dessas espécies é predominantemente tricuspídeo, multicuspídeo (dentes fortes e pontiagudos) e, em alguns casos, ocorre a presença dos dois tipos. A presença de vários cúspides nos dentes é característica de peixes que são predadores ativos, permitindo a eles se alimentar de presas grandes e de difícil processamento, como, por exemplo, insetos que possuem carapaça, e até itens alimentares que necessitam de uma boa mastigação por serem de difícil digestão, como, por exemplo, algas filamentosas.

A posição da boca (PB) nessas espécies foi do tipo terminal e subterminal. A posição da boca indica a posição no habitat aquático onde o peixe obtém seu alimento, situação na qual correlações negativas entre este índice e itens alimentares (veja Fig. 2) indicam que os peixes forrageiam na superfície e no meio da coluna d'água, locais onde são encontradas com maior frequência presas como insetos aquáticos, terrestres e fragmentos de peixes (Gatz Jr., 1979), estando de acordo com o que foi constatado no presente estudo. Ademais, aqueles peixes que possuem boca terminal também podem se alimentar ao longo de toda a coluna d'água (Bemvenuti & Fischer, 2010).

Peixes com essas morfologias de dentição e posição da boca geralmente consomem itens alimentares que estão mais acessíveis em diferentes alturas da coluna d'água, como, por exemplo na superfície ('inseto terrestre'), que podem estar aderidos a rochas submersas no fundo do córrego ou na margem ('algas') e podem até indicar um comportamento predatório de ataque entre as próprias espécies da comunidade, quando foi detectada a presença de fragmentos de peixes (escamas) nos conteúdos estomacais das espécies *Astyanax argyrimarginatus* e *Moenkhausia oligolepis*.

No córrego Peixinho, a altura relativa da boca (ARBo) foi importante para distinguir o consumo alimentar em *Astyanax argyrimarginatus*, *Creagutus figueiredoi* e *Hyphessobrycon aff. tenuis*, caracterizando o grupo nas categorias tróficas dos carnívoros, invertívoros e insetívoros. Este índice ecomorfológico representa a relação entre a altura da boca e a altura do corpo do peixe e está diretamente relacionado à hidrodinâmica, à alimentação e ao

tamanho relativo das presas consumidas (Watson & Balon, 1984). Essas três espécies apresentaram os maiores valores deste índice, indicando o consumo de itens alimentares de grande volume, como Dipteras terrestres, invertebrados terrestres e artrópodes terrestres.

Córrego Pitomba

De acordo com os resultados observados no córrego Pitomba, o tipo de dentição (TD) também foi importante no agrupamento das espécies *Hemigrammus cf. rodwayi*, *Knodus cf. breviceps* e *Astyanax argyrimarginatus* nas categorias tróficas dos carnívoros, invertívoros, insetívoros, herbívoros e algívoros. Os dentes destas espécies também são do tipo tricuspídeos ou multicuspídeos (dentes fortes e pontiagudos), ocorrendo a presença dos dois tipos em determinados casos. Dentes desse tipo permitem aos peixes ter uma melhor capacidade de morder ou dilacerar presas de grande porte e rígidas, característica que indica o modo de ingestão da dieta (Pouilly *et al.*, 2003). Neste caso esse tipo de dentição proporcionou aos peixes consumirem itens alimentares de difícil ingestão, como, por exemplo, ‘invertebrados terrestres’, ‘larva de Odonata’, ‘larva de Lepidoptera’, ‘Arachnida’, ‘inseto terrestre’, ‘Diptera terrestre’, ‘Hemiptera terrestre’, ‘Coleoptera’, ‘Hymenoptera’, ‘vegetal superior’ e ‘Isoptera’, sendo esses alguns exemplos de presas grandes e rígidas.

Já o coeficiente intestinal (CI) indicou a espécie *Hypostomus* sp.3 como sendo detritívora. Esse índice ecomorfológico é a razão entre o comprimento do intestino e o comprimento padrão do peixe. Valores altos desse índice indicam espécimes que possuem longo intestino e são condizentes com a categoria trófica que caracterizou *Hypostomus* sp.3, pois altos coeficientes intestinais são características de peixes herbívoros e detritívoros (Pouilly *et al.*, 2003). Nesses peixes, o longo intestino proporciona aos mesmos uma melhor ingestão e absorção dos itens alimentares (detritos) que se encontram no sedimento, local onde esses peixes são encontrados forrageando com maior frequência.

Córrego Ouro Fino

Conforme os resultados observados no córrego Ouro Fino, a orientação dos olhos (OrO) e a orientação da boca (OB) estiveram intimamente relacionadas e indicaram as espécies

Hypostomus sp.4, *Melanorivulus zygonectes*, *Hemigrammus* cf. *rodwayi* e *Knodus* cf. *breviceps* como sendo invertívoras, detritívoras e algívoras.

A orientação dos olhos é esperada para indicar a posição de forrageamento das espécies na coluna d'água (Pouilly *et al.*, 2003). Similarmente, a orientação da boca indica a posição relativa dos alimentos consumidos pelos peixes, do mesmo modo que a sua posição na coluna d'água (Watson & Balon, 1984). Em *Hemigrammus* cf. *rodwayi* e *Knodus* cf. *breviceps*, a orientação dos olhos e da boca é lateral e terminal, respectivamente. Este tipo de morfologia é típico de espécies de peixes nectônicos que forrageiam ao longo de toda a coluna d'água. Isso é perfeitamente condizente com os itens alimentares que foram consumidos por essas duas espécies, como 'sedimento' (presente na zona bentônica), 'invertebrado aquático' e 'microcrustáceo' (pelágicos) e 'invertebrados terrestres' (superfície).

A espécie *Melanorivulus zygonectes* apresentou olhos laterais e boca oblíqua (levemente orientada para cima na diagonal; Watson & Balon, 1984). A orientação da boca indica onde no habitat aquático determinado peixe obtém seu alimento (Gatz Jr., 1979); neste caso, possuir olhos laterais e boca oblíqua permite aos peixes consumirem itens alimentares que estão presentes principalmente em toda a coluna d'água como aqueles que foram encontrados para a espécie em questão ('sedimento' e 'microcrustáceo').

