

Lívia Medeiros Cordeiro

**Distribuição, filogeografia dos bagres troglóbios do gênero  
*Trichomycterus* na área cárstica da Serra da Bodoquena,  
MS (Siluriformes:Trichomycteridae)**

**Ecology and phylogeography of *Trichomycterus troglobiticus*  
catfish in Serra da Bodoquena karst area, MS  
(Siluriformes, Trichomycteridae)**

São Paulo

Fevereiro, 2014

**Distribuição e ecologia populacional dos bagres troglóbios do gênero *Trichomycterus* no carste da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul (Siluriformes: Trichomycteridae)**

## RESUMO

Neste trabalho foram investigados a distribuição de populações e aspectos populacionais (densidades populacionais e distribuição da classe de tamanho, peso e fator de condição) de bagres *Trichomycterus* troglóbios, com enfoque na Gruta do Urubu Rei, entre abril de 2010 a outubro de 2012. As prospecções em campo resultaram na confirmação de 11 localidades com ocorrência desses bagres, distribuídas ao longo de 115 km na direção norte-sul ao longo das cabeceiras cársticas do Rio Miranda, quatro delas tratando-se de novos registros. A densidade da população de *Trichomycterus* sp. 1 na Gruta do Urubu Rei está sujeita às variações sazonais entre anos relacionadas aos ciclos pluviométricos regionais. O predomínio de classes de tamanhos juvenis (CP < 40 mm), os deslocamentos relativamente grandes de indivíduos maduros, as variações na densidade populacional indicam que a Gruta do Urubu Rei abriga uma população aberta e possui condições ambientais propícias à reprodução e crescimento, funcionando como uma caverna “berçário”. As comparações dos parâmetros estudados sugerem que as populações-fontes de *Trichomycterus* sp. 1 ocupam ambientes freáticos próximos à superfície, possivelmente devido à maior disponibilidade alimentar nestes locais. Por outro lado, os dados de densidade populacional e de distribuição das classes de tamanho indicam que *T. dali* e *Trichomycterus* sp. 2 possivelmente habitam ambientes freáticos profundos e reproduzem-se próximo à superfície. Até o momento, pouco se sabe sobre a ecologia destas espécies em cavernas subaquáticas da região, fazendo-se necessários estudos futuros para compreender a dinâmica das populações no freático profundo. Os bagres *Trichomycterus* subterrâneos da Serra da Bodoquena devem ser considerados vulneráveis à extinção, pois seus habitats estão sujeitos à degradação antrópica, como a contaminação e exploração da água subterrânea, assoreamento do aquífero de condutos e o turismo não-controlado.

**Palavras-chave:** Biologia subterrânea, ecologia populacional, distribuição geográfica, cavernas, *Trichomycterus*.

## ABSTRACT

The present study focused the distribution of *Trichomycterus* populations and populational aspects (population density and distribution of size, weight and condition factor classes), in the Urubu Rei Cave, between April 2010 and October 2012. Field surveys confirmed the occurrence of *Trichomycterus* catfishes in 11 localities, included four new records, distributed along 115 km in the north-south direction encompassing the karst headwaters of the Miranda River basin,. The population density of *Trichomycterus* sp. 1 in the Urubu Rei Cave showed seasonal and inter-years variations related to regional pluviometric cycles. The predominance of juvenile size classes (SL < 40 mm), the relatively long-distance movements of mature individuals and variations in population densities indicate that Urubu Rei Cave shelters an open population with environmental conditions favorable for reproduction and growth. The comparisons of parameters indicate that the source populations of *Trichomycterus* sp. 1 occupy groundwater habitats near the surface, possibly due to greater food availability in this zone. On the other hand, data on population density and distribution of size classes suggest that *T. dali* and *Trichomycterus* sp. 2 probably inhabit deep phreatic habitats and reproduce near the surface so far. Little is known about the ecology of these species in underwater caves hence further studies are necessary to understand the population dynamics in the deep phreatic zone. Subterranean *Trichomycterus* catfish from Serra da Bodoquena should be considered at least vulnerable, because their habitats are subjected to anthropogenic degradation, such as exploitation and contamination of groundwaters and sedimentation conduits aquifer and poorly controlled touristic visitation.