Em *Hypostomus* sp.4, os olhos apresentaram-se orientados dorsalmente laterais e a boca orientada ventralmente. Essa espécie, assim como grande parte dos Siluriformes, com seu olhos orientados para cima e boca ventral, geralmente é encontrada sobre rochas, troncos ou no leito do córrego, alimentando-se do que está no fundo (Bemvenuti & Fischer, 2010). Dessa forma, a dieta desta espécie está totalmente de acordo com o que é esperado pela sua morfologia, pois consumiu com predominância, entre outros, o item sedimento.

O comprimento relativo da cabeça (CRCab) indicou as espécies *Hemigrammus* cf. *rodwayi*, *Melanorivulus zygonectes* e *Bryconops* cf. *giacopinii* como sendo invertívoras, insetívoras e herbívoras. De fato, estas três espécies apresentaram cabeças longas e, como o CRCab está diretamente ligado ao tamanho da presa consumida pelo peixe e positivamente correlacionado com itens alimentares maiores, essas espécies foram capazes de lidar com itens alimentares que são grandes e volumosos (Pouilly *et al.*, 2003), tais como 'Hemiptera terrestre', 'Hemiptera aquático', 'Isoptera', 'vegetal superior', 'larva de Odonata' e 'Odonata terrestre'.

Já o tipo de dentição (TD) foi o traço ecomorfológico mais importante para agrupar as espécies *Knodus* cf. *breviceps*, *Hemigrammus* cf. *rodwayi*, *Moenkhausia venerei* e *Odontostilbe* sp. nas categorias tróficas dos insetívoros. Os dentes dessas espécies são predominantemente tricuspídeos, multicuspídeos (dentes fortes e pontiagudos) e, ocasionalmente, ocorre a combinação dos dois tipos. Esse tipo de dentição está associado ao modo de consumo da dieta e, neste caso, os dentes cuspidados estão associados ao hábito de morder ou rasgar a presa (Pouilly *et al.*, 2003), o que aponta para uma capacidade adaptativa nesses peixes que lhes permitiu consumir presas de grande porte e volume, e que apresentam estruturas rígidas e resistentes (por exemplo, a carapaça de artrópodes), como, por exemplo, insetos terrestres e Hymenoptera, para citar alguns dos itens consumidos por essas espécies.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os nossos resultados confirmaram nossas hipóteses, apontando que as diferentes espécies dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino consumiram distintos itens alimentares de acordo com a variável ecomorfológica associada, predizendo este consumo.

Os atributos ecomorfológicos que tiveram maior interferência na dieta foram aqueles ligados principalmente à posição de forrageio e o local onde determinada espécie de peixe é encontrada com maior frequência na coluna d'água (posição da boca – PB, orientação da boca – OB e orientação dos olhos – OrO), ao tamanho da presa consumida (altura relativa da boca – ARBo e comprimento relativo da cabeça – CRCab), à capacidade de captura, apreensão e processamento das presas (tipo de dentição – TD) e à capacidade de digestão e absorção dos itens alimentares (coeficiente intestinal – CI).

Dessa forma, os peixes com dentição tri e multicuspídea predam insetos (córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino), algas (Peixinho e Pitomba), fragmentos de peixes (Peixinho) e outros invertebrados e vegetais superiores (Pitomba). Espécies com boca terminal e subterminal consomem insetos, algas e fragmentos de peixes, ao passo que peixes com bocas relativamente altas ingerem insetos e outros invertebrados (Peixinho). Espécies que possuem intestino longo consomem detritos do sedimento (Pitomba). Peixes com olhos laterais e boca terminal ingerem insetos, algas e detritos do sedimento, ao passo que peixes que apresentam cabeças compridas consomem vegetais superiores (plantas vasculares), insetos e outros invertebrados (Ouro Fino).

Portanto, concluímos que a ecomorfologia mostra-se adequada para prever o consumo alimentar nas comunidades dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino, sendo que apenas alguns traços morfológicos corporais externos e internos foram mais expressivos para a caracterização alimentar das espécies nessas comunidades ictiológicas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bemvenuti, M. A. & L. G. Fischer. 2010. Peixes: Morfologia e adaptações. Cadernos de Ecologia Aquática. 5: 31-54.
- Bicudo, C. E. M. & R. M. T Bicudo. 1970. Algas de águas continentais brasileiras. In: Algas de águas continentais brasileiras. Funbec.
- Blanchet, F. G., P. Legendre & D. Borcard. 2008. Forward selection of explanatory variables. *Ecology*, 89: 2623-2632.
- Borcard, D.; F. Gillet & P. Legendre. 2011. Numerical Ecology with R. New York, Springer, 302p.
- Braga, R.R., H. Bornatowski & J. R. S Vitule. 2012. Feeding ecology of fishes: an overview of worldwide publications. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22:915-929.
- Cailliet, G. M., M. S. Love, & A. W. Ebeling. 1986. Fishes: a field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history. Belmont, California, USA. Wadsworth Publishing. 194p.
- Conselho Federal de Medicina Veterinária. Guia brasileiro de boas práticas para eutanásia em animais. 2012. Website: <http://www.cfmv.gov.br/portal/destaque.php?cod=880>. Acesso: 30 de abril de 2015.
- Douglas, M. E. & W. J. Matthews. 1992. Does morphology predict ecology? Hypothesis testing within a freshwater stream fish assemblage. *Oikos*, 65: 213-224.
- Dray, S., with contributions of P. Legendre & G. Blanchet. 2013. Packfor: Forward Selection with permutation (Canoco p.46). R package version 0.0-8/r109. Available from: <http://R-Forge.R-project.org/projects/sedar/>