**Key-words:** Subterranean biology, population ecology, geographic distribution, caves, *Trichomycterus* catfish.

## 1. INTRODUÇÃO

O meio subterrâneo, ou hipógeo, consiste no contínuo de espaços interconectados formados em rocha maciça, representados, entre outros, pelas cavernas (JUBERTHIE, 2000). Paisagens cársticas são regiões sustentadas por rochas carbonáticas onde predominam processos de dissolução química da rocha pela água, gerando o desenvolvimento de porosidade secundária na forma de condutos e, conseqüentemente, sistemas hidrológicos subterrâneos (SALLUN-FILHO & KARMANN, 2012). Os relevos cársticos são caracterizados, então, pela presença de cavernas, sumidouros, ressurgências e pela escassez de escoamento superficial (FORD & WILLIAMS, 2007; SALLUN-FILHO & KARMANN, 2012). Essas regiões representam cerca de 10% da superfície dos continentes, com uma biodiversidade subterrânea endêmica de alto interesse científico e para conservação, além de abrigar aquíferos de grande importância econômica e social (FORD & WILLIAM, 2007; WATSON *et al.*, 1997).

Os habitats subterrâneos aquáticos variam em gradiente vertical, desde corpos d'água isolados, na zona insaturada (em contato com ar) até condutos freáticos profundos, na zona saturada (totalmente preenchida por água) (TRAJANO, 2001; TRAJANO & BICHUETTE, 2010; FORD & WILLIAMS, 2007). No nível freático superficial, a água subterrânea pode se conectar com a superfície através de insurgências, nascentes ou ressurgências (PALMER, 2007). Assim como os ambientes superficiais, os habitats subterrâneos enquadram-se em duas grandes categorias ecológicas: lóticos e lênticos (TRAJANO, 2001). Os primeiros caracterizam-se pela presença de fluxo de água (que pode ser lento a intenso, com trechos encachoeirados, dependendo do gradiente hidráulico), teores mais altos de oxigênio dissolvido, fundo com predomínio de rochas (com matacões, seixos e cascalhos e, por vezes, a própria rocha mãe exposta), com trechos alternados entre corredeiras e poções de fluxo mais

lento. Os habitats lênticos, por sua vez, apresentam fluxo de água lento ou ausente, teores mais baixos de oxigênio dissolvido e fundo frequentemente com sedimentos finos (silte, argila) e/ou com exposição da rocha-mãe. As cavernas submersas, ou inundadas - cavidades inundadas posteriormente à uma fase vadosa (preenchida por ar) por elevação do lençol freático e/ou rebaixamento do terreno -, e as cavernas freáticas - condutos freáticos amplos, nunca expostos acima do nível de base - podem ter características lóticicas ou lênticas, dependendo do tipo de fluxo de água e da variação sazonal (TRAJANO, 2001; FORD & WILLIAMS, 2007; PALMER, 2007).

As comunidades que coevoluem nesses habitats são constituídas por populações troglófilas, populações de espécies formadas por indivíduos capazes de completar seu ciclo de vida tanto no meio epígeo como hipógeo, podem deslocar-se entre estes, ou seja, com fluxo gênico entre populações-fonte epígeas e subterrâneas; populações troglógenas, formadas por indivíduos que precisam retornar periodicamente ao meio epígeo para completar o ciclo de vida; e troglóbias, cujas populações-fonte são restritas ao meio subterrâneo (*sensu* TRAJANO, 2012). Estes últimos geralmente apresentam modificações morfológicas, fisiológicas e comportamentais associadas a este modo de vida, denominadas troglomorfismos (CULVER, 1982; CHRISTIANSEN, 2012). Em contraste com meio superficial, caracterizado pela presença de ciclos diários e sazonais bem definidos, os habitats subterrâneos apresentam ausência permanente de luz e tendência à estabilidade ambiental, condições que determinam diversos aspectos da biologia dos organismos troglóbios (BARR, 1968; CULVER, 1982; JUBERTHIE, 2000).