- Eisenlohr, P. V. 2014. Persisting challenges in multiple models: a note on commonly unnoticed issues regarding collinearity and spatial structure of ecological data. *Brazilian Journal of Botany*, 37: 365-371.
- Fema - Fundação Estadual do Meio Ambiente - MT. 2000. Diagnóstico ambiental do Parque Estadual da Serra Azul. Barra do Garças. SEMA.
- Gatz Jr., A. J. 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane Studies in Zoology and Botany*, 21: 91-124.
- Gullan, P. J. & Cranston, P. S. 2007. Os insetos: um resumo de entomologia. Roca.
- Higuti, J. & G. M. S. Franco. 2001. Identificação de invertebrados para análise de conteúdo estomacais de peixes. Maringá: UEM.
- Motta, P. J., K. B. Clifton, P. Hernandez & B. T. Eggold. 1995. Ecomorphological correlates in ten species of subtropical seagrass fishes: diet and microhabitat utilization. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 37-60.
- Norton, S. F., J. J. Luczkovich & P. J. Motta. 1995. The role of ecomorphological studies in the comparative biology of fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 287-304.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens & H. Wagner. 2015. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-2. Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira, E. F., E. Goulart, L. Breda, C. V. Minte-Vera, L. R. S. Paiva & M. R. Vismara. 2010. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. *Neotropical Ichthyology*, 8: 569-586.
- Paradis, E., J. Claude & K. Strimmer. 2004. APE: analyses of phylogenetics and evolution in R language. *Bioinformatics*, 20: 289-290.
- Peres-Neto, P. R. 1999. Alguns métodos e estudos em ecomorfologia de peixes de riachos. Pp. 209-236. In: Caramaschi E.P., R. Mazzoni, P.R. Peres-Neto (Eds.). *Ecologia de Peixes de Riachos*. *Oecologia Brasiliensis*, v. 6, PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.

- Peres-Neto, P. R., P. Legendre, S. Dray & D. Borcard. 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology*, 87: 2614-2625.
- Pouilly, M., F. Lino, J. G. Bretenoux & C. Rosales. 2003. Dietary-morphological relationships in a fish assemblage of the Bolivian Amazonian floodplain. *Journal of Fish Biology*, 62: 1137-1158.
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Venere, P.C. & V. Garutti. 2011. Peixes do Cerrado: Parque Estadual da Serra Azul, rio Araguaia, MT. São Carlos: Rima, Fapemat, 220p.
- Wainwright, P. C. & B. A. Richard. 1995. Predicting patterns of prey use from morphology of fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 44: 97-113.
- Watson, D. J., & E. K. Balon. 1984. Ecomorphological analysis of fish taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *Journal of Fish Biology*, 25, 371-384.
- Winemiller K.O. 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecological Monographs* 61:343–365.

CONCLUSÕES GERAIS

Dentro da abordagem da variação individual ao nível ecológico de população, a espécie *Astyanax xavante* apresentou distinção no consumo alimentar entre os indivíduos da população estudada, sendo composta por indivíduos especialistas. Entretanto, o grau de especialização foi relativamente alto e a população apresentou curta largura de nicho. Essa contradição nos remete especular que essa espécie pode não ser composta por indivíduos especialistas, mas por indivíduos especializados em consumir os alimentos que estão disponíveis, já que a espécie tem sua área de ocorrência em um ambiente muito restrito. Dessa forma, essa especialização deve se dar por conta das características intrínsecas dos indivíduos e pela estrutura social da população. Essa população deve apresentar baixa competição entre grupos de indivíduos (perspectiva ecológica), aumentando a aptidão (perspectiva evolutiva) e a variação intraespecífica (perspectiva conservacionista). A confirmação de que as diferenças na dieta (variação individual) foram acompanhadas pela variação morfológica (relacionadas aos órgãos locomotores e de percepção), predizendo o consumo de insetos, permitiu sugerir que a relação entre dieta e ecomorfologia seja determinante na especialização individual nessa espécie de caracídeo.

Dentro da abordagem da correlação entre ecomorfologia e alimentação ao nível de comunidades, nos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino as espécies de peixes apresentaram diferenças em suas dietas em função de suas morfologias. No córrego Peixinho, o tipo de dentição e a posição da boca relacionaram-se com as espécies insetívoras, algívoras e carnívoras, enquanto a altura relativa da boca esteve associada as espécies insetívoras e invertívoras. No córrego Pitomba, o tipo de dentição relacionou-se com os peixes insetívoros, invertívoros, herbívoros e algívoros, ao passo que o coeficiente intestinal associou-se aos detritívoros. No córrego Ouro Fino, a orientação dos olhos e da boca esteve relacionada às espécies invertívoras, detritívoras e algívoras, enquanto o comprimento relativo da cabeça relacionou-se aos peixes insetívoros, invertívoros e herbívoros e o tipo de dentição aos insetívoros. Esses atributos ecomorfológicos estiveram relacionados às capacidades adaptativas dos peixes em explorar os diversos microhabitats aquáticos e em obter seu alimento. Concluimos que a ecomorfologia é um preditor eficiente para podermos deduzir a dieta de determinada espécie de peixe de riacho de acordo com alguns de seus traços morfológicos.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Medidas morfológicas. Os números romanos posicionados antes das variáveis indicam em qual (is) artigo (s) dessa dissertação elas foram usadas (I e/ou II).

Medidas morfológicas		Sigla
Artigo	Variáveis qualitativas	
I e II	Orientação dos olhos	OrO
I e II	Posição da boca	PB
I e II	Orientação da boca	OB
I e II	Tipo de dentição	TD
I	Tipo de dentição da maxila	TMx
I	Tipo de dentição da mandíbula	TMd
	Variáveis quantitativas	
I e II	Comprimento padrão/total *	CP/CT
I e II	Altura do corpo	AL
I	Altura da linha média do corpo	AMC
I e II	Largura do corpo	LC
I e II	Comprimento do pedúnculo	Cpe
I e II	Altura do pedúnculo	Ape
I e II	Largura do pedúnculo	Lpe
I e II	Comprimento da cabeça	CC
I e II	Altura da cabeça	AC
I	Largura da cabeça	LCab
I	Comprimento do focinho com a boca fechada	CFF
I	Comprimento do focinho com a boca aberta	CFA
I e II	Altura da linha do olho	ALO
I e II	Altura da boca	AB
I e II	Largura da boca	LB
I e II	Diâmetro do olho	DO
I e II	Comprimento do dentário	CD
II	Comprimento do barbilhão	CBar
II	Comprimento do intestino	Ci
I	Comprimento da nadadeira dorsal	CNDo
I	Altura da nadadeira caudal	ANCa
I	Comprimento da nadadeira anal	CNAn
I	Comprimento da nadadeira peitoral	CNPt
I	Comprimento da nadadeira pélvica	CNPv
I e II	Área do olho	ArO
I	Área da nadadeira dorsal	ArNDo
I e II	Área da nadadeira caudal	ArNCa
I	Área da nadadeira anal	ArNAn
I e II	Área da nadadeira peitoral	ArNPt
I	Área da nadadeira pélvica	ArNPv