As especializações à vida subterrânea incluem, por exemplo, a redução até perda total das estruturas visuais e da pigmentação melânica, o incremento no número e/ou tamanho de estruturas sensoriais não visuais, a tendência à estratégia do ciclo de vida do tipo K, com baixa fecundidade, reprodução tardia e pouco frequente, crescimento lento e aumento da

longevidade, a regressão da ritmicidade circadiana, da fotofobia, do comportamento agonístico e do hábito criptobiótico (POULSON, 1963; CULVER, 1982; PARFEZALL & TRAJANO, 2010).

Peixes teleósteos são os organismos cavernícolas mais conspícuos, amplamente distribuídos como troglófilos e troglóbios (estes últimos exceto na Europa) (PROUDLOVE, 2010). No Brasil, a ictiofauna subterrânea é taxonomicamente rica e diversificada, com mais de 26 espécies troglóbias conhecidas atualmente, predominantemente representadas por Siluriformes heptapterídeos e tricomictérídeos (TRAJANO & BICHUETTE, 2010; BICHUETTE & RIZZATO, 2012; BICHUETTE *et al.*, 2013). Esta alta diversidade, quando comparada com outras regiões do mundo, deve-se pelo menos em parte, à alta diversidade ictiofaunística neotropical, fornecendo uma ampla variedade de potenciais colonizadores para os habitats hipógeos (TRAJANO & BICHUETTE, 2010). Entre os peixes troglóbios brasileiros, algumas espécies são endêmicas de um único sistema cárstico (um sistema cárstico abrange a zona de recarga, a zona de descarga e todo o trecho de escoamento da água subterrânea entre elas - SALLUN-FILHO & KARMANN, 2012), ocorrendo em ambientes tipicamente lóticos como, por exemplo *Rhamdia* sp. e *Ancistrus* sp., (espécies não descritas da Serra da Bodoquena, MS – CORDEIRO *et al.*, 2013), *Rhamdia enfurnada* Bichuette & Trajano, 2005 (Gruta do Enfurnado, BA), *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano & Pinna, 1996 (Gruta Olhos d'água, MG) outras, como *Pimelodella kronei* (Ribeiro, 1907) (Alto Ribeira, SP) e *Ancistrus cryptophthalmus* Reis, 1987 (São Domingos, GO), ocorrem em áreas maiores, mas ainda restritas, abrangendo algumas microbacias. Outras, ainda, especialmente aquelas adaptadas ao meio freático, com características lênticas, tem distribuição relativamente ampla, embora estudos filogeográficos venham revelando expressiva diversidade escondida, como no caso de *Rhamdiopsis krugi* Bockmann & Castro, 2010 (BICHUETTE, RANTIN, HINGZT-ZAHER & TRAJANO, em andamento).

Devido às suas características biológicas e ecológicas, somadas ao endemismo decorrente da alta compartimentação dos habitats subterrâneos, os troglóbios são intrinsicamente frágeis, vulneráveis a alterações ambientais, apresentando populações frequentemente pequenas e com baixa capacidade de resiliência (CULVER, 1982; TRAJANO, 2000). TRAJANO (2001) sugere que as populações de peixes troglóbios podem ser consideradas muito pequenas, se tiverem tamanhos da ordem de centenas de indivíduos; pequenas, se da ordem de milhares de indivíduos; médias a grandes, se da ordem de dezenas de milhares de indivíduos ou mais.

Do mesmo modo, as densidades populacionais podem variar entre espécies de peixes troglóbios, sem correlação taxonômica. TRAJANO (2001) propôs uma classificação com base na média dos valores estimados, uma referência interessante para fins comparativos intra- e interespecíficos e para o monitoramento a médio e longo prazo. Assim, são consideradas populações de baixa densidade aquelas com 0,1 ind./m<sup>2</sup> ou menos; densidades médias, entre 0,1 e 1,0 ind./m<sup>2</sup>; e altas densidades, mais de 1,0 ind./m<sup>2</sup>. Para empregar estas classificações e levantar outros parâmetros populacionais, são necessárias várias visitas ao local de estudo em questão para se obter estimativas quantificadas através de métodos adequados para cada caso.

Segundo TRAJANO (2001), técnicas de marcação-recaptura (MR) produzem estimativas mais confiáveis e robustas do tamanho das populações, sendo as densidades calculadas a partir das áreas ocupadas pela população estimada, enquanto os censos visuais (CV) produzem cálculos diretos das densidades populacionais, sendo o tamanho da população estimada a partir da área ocupada pela população. Na prática, estudos baseados em MR demandam um maior número de ocasiões de coleta de dados e técnicas específicas de marcação, enquanto CVs são mais simples, podendo ser realizados de fora da água ou através de mergulho-livre nas partes acessíveis da caverna, quando a transparência da água o permite.



Entre as áreas cársticas brasileiras, a Serra da Bodoquena destaca-se por sua alta diversidade de troglóbios, com 31 espécies reconhecidas por especialistas, a maioria ainda não descrita, incluindo peixes siluriformes, crustáceos Peracarida, com destaque para relictos filogenéticos como o Speleogriphacea *Potiicoara brasiliensis* Pires, 1987 e o Amphipoda *Megagidiella azul* Koenemann & Holsinger, 1999, planárias aquáticas do gênero *Girardia*, aracnídeos como opiliões *Eusarcus* e aranhas Ctenidae, diplópodes Polydesmida, diversos colêmbolos e alguns insetos (CORDEIRO *et al.*, no prelo). Estes autores reconhecem quatro compartimentos de aparente relevância biogeográfica para os cavernícolas, correspondendo a diferentes microbacias (margem direita do Rio Salobra, margem esquerda do Rio Salobra, Rio Perdido e bacias Formoso-Prata). Troglóbios freáticos (bagres *Trichomycterus*, crustáceos Peracarida aquáticos, planárias) apresentam distribuições amplas através desses compartimentos, atingindo áreas distantes, como *Potiicoara brasiliensis*, que ocorre em regiões descontínuas à Serra da Bodoquena (Corumbá - MS e Serra das Araras - MT), enquanto as espécies aquáticas que vivem em riachos (siluriformes como *Rhamdia* sp. e *Ancistrus* sp.) estão distribuídas em áreas mais restritas, em um único sistema de cavernas. Já os terrestres em geral, que vivem na zona vadosa, descontínua, tendem a apresentar distribuições restritas aos respectivos compartimentos (CORDEIRO *et al.*, *op. cit.*).

Os peixes troglóbios são os únicos vertebrados especializados encontrados em ecossistemas subterrâneos neotropicais e, geralmente, são os predadores de topo nestes ambientes, o que faz deles espécies-chave indicadoras de integridade dos sistemas subterrâneos onde ocorrem (BICHUETTE & TRAJANO, 2010). As principais ameaças a estas espécies são a degradação do hábitat, manipulações hidrológicas, poluição ambiental, superexploração e a introdução de espécies exóticas (PROUDLOVE, 2001; BICHUETTE & TRAJANO, 2010). Por serem endêmicas, ocorrerem em áreas pequenas e terem, geralmente, populações pequenas, qualquer ameaça pode ter consequências graves (PROUDLOVE, 2001;

TRAJANO, 2001; BICHUETTE & TRAJANO, 2010). Por estas razões, as populações e espécies troglóbias tem sido consideradas ameaçadas ou vulneráveis, segundo os critérios da IUCN (*International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources*) (PROUDLOVE, 2001). GALLÃO & BICHUETTE (2012) propõem que os limites espaciais de proteção dos peixes troglóbios devem englobar os sistemas e as bacias hidrográficas nas quais estes ocorrem para que, seja mantida a integridade dos habitats.

Muitos ecossistemas subterrâneos do Mato Grosso do Sul, assim como grande parte dos ecossistemas subterrâneos em geral, estão ameaçados por alterações antrópicas como o turismo não controlado, o assoreamento decorrente do desmatamento e mineração a céu aberto e o uso e contaminação do subsolo, carecendo de ações urgentes para sua proteção efetiva, de modo a garantir a utilização sustentável do solo e dos aquíferos (BICHUETTE & TRAJANO, 2010; CORDEIRO *et al.*, 2013).