Continuação do Apêndice A:

* Os indivíduos das espécies que não apresentam pedúnculo caudal e que, portanto, inviabilizam a delimitação exata do início da cauda, não puderam ter a mensuração do comprimento padrão sendo utilizado o comprimento total neste caso.

APÊNDICE B — Índices ecomorfológicos. Os números romanos posicionados antes das variáveis indicam em qual (is) artigo (s) dessa dissertação elas foram usadas (I e/ou II).

Artigo	Índices ecomorfológicos	Fórmula
I e II	Índice de compressão	$IC = AL/LC$
I	Índice de depressão	$ID = AMC/AL$
I e II	Comprimento relativo do pedúnculo caudal	$CRPd = CPe/CP$
I e II	Altura relativa do pedúnculo caudal	$ARPd = APe/AL$
I e II	Largura relativa do pedúnculo caudal	$LRPd = LPe/LC$
I e II	Comprimento relativo da cabeça	$CRCab = CC/CP$
I e II	Altura relativa da cabeça	$ARCab = AC/AL$
I	Largura relativa da cabeça	$LRCab = LCab/LC$
I e II	Altura relativa da boca	$ARBo = AB/AL$
I e II	Largura relativa da boca	$LRB = LB/LC$
I e II	Comprimento relativo do dentário	$CRDt = CD/CP$
I	Índice de protrusão	$IP = CFA/CFE$
I e II	Posição do olho	$PO = ALO/AC$
I e II	Área relativa do olho	$ARO = ArO/(CP)^2$
II	Comprimento relativo do barbilhão	$CRB = CBar/CP$
II	Coefficiente intestinal	$CI = Ci/CP$
I	Área relativa da nadadeira dorsal	$ARD = ArNDo/(CP)^2$
I	Razão de aspecto da nadadeira dorsal	$RADo = (CNDo)^2/ArNDo$
I e II	Área relativa da nadadeira caudal	$ARC = ArNCa/(CP)^2$
I	Razão de aspecto da nadadeira caudal	$RAC = (ANCa)^2/ArNCa$
I	Área relativa da nadadeira anal	$ARA = ArNAn/(CP)^2$
I	Razão de aspecto da nadadeira anal	$RAA = (CNAn)^2/ArNAn$
I e II	Área relativa da nadadeira peitoral	$ARPt = ArNPt/(CP)^2$
I	Razão de aspecto da nadadeira peitoral	$RAPt = (CNPt)^2/ArNPt$
I	Área relativa da nadadeira pélvica	$ARPv = ArNPv/(CP)^2$
I	Razão de aspecto da nadadeira pélvica	$RAPv = (CNPv)^2/ArNPv$

APÊNDICE C — Estatística descritiva das medidas morfológicas e porcentagem dos tipos de dentições das mandíbulas de 50 indivíduos de *Astyanax xavante* (artigo I): média (\bar{X}), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), moda, primeiro quartil (1ºQ), mediana (Med), terceiro quartil (3ºQ), distância interquartilica (DI), mínimo (Mín), máximo (Máx) e amplitude (Amp).

Medida	\bar{X}	DP	CV	Moda	1ºQ	Med	3ºQ	DI	Mín	Máx	Amp
CP	43,02	10,64	24,73	38,00	35,01	40,25	49,29	14,28	25,41	68,52	43,11
AL	15,10	3,99	26,45	—	12,37	14,48	17,85	5,48	7,71	23,24	15,53
AMC	7,50	2,30	30,61	6,55	5,78	7,08	8,95	3,17	2,56	12,08	9,52
LC	4,79	1,32	27,64	6,50	3,87	4,42	5,51	1,64	2,64	8,84	6,20
Cpe	3,20	1,23	38,46	2,14	2,18	3,23	3,86	1,68	1,08	6,81	5,73
Ape	4,88	1,35	27,57	4,11	3,90	4,72	5,76	1,86	2,31	8,17	5,86
Lpe	0,77	0,21	27,49	0,76	0,60	0,75	0,93	0,33	0,41	1,27	0,86
CC	11,65	2,84	24,40	11,45	9,46	11,45	13,57	4,11	6,81	17,55	10,74
AC	9,55	2,10	22,00	—	8,05	8,96	11,20	3,14	5,85	13,76	7,91
Lcab	5,55	1,44	25,88	4,41	4,41	5,36	6,53	2,11	3,19	9,47	6,28
CFF	2,86	0,73	25,67	2,31	2,31	2,77	3,35	1,04	1,33	4,58	3,25
CFA	3,98	0,94	23,53	3,10	3,17	4,04	4,66	1,49	2,14	5,86	3,72
ALO	6,19	1,53	24,64	5,80	4,88	5,87	7,06	2,18	3,22	9,52	6,30
AB	3,73	1,17	31,35	2,94	2,82	3,61	4,51	1,69	1,55	6,31	4,76
LB	4,54	1,17	25,86	4,09	3,55	4,22	5,55	2,00	2,38	7,14	4,76
DO	4,09	0,76	18,46	4,96	3,62	4,13	4,76	1,14	2,48	5,77	3,29
CD	2,81	0,75	26,58	2,98	2,35	2,72	3,23	0,87	1,03	5,08	4,05
CNDo	10,50	2,67	25,46	9,16	8,92	10,16	11,85	2,93	5,63	16,06	10,43
ANCa	9,28	3,83	41,34	—	6,32	9,22	11,94	5,62	3,08	17,19	14,11
CNAn	12,63	3,22	25,48	10,46	10,20	12,61	15,33	5,13	6,47	20,24	13,77
CNPt	9,19	2,30	25,03	8,41	7,55	9,17	10,58	3,03	5,16	13,98	8,82
CNPv	6,64	1,58	23,75	4,23	5,77	6,72	7,81	2,04	4,13	11,16	7,03
ArO	13,60	4,83	35,49	19,32	10,31	13,37	17,81	7,50	4,83	26,15	21,32
ArNDo	29,15	12,84	44,06	14,00	18,88	27,00	37,00	18,13	8,50	58,00	49,50
ArNCa	65,31	33,09	50,66	40,00	39,63	59,00	84,00	44,38	19,50	153,50	134,00
ArNAn	34,23	14,28	41,71	38,50	22,13	36,00	45,50	23,38	10,50	68,00	57,50
ArNPt	14,26	7,08	49,68	12,00	9,13	12,00	17,38	8,25	5,00	32,00	27,00
ArNPv	8,73	4,86	55,71	5,50	5,50	7,00	9,88	4,38	3,50	24,00	20,50
TD (TMd)											
	(1) Fileiras dentárias anterior e posterior com dentes tri e multicuspidados										78%
	(2) Fileira dentária anterior tricuspíada e fileira posterior multicuspidada										20%
	(3) Fileiras dentárias anterior e posterior com dentes tricuspíados										2%