No final da década de 1990, os primeiros bagres troglomórficos do gênero *Trichomycterus* da área cárstica da Serra da Bodoquena foram descobertos por espeleomergulhadores na caverna inundada Buraco das Abelhas (bacia do Rio da Prata), município de Bonito, MS (COSTA-JUNIOR, 1998). Esses bagres eram relativamente comuns nessa caverna, sendo observados até profundidades de 60 m, e destacavam-se morfológicamente não só por olhos não visíveis externamente e de pigmentação melânica como, também, por uma crista adiposa pré-dorsal bem desenvolvida nos adultos e por barbilhões nasais extremamente longos (RIZZATO *et al.*, 2011). Mais de 10 anos depois, os bagres do Buraco das Abelhas, com espécimes adicionais provenientes de outras três localidades da bacia do Rio Salobra (cavernas Saracura, Morro do Jericó e Flor da Bodoquena), foram descritos formalmente como *Trichomycterus dali* Rizzato, Costa-Jr., Trajano & Bichuette, 2011, tendo por localidade-tipo a gruta Saracura. Em 2000, bagres troglomórficos do mesmo gênero foram identificados ao norte da mesma região, na gruta do Urubu Rei (dados de espécimes

depositados na coleção do MZUSP e ZUFMS). Contudo, estes apresentavam características distintas de *T. dali*, como o perfil dorsal mais baixo e variabilidade quanto à pigmentação, com a presença de indivíduos com pigmentação melânica intensa. Assim, com o evidente potencial para a ocorrência de outras populações do gênero *Trichomycterus* em cavernas da região, a carência de informações sobre os habitats e parâmetros populacionais destes troglóbios para fins de conservação, o levantamento em campo destas informações foi o objetivo geral do presente trabalho, realizado entre abril de 2010 e outubro 2012.

## **2. OBJETIVOS**

- Investigar a distribuição dos peixes troglóbios do gênero *Trichomycterus* na Serra da Bodoquena.
- Descrever os tipos de habitats ocupados pelas populações encontradas.
- Realizar o monitoramento da população na Gruta do Urubu Rei, a fim de investigar os parâmetros populacionais, com foco na densidade e no tamanho populacional, distribuição das frequências de classes de comprimento-padrão, peso e fator de condição (estado de rigidez) e deslocamentos individuais em diferentes épocas do ciclo anual.
- Comparar parâmetros populacionais em diferentes localidades, abordando densidades populacionais e frequências de classes de comprimento-padrão, peso e fator de condição.

## **6. CONCLUSÕES**

- Bagres troglóbios do gênero *Trichomycterus* distribuem-se por uma ampla área no Planalto da Serra da Bodoquena, ao longo das cabeceiras cársticas da Bacia do Rio Miranda.