APÊNDICE D — Estatística descritiva dos índices ecomorfológicos obtidos de 50 indivíduos de *Astyanax xavante* (artigo I): média (\bar{X}), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV), moda, primeiro quartil (1ºQ), mediana (Med), terceiro quartil (3ºQ), distância interquartilica (DI), mínimo (Mín), máximo (Máx) e amplitude (Amp).

Índice	\bar{X}	DP	CV	Moda	1ºQ	Med	3ºQ	DI	Mín	Máx	Amp
IC	3,17	0,31	9,77	—	2,96	3,20	3,35	0,38	2,38	3,84	1,47
ID	0,49	0,05	10,37	—	0,46	0,50	0,52	0,06	0,32	0,64	0,33
CRPd	0,07	0,02	26,80	—	0,06	0,08	0,09	0,03	0,04	0,13	0,10
ARPd	0,32	0,02	5,37	—	0,31	0,33	0,34	0,02	0,28	0,36	0,07
LRPd	0,16	0,03	16,46	—	0,15	0,16	0,18	0,03	0,10	0,21	0,11
CRCab	0,27	0,04	15,27	—	0,25	0,27	0,28	0,03	0,20	0,44	0,25
ARCab	0,64	0,06	9,51	—	0,61	0,63	0,66	0,06	0,54	0,93	0,40
LRCab	1,17	0,12	10,05	1,21	1,09	1,16	1,25	0,16	0,86	1,47	0,60
ARBo	0,25	0,03	13,66	—	0,22	0,25	0,27	0,05	0,19	0,36	0,17
LRB	0,95	0,09	9,46	—	0,88	0,95	1,02	0,14	0,80	1,15	0,35
IP	1,41	0,22	15,46	—	1,24	1,38	1,59	0,35	1,12	1,91	0,79
CRDt	0,07	0,01	19,38	—	0,06	0,06	0,07	0,01	0,04	0,10	0,06
PO	0,65	0,05	7,83	—	0,61	0,66	0,68	0,07	0,55	0,76	0,21
ARO	0,01	<0,01	26,96	—	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01
ARD	0,02	0,01	34,48	—	0,01	0,01	0,02	<0,01	0,01	0,04	0,03
RADo	4,02	0,95	23,59	—	3,34	4,02	4,48	1,14	2,26	7,23	4,97
ARC	0,03	0,01	30,79	—	0,03	0,03	0,04	0,01	0,02	0,09	0,07
RAC	1,37	0,56	41,25	—	0,93	1,22	1,87	0,94	0,35	2,63	2,28
ARA	0,02	0,01	36,86	—	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,04
RAA	4,89	0,96	19,56	—	4,28	4,72	5,44	1,16	3,22	8,12	4,90
ARPt	0,01	<0,01	38,61	—	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02
RAPt	6,36	1,20	18,85	—	5,49	6,42	7,19	1,69	3,81	9,94	6,13
ARPv	<0,01	<0,01	43,88	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01
RAPv	5,59	1,60	28,68	—	4,58	5,28	6,35	1,77	3,30	11,67	8,37

APÊNDICE E — Porcentagem da frequência de ocorrência (F_o) e de volume (V_o , ml) dos 22 itens alimentares de 47 indivíduos de *Astyanax xavante*, utilizados na matriz de dieta para as análises estatísticas (artigo I).

Item alimentar	F_o	V_o
Algas	5,23	1,19
Araneae	0,33	0,09
Artrópode terrestre	0,33	0,13
Briófita	0,33	0,68
Coleoptera	5,23	5,26
Crustáceo	0,98	0,02
Diptera	14,38	6,01
Ephemeroptera	13,40	6,59
Escama	3,27	0,54
Hemiptera terrestre	1,63	3,04
Hymenoptera	9,15	26,07
Inseto	3,92	0,68
Invertebrado	0,65	0,10
Isoptera	0,65	0,42
Odonata	9,15	11,47
Oligochaeta aquático	3,92	0,40
Perifíton	0,98	0,11
Plecoptera	0,65	0,32
Sedimento	7,19	0,52
Tecameba	3,27	0,16
Trichoptera	1,31	0,58
Vegetal superior	14,05	35,62

APÊNDICE F — Estatística descritiva das medidas morfológicas quantitativas das espécies de peixes de do córrego Peixinho (artigo II): média (\bar{X}) e desvio padrão (DP). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