- As espécies troglóbias de *Trichomycterus* provavelmente constituem em relictos biogeográficos na Serra da Bodoquena, dada a ausência de representantes do gênero nas ictiocenoses epígeas.
- A Gruta do Urubu Rei abriga uma população aberta e marginal de *Trichomycterus* sp. 1, composta principalmente por juvenis, sendo, possivelmente, um berçário desta espécie.
- A população de *Trichomycterus* sp. 1 da Gruta do Urubu Rei está sujeita a grandes variações na densidade populacional associada às variações na pluviosidade.
- A Mina do Velho e a Gruta do Sr. Valdemar abrigam populações-fonte de *Trichomycterus* sp. 1, com maior proporção de indivíduos potencialmente reprodutivos.
- As maiores densidades populacionais de indivíduos maduros de *Trichomycterus* sp. 1 foram encontradas em ambientes freáticos superficiais, em contato direto ou próximo à superfície, indicando uma preferência por este tipo de hábitat.
- Bagres *Trichomycterus dali* possivelmente preferem e são especializados em habitar o meio freático mais profundo do que *Trichomycterus* sp. 1.
- Os bagres *Trichomycterus* troglóbios da Serra da Bodoquena estão sujeitos a pressões antrópicas consideráveis, como o assoreamento de condutos subterrâneos, rebaixamento e contaminação do lençol freático e o turismo não-controlado, portanto podem ser considerados, no mínimo, vulneráveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. 1965. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso) Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 219, p.1-96.
- BASKIN, J. N. 1973. *Structure and relationships of the Trichomycteridae*. 389p. Unpublished Ph.D. Dissertation, City University of New York, New York.
- BARR, T. C. 1968. Cave ecology and evolution of troglobites. *Evolutionary Biology*, v.2, p.35-102.
- BARRIGA, J. P.; BATTINI, M. A. 2009. Ecological significances of ontogenetic shifts in the stream-dwelling catfish, *Hatcheria macraei* (Siluriformes, Trichomycteridae), in a Patagonian river. *Ecology of Fresh Water Fish*; v.18, n.3, p.395-405.
- BEGON, M. 1979. *Animal populations; Animal marking; Mathematical models*. University Park Press. 97 p.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. 2007. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*, 4<sup>a</sup>ed. Blackwell Publishing Ltd. 738 p.
- BICHUETTE, M. E.; TRAJANO, E. 2010. Conservation of Subterranean Fishes. In: TRAJANO, E. BICHUETTE, M. E.; KAPOOR, B. G. (Org.). *Biology of Subterranean Fishes*, 1ed. Enfield: Science Publishers, v.1, p.65-80.
- BICHUETTE, M. E.; RIZZATO P. P. 2012. A new species of cave catfish from Brazil, *Trichomycterus rubbioli* sp. n., from Serra do Ramalho karstic area, São Francisco River basin, Bahia State (Siluriformes: Trichomycteridae). *Zootaxa*, v.3480, p.48-66.
- BICHUETE, M. E.; TRAJANO, E. 2004. Three new subterranean species of *Ituglanis* from Central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). *Ichthyological Explorations of Freshwaters*, Cornol, v.15, n.3, p.243-256.
- BICHUETTE, M. E.; TRAJANO, E. 2008. *Ituglanis mambai*, a new subterranean catfish from a karst area of Central Brazil, rio Tocantins basin (Siluriformes: Trichomycteridae). *Neotropical Ichthyology*, v. 6, p. 9-15.
- BICHUETTE, M. E.; RIZZATO, P. P.; CAMARGO, A. L.; BRANDI, R.; SENNA-HORTA, L. 2013. Um novo bagrinho troglóbio brasileiro: A notável Serra do Ramalho, sudoeste da Bahia. *O Carste*, v.25, n.1, p.58-59.
- BORGHEZAN, R. 2013. *Ecologia populacional e comportamento de peixes subterrâneos, Rhamdia sp. e Ancistrus sp., da área cárstica da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul (Siluriformes: Heptapteridae, Loricariidae)*. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências da USP, 134 p.
- BRASIL. 2000. Decreto s/nº, de 21 de setembro de 2000, que cria Parque Nacional da Serra da Bodoquena, no Estado de Mato Grosso do Sul.

CAVALLARO, M. 2005. *Variação Longitudinal das Ictiocenoses de Poções em um Córrego da Serra da Bodoquena - MS*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS.

CASATTI, L.; ROMERO, R. M.; TERESA, F. B.; SABINO, J.; LANGEANI, F. 2010. Fish community structure along a conservation gradient in Bodoquena Plateau streams, central West of Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 22, no. 1, p. 50-59,

CAMARGO, R. R.; LOURENÇÃO, M.L. 2009. Levantamento espeleológico da Serra da Bodoquena. Sociedade Brasileira de Espeleologia. Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ouro Preto (MG), 07-10 de junho de 2007, p.53-60.

CAMPANHA, G. A. C.; BOGGIANI, P. C.; SALLUN FILHO, W.; SÁ, F. R.; ZUQUIM, M. P. S.; PIACENTINI, T. 2011 . A Faixa de Dobramento Paraguai na Serra da Bodoquena e Depressão do Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. *Geologia USP, Série Científica*, v. 11, p. 79-96.

CHRISTIANSEN, K.A. 2012. Troglomorphism. In: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Org.). *Encyclopedia of Caves*, 2nd ed., Chennai: Academic Press. p. 517-527,

CORDEIRO, L. M.; BORGHEZAN, R.; TRAJANO (no prelo). Subterranean biodiversity in the Serra da Bodoquena karst area, Paraguay River basin, Mato Grosso do Sul, Southwestern Brazil. *Biota Neotropica*.

CORDEIRO, L. M.; BORGHEZAN, R.; TRAJANO, E. 2013. Distribuição, riqueza e conservação dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena, MS (Teleostei: Siluriformes). *Revista da Biologia*, v.10, n.2, p. 21-27,

COSTA JR, E. P. D. 1998. *Levantamento faunístico das cavernas inundadas da Serra da Bodoquena, região de Bonito, MS*. Iniciação - Instituto de Biociências da USP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

COSTA Jr., E. 2004. Fish from the Underwater Caves of Bodoquena Plateau, Mato Grosso do Sul, Southwestern Brazil. *DIR Lifestyle & Underwater Adventure Magazine*, v.5, p.8-12.