	<i>Astyanax argyrimarginatus</i> (4)		<i>Astyanax elachylepis</i> (4)		<i>Creagutus figueiredoi</i> (6)		<i>Eigenmannia cf. trilineata</i> (3)		<i>Hyphessobrycon aff. tenuis</i> (10)		<i>Moenkhausia oligolepis</i> (10)	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CT	—	—	—	—	—	—	12,43	4,30	—	—	—	—
CP	3,36	0,33	12,39	0,73	4,34	0,73	—	—	3,32	0,16	5,17	0,82
AL	10,58	1,58	40,97	2,43	12,28	2,15	14,50	5,10	9,32	0,85	20,19	3,22
LC	4,09	0,41	16,08	0,75	4,62	0,38	5,38	1,31	3,49	0,29	7,45	1,25
CPe	2,29	0,42	13,13	1,48	5,14	2,37	—	—	3,19	0,44	6,46	1,69
APe	3,50	0,49	13,02	0,44	4,62	0,49	—	—	3,15	0,27	6,14	0,91
LPe	0,83	0,21	4,32	0,20	1,15	0,22	—	—	0,76	0,13	1,42	0,45
CC	9,69	0,72	29,59	3,10	10,66	1,80	10,74	2,78	8,53	0,65	13,92	2,33
AC	8,65	0,57	29,19	3,40	8,77	1,38	11,16	2,65	7,29	0,42	13,67	2,05
ALO	4,45	0,50	13,89	1,06	4,95	0,86	4,63	1,04	3,87	0,35	6,69	0,79
ArO	10,43	1,98	64,59	6,53	13,36	3,62	7,56	2,73	9,30	0,71	21,44	3,80
LB	3,91	0,18	11,96	1,35	4,35	0,52	3,74	0,40	3,19	0,24	5,84	0,80
AB	3,70	0,21	9,18	0,98	3,80	0,39	4,02	0,54	4,16	0,63	5,04	1,55
CD	2,91	0,08	8,13	2,11	2,88	0,34	4,63	1,74	2,95	0,30	3,58	1,24
CBar	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ArNCa	37,50	6,95	558,00	106,96	51,92	12,02	—	—	41,15	9,69	123,30	40,13
ArNPt	8,38	0,85	93,50	13,04	11,17	4,34	25,33	8,96	6,40	1,51	20,95	6,46
Ci	21,25	3,59	82,75	9,18	33,50	7,20	29,33	10,40	25,25	4,65	31,85	4,48

APÊNDICE G — Estatística descritiva das medidas morfológicas quantitativas das espécies de peixes de do córrego Pitomba (artigo II): média (\bar{X}) e desvio padrão (DP). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

	<i>Astyanax argyrimarginatus</i> (4)		<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i> (4)		<i>Hypostomus sp. 3</i> (10)		<i>Imparfinis mirini</i> (7)		<i>Knodus cf. breviceps</i> (6)	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CT	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CP	5,16	0,44	2,50	0,10	4,16	0,63	5,37	1,38	3,50	0,45
AL	18,31	1,87	6,78	0,88	9,38	2,06	8,18	2,41	9,66	1,55
LC	6,69	0,97	2,40	0,39	10,52	2,16	7,22	2,03	4,01	0,80
CPe	5,05	0,78	2,81	0,68	5,30	1,04	8,10	2,18	4,68	1,14
APe	5,37	0,53	1,99	0,46	4,41	0,69	5,64	1,52	3,52	0,74
LPe	2,63	2,07	0,59	0,13	1,77	0,62	1,57	0,64	1,01	0,21
CC	13,70	0,73	5,67	0,54	9,41	1,10	11,43	2,45	8,50	1,06
AC	13,53	1,32	6,39	1,59	8,22	1,28	6,85	1,62	7,37	1,09
ALO	6,35	0,86	2,53	0,33	5,14	0,75	4,75	1,37	3,55	0,53
ArO	17,07	1,28	4,00	0,91	5,16	1,86	3,34	1,24	5,65	0,71
LB	4,93	0,49	2,16	0,09	6,70	1,01	5,81	1,48	2,70	0,34
AB	4,48	0,47	2,80	0,65	6,45	0,81	3,90	1,01	3,85	0,33
CD	2,09	0,39	1,62	0,22	—	—	2,07	0,65	2,13	0,57
CBar	—	—	—	—	—	—	15,20	2,87	—	—
ArNCa	95,75	17,26	14,75	6,41	87,70	33,92	64,29	34,53	35,00	7,84
ArNPt	19,00	5,49	4,38	0,63	53,60	16,05	37,00	20,73	7,83	2,56
Ci	43,88	10,23	12,88	3,33	430,55	146,13	30,29	9,16	25,17	4,55

APÊNDICE H — Estatística descritiva das medidas morfológicas quantitativas das espécies de peixes de do córrego Ouro Fino (artigo II): média (\bar{X}) e desvio padrão (DP). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