COSTA-TERRA, L. C.; SABINO, J. 2007. Composição da ictiofauna de dois riachos, um impactado e outro conservado, da bacia do rio Formoso, Município de Bonito, Mato Grosso do Sul. *Ensaio e Ciência*, Campo Grande, v. 11, p.49-58.

CULVER, D. C. 1982. *Cave Life: Evolution and Ecology*. Massachusetts and London: Harvard University Press. Cambridge, 189p.

DATOVO, A.; BOCKMANN, F. A. 2010. Dorsolateral head muscles of the catfish families Nematogenyidae and Trichomycteridae (Siluriformes: Loricarioidei): comparative anatomy and phylogenetic analysis. *Neotropical Ichthyology*, v. 8, p. 193-246.

ELLIOT, W. R. 2012. Protecting Caves and Cave Life. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. (Org.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Chennai: Academic Press, p.624-633.

- FERNÁNDEZ, L.; BICHUETTE, M. E. 2002. A new cave dwelling species of *Ituglanis* from the São Domingos karst, central Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, v.13, n.3, p.273-278.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, 2ed, 579p.
- FROEHLICH, O. 2003. Padrões de variação da riqueza de espécies e composição de comunidades de peixes em poções de um riacho da Serra da Bodoquena, MS. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS.
- FROEHLICH, O. 2010. Ictiofauna de um córrego na Serra da Bodoquena: Estrutura, Variações Longitudinal e Temporal e Efeitos sobre Comunidades Bentônicas. Tese de doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS. 92p.
- GALLÃO, J. E.; BICHUETTE, M. E. 2012. Lista de fauna ameaçada de extinção e os entraves para a inclusão de espécies: O exemplo dos peixes troglóbios brasileiros. *Natureza e Conservação*, v.10, n.1, p.83-87.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, v.4, n.1, 9p. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- HÜPPOP, K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves? In H. Wilkens, D. C. Culver, & W. F. Humphreys (eds). *Subterranean ecosystems*, Amsterdam: Elsevier, p.189-210.
- JUBERTHIE, C. 2000. Diversity of karstic and pseudokarstic hypogean habitats in the world. In: WILKENS, H.; CULVER, D.C.; HUMPHREYS, W. S. (Orgs). *Ecosystems of the World*, Amsterdam: Elsevier, v.30, p. 17-39, 2000.
- MORACCHIOLI, N. 2002. Estudo dos Spelaeogriphacea brasileiros, crustáceos Peracarida subterrâneos. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave Geology*. Dayton, Ohio: Cave Books, 288p.
- PARZEFALL, J.; TRAJANO, E. 2010. Behavioral patterns in Subterranean Fishes. In: TRAJANO, E., BICHUETTE, M.E.; KAPOOR, B. G. (Org.). *Biology of Subterranean Fishes*, 1ed. Enfield: Science Publishers, p.81-114.
- de PINNA, M. C. C. 1989. A new sarcoglanidine catfish, phylogeny of its subfamily, and an appraisal of the phyletic status of the Trichomycterinae. *American Museum Novitates*, v.2950, p.1-39.
- de PINNA, M. C. C. 1998. Phylogenetic relationships of Neotropical Siluriformes (Teleostei: Ostariophysi): historical overview and synthesis of hypotheses. In: MALABARBA, L. R.; REIS, R. E.; VARI, R. P.; LUCENA, Z. M. S.; LUCENA, C. A. S. (Eds.). *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre, Edipucrs, p.279-330.
- POULSON, T. L. 1963. Cave adaptation in amblyopsid fishes. *American Midland Naturalist*, v.70, p.257-290.

PROUDLOVE, G. S. 2010. Biodiversity and distribution of the subterranean fishes of the world. Pp. 41-63. In: TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E.; KAPOOR, B. G. (eds.). *Biology of Subterranean Fishes*. Enfield, Science Publishers, 480p.