	<i>Bryconops cf. giacopinii</i> (4)		<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i> (10)		<i>Hypostomus</i> sp. 4 (3)		<i>Knodus cf. breviceps</i> (10)		<i>Moenkhausia veneri</i> (9)		<i>Odontostilbe</i> sp. (5)		<i>Melanorivulus zygonectes</i> (3)	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
CT	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CP	3,81	0,90	2,48	0,22	2,75	0,71	3,49	0,58	2,94	0,27	2,20	0,42	2,29	0,48
AL	9,32	2,74	5,85	1,69	4,73	1,57	9,45	2,00	9,25	1,24	5,74	1,11	3,08	0,72
LC	3,86	0,54	2,59	0,30	6,79	2,06	4,03	0,58	3,50	0,30	2,28	0,67	3,08	0,49
CPe	4,43	1,05	3,13	0,43	3,73	1,43	4,75	0,71	2,59	0,53	3,26	0,62	3,26	1,35
APe	3,31	0,86	2,05	0,18	2,51	0,61	3,84	0,79	2,60	0,32	2,25	0,54	2,56	0,64
LPe	0,82	0,20	0,72	0,15	0,81	0,31	0,93	0,27	0,73	0,10	0,53	0,11	0,71	0,04
CC	10,15	2,27	5,75	0,31	6,97	1,27	8,26	1,31	7,56	0,68	5,14	0,62	5,74	0,67
AC	7,87	2,00	5,24	0,34	4,82	1,47	7,27	1,33	6,84	0,65	4,66	0,70	3,26	0,47
ALO	4,09	1,12	2,59	0,32	3,76	0,89	3,57	0,70	3,36	0,34	1,81	0,34	1,78	0,44
ArO	11,09	3,76	7,96	9,46	2,62	1,19	5,78	1,50	6,50	1,19	2,71	0,48	1,45	0,84
LB	3,45	0,77	2,00	0,16	4,63	0,83	2,96	0,51	2,52	0,31	1,57	0,11	2,51	0,42
AB	5,33	1,54	3,30	0,42	4,30	1,36	4,01	0,44	4,00	0,55	2,02	0,45	1,83	0,31
CD	2,44	0,68	1,26	0,32	2,21	0,41	1,87	0,55	2,03	0,30	1,42	0,37	1,15	0,26
CBar	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ArNCa	45,63	23,60	15,20	3,58	26,17	14,87	38,25	15,17	28,11	5,23	14,00	6,53	13,00	4,82
ArNPt	10,75	5,14	4,25	0,42	15,00	11,53	9,20	3,08	5,61	0,74	3,50	1,00	4,33	0,76
Ci	25,50	6,28	13,60	3,12	225,00	118,73	27,80	6,23	18,61	1,93	16,40	4,44	4,50	1,00

APÊNDICE I — Valores mais frequentes (moda) das subcategorias das medidas morfológicas qualitativas nominais (PO, posição dos olhos; PB, posição da boca; OB, orientação da boca; TD, tipo de dentição) das espécies de peixes dos córregos Peixinho, Pitomba e Ouro Fino (artigo II), mostrando entre parênteses o código da variável seguido pelo respectivo nome da variável.

Espécies	PO	PB	OB	TD
Córrego Peixinho				
<i>Astyanax argyrimarginatus</i>	(1) lateral	(3) subterminal	(3) oblíqua	(10) tri e multicuspidado
<i>Astyanax elachylepis</i>	(1) lateral	(3) subterminal	(3) oblíqua	(10) tri e multicuspidado
<i>Creagutus figueiredoi</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(9) tricuspido
<i>Eigenmannia cf. trilineata</i>	(2) dorsolateral	(2) terminal	(2) terminal	(1) cardiforme
<i>Hyphessobrycon aff. tenuis</i>	(1) lateral	(3) subterminal	(3) oblíqua	(10) tri e multicuspidado
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(9) tricuspido
Córrego Pitomba				
<i>Astyanax argyrimarginatus</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(11) multicuspidado
<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i>	(1) lateral	(3) subterminal	(3) oblíqua	(9) tricuspido
<i>Hypostomus sp. 3</i>	(2) dorsolateral	(5) ventral	(4) ventral	(6) brush-like (dentição do tipo escova)
<i>Imparfinis mirini</i>	(2) dorsolateral	(2) terminal	(2) terminal	(1) cardiforme
<i>Knodus cf. breviceps</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(10) tri e multicuspidado
Córrego Ouro Fino				
<i>Bryconops cf. giacopinii</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(10) tri e multicuspidado
<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(9) tricuspido
<i>Hypostomus sp. 4</i>	(2) dorsolateral	(2) terminal	(4) ventral	(6) brush-like (dentição do tipo escova)
<i>Knodus cf. breviceps</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(10) tri e multicuspidado
<i>Moenkhausia veneri</i>	(1) lateral	(2) terminal	(3) oblíqua	(10) tri e multicuspidado
<i>Odontostilbe sp.</i>	(1) lateral	(2) terminal	(2) terminal	(11) multicuspidado
<i>Melanorivulus zygonectes</i>	(1) lateral	(2) terminal	(3) oblíqua	(4) incisor

APÊNDICE K — Estatística descritiva dos índices ecomorfológicos das espécies de peixes de do córrego Pitomba (artigo II): média (\bar{X}) e desvio padrão (DP). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

	<i>Astyanax argyrimarginatus</i> (4)		<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i> (4)		<i>Hyostomus sp. 3</i> (10)		<i>Imparfinis mirini</i> (7)		<i>Knodus cf. breviceps</i> (6)	
	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP	\bar{X}	DP
IC	2,75	0,17	2,87	0,42	0,89	0,09	1,13	0,13	2,43	0,22
CRPd	0,98	0,12	1,12	0,27	1,28	0,21	1,50	0,15	1,32	0,15
ARPd	0,29	0,02	0,29	0,04	0,48	0,05	0,83	0,66	0,36	0,03
LRPd	0,40	0,32	0,25	0,03	0,17	0,04	0,21	0,04	0,25	0,04
CRCab	2,66	0,10	2,27	0,17	2,27	0,19	2,16	0,21	2,43	0,11
ARCab	0,74	0,05	0,93	0,12	0,89	0,07	0,86	0,11	0,77	0,04
ARBo	0,24	0,01	0,41	0,05	0,70	0,11	0,51	0,19	0,40	0,04
LRB	0,74	0,06	0,92	0,12	0,64	0,07	0,81	0,08	0,68	0,07
PO	0,47	0,02	0,41	0,08	0,63	0,04	0,69	0,09	0,48	0,06
ARO	0,65	0,08	0,64	0,11	0,30	0,09	0,12	0,02	0,47	0,07
ARC	3,58	0,11	2,33	0,91	4,94	0,57	2,08	0,32	2,86	0,40
ARPt	0,70	0,11	0,70	0,11	3,07	0,41	1,17	0,22	0,63	0,10
CRDt	0,40	0,05	0,65	0,09	—	—	0,39	0,06	0,60	0,12
CI	8,43	1,32	5,15	1,32	101,69	18,70	5,67	0,98	7,17	0,54
CRB	—	—	—	—	—	—	2,93	0,55	—	—

APÊNDICE M — Porcentagem de volume (V_o , ml) dos itens alimentares identificados na dieta das espécies de peixes do córrego Peixinho (artigo II). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

Item alimentar	<i>Astyanax argyrimarginatus</i> (4)	<i>Astyanax elachylepis</i> (4)	<i>Creagutus figuredoi</i> (6)	<i>Eigenmannia cf. trilineata</i> (3)	<i>Hyphessobrycon aff. tenuis</i> (10)	<i>Moenkhausia oligolepis</i> (10)
Algas	—	0,06	—	—	—	0,13
Arachnida	—	—	8,62	—	2,24	—
Artrópode terrestre	—	—	—	—	1,67	—
Coleoptera	—	0,06	1,41	5,07	2,15	14,75
Crustáceo	—	—	—	—	0,51	—
Diptera aquático	10,45	—	5,18	31,97	11,66	0,97
Diptera terrestre	—	—	0,83	0,40	4,52	0,45
Ephemeroptera aquático	5,52	—	3,28	1,82	4,39	0,76
Fragmentos de Peixes	0,79	—	—	—	0,32	10,55
Hemiptera terrestre	—	35,37	—	—	0,96	19,73
Hymenoptera	18,84	0,88	45,27	0,23	52,27	26,05
Inseto aquático	7,99	0,30	8,08	1,94	4,36	2,49
Inseto terrestre	0,59	1,37	2,50	—	0,99	2,82
Invertebrado aquático	1,48	—	1,20	0,46	—	0,23
Invertebrado terrestre	19,53	—	—	—	3,07	0,78
Isoptera	—	0,38	—	—	—	0,68
Larva de Odonata	3,94	—	20,39	0,23	4,10	0,22
Psocoptera	—	—	—	—	—	1,42
Sedimento	2,17	0,12	1,77	49,40	6,12	0,33
Thysanoptera	—	0,06	—	—	—	—
Trichoptera aquático	—	—	0,94	7,07	—	0,43
Vegetal superior	28,70	61,38	0,54	1,42	0,67	17,20

APÊNDICE N — Porcentagem de volume (*V_o*, ml) dos itens alimentares identificados na dieta das espécies de peixes do córrego Pitomba (artigo II). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

Item alimentar	<i>Astyanax argyrimarginatus</i> (4)	<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i> (4)	<i>Hypostomus</i> sp. 3 (10)	<i>Imparfinis mirini</i> (7)	<i>Knodus cf. breviceps</i> (6)
Algas	1,84	0,11	0,25	0,03	2,04
Arachnida	2,09	2,06	—	—	0,91
Coleoptera	3,72	2,52	—	—	14,94
Diptera aquático	3,79	29,44	1,54	12,73	31,99
Diptera terrestre	2,11	11,80	—	—	0,71
Ephemeroptera aquático	1,01	16,04	—	27,53	17,37
Hemiptera terrestre	6,46	11,91	—	—	2,25
Hymenoptera	8,26	6,07	—	—	9,08
Inseto aquático	1,18	6,19	0,29	1,78	1,95
Inseto terrestre	1,49	6,07	0,14	0,21	5,68
Invertebrado aquático	0,09	3,21	—	—	1,36
Invertebrado terrestre	0,02	—	0,25	—	—
Isoptera	—	—	—	—	0,50
Larva de Lepidoptera	4,52	—	—	—	—
Larva de Odonata	18,77	1,60	—	1,40	2,32
Plecoptera	0,09	—	—	—	—
Sedimento	0,94	2,41	95,69	2,80	2,93
Trichoptera aquático	0,18	—	—	53,51	4,22
Vegetal superior	43,43	0,57	1,83	—	1,75

APÊNDICE O — Porcentagem de volume (Vo, ml) dos itens alimentares identificados na dieta das espécies de peixes do córrego Ouro Fino (artigo II). Os números entre parênteses, seguidos pelos nomes das espécies, indicam a quantidade de indivíduos amostrados.

Item alimentar	<i>Bryconops cf. giacopinii</i> (4)	<i>Hemigrammus cf. rodwayi</i> (10)	<i>Hypostomus sp. 4</i> (3)	<i>Knodus cf. breviceps</i> (10)	<i>Moenkhausia venerei</i> (9)	<i>Odontostilbe sp.</i> (5)	<i>Melanorivulus zygonectes</i> (3)
Algas	—	—	1,52	—	—	1,95	—
Arachnida	22,71	4,38	—	3,00	11,87	—	—
Coleoptera	24,82	12,16	—	6,85	6,29	—	—
Crustáceo	0,19	0,51	—	—	—	—	23,66
Diptera aquático	5,40	17,89	—	13,18	12,90	35,37	12,90
Diptera terrestre	5,43	14,96	—	11,21	3,47	2,93	4,30
Ephemeroptera aquático	1,34	10,10	—	4,03	3,04	26,83	—
Hemiptera aquático	—	3,02	—	—	—	—	—
Hemiptera terrestre	1,29	—	—	0,21	1,90	—	—
Hymenoptera	18,50	8,62	—	18,66	50,19	—	—
Inseto aquático	0,19	9,85	6,82	1,19	2,71	10,24	—
Inseto terrestre	1,45	0,68	—	12,37	2,60	—	—
Invertebrado aquático	0,54	0,26	37,50	1,33	—	—	—
Invertebrado terrestre	—	—	6,82	1,75	0,60	—	—
Isoptera	7,80	3,86	—	3,32	—	—	—
Larva de Odonata	7,53	6,31	—	6,41	1,03	3,41	40,86
Odonata terrestre	1,40	4,83	—	—	—	—	—
Psocoptera	—	—	—	3,56	1,41	—	—
Sedimento	0,07	1,99	45,08	2,34	1,08	6,59	18,28
Trichoptera aquático	—	0,06	—	2,94	0,92	9,76	—
Vegetal superior	1,34	0,51	2,27	7,65	—	2,93	—

ANEXO

ANEXO A — Normas da Revista *Neotropical Ichthyology*. Os dois artigos que pertencem ao conteúdo desta dissertação serão submetidos à Revista *Neotropical Ichthyology*, cujas normas podem ser acessadas pelo seguinte endereço eletrônico:

<http://www.scielo.br/revistas/ni/iinstruc.htm>