PROUDLOVE, G.S. 2001. The conservation status of hypogean fishes. In: ROMERO, A. led. *The biology of hypogean fishes*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp. 201-213.

RIZZATO, P. P.; COSTA-JUNIOR, E.; TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. 2011. *Trichomycterus dali*: a new highly troglomorphic catfish (Siluriformes: Trichomycteridae), from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v.9, p.477-491.

SABINO, J.; TRAJANO, E. 1997. A new species of blind armoured catfish, genus *Ancistrus*, from caves of Bodoquena region, Mato Grosso do Sul, southeastern Brazil (Siluriformes, Loricariidae, Ancistrinae). *Revue Française de Aquariologie*, França, v.24, n.3-4, p.73-78.

SALLUN-FILHO, W.; KARMANN, I.; BOGGIANI, P. C. 2004. Paisagens cársticas da Serra da Bodoquena, MS. In: MANTESSO, V. N.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. 1aed.São Paulo: BECA, p.425-433.

SALLUN-FILHO, W. 2005. *Geomorfologia e geoespeleologia do carste da Serra da Bodoquena, MS*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências – USP. 212p.

SALLUN FILHO, W. ; KARMANN, I. ; BOGGIANI, P. C. ; PETRI, S. ; CRISTALLI, P. S. ; UTIDA, G. 2009. A deposição de tufas quaternárias no estado de Mato Grosso do Sul: proposta de definição da formação Serra da Bodoquena. *Geologia USP. Série Científica*, v. 9, p. 47-60.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. 2007. Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil. *Journal of maps*, p.282-295.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. 2012. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. In: HASSUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Org.). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, p. 629-641.

SCREMIN-DIAS, E.; POTT, V. J.; SOUZA, P. R.; HORA, R. C. 1999. *Nos Jardins Submersos da Bodoquena: Guia para Identificação das Plantas Aquáticas de Bonito e Região de Bonito/MS*. Editora da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 160p.

SILVA, W. R.; GIARETTA, A. A. 2009. On the natural history of *Leptodactylus siphax* with comments on the evolution of reproductive features in the *L. pentadactylus* species group (Anura, Leptodactylidae). *Journal of Natural History*, v.43, p.191-203.

TRAJANO, E. 1991. Population ecology of *Pimelodella kronei*, troglotic catfish from southeastern Brazil (Siluriformes, Pimelodidae). *Environmental Biology of Fishes*, v.49, n.3, p.757-769.

TRAJANO, E. 1997. Population ecology of *Trichomycterus itacarambiensis*, a cave catfish from eastern Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). *Environmental Biology of Fishes*, v.50, p.357-369.



TRAJANO, E. 2012. Ecological classification of subterranean organisms. In: WHITE, W. B.; CULVER, D. C. (Org.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Chennai: Academic Press, p.275-277.

TRAJANO, E. 2000. Cave faunas in the Atlantic tropical rain forest: composition, ecology and conservation. *Biotropica*, v.32, n.4b, p.882-893.

TRAJANO, E. 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. *Environmental Biology of Fishes*, v.62, n.1-3, p.133-160.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. 2007. Population ecology of cave armoured catfish, *Ancistrus cryptophthalmus* Reis, 1987, from Central Brazil (Siluriformes: Loricariidae). *Ecology of Freshwater Fish*, v.16, p.105-115.

TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. 2010. Subterranean fishes of Brasil. In: TRAJANO, E.; BICHUETTE; KAPOOR B. G. (Eds.) *Biology of subterranean fishes*, 1ed. Enfield: Science Publishers, p.331-335.

TRAJANO, E.; SECUTTI, S.; BICHUETTE, M. E. 2009. Population decline in a Brazilian cave catfish, *Trichomycterus itacarambiensis* Trajano & Pinna, 1986 (Siluriformes): reduced flashflood as a probable cause. *Speleobiology Notes*, v.1, p.24-27.

WATSON, J.; HAMILTON-SMITH, E.; GILLIESON, D.; KIERNAN, K. 1997. *Guidelines for Cave and Karst Protection*. International Union for Conservation of Nature, 63p.

WILLINK, P. W.; FROEHLICH, O.; ALLISON, A. M.; OYAKAWA, O.; CATELLA, A.; CHERNOFF, B.; LIMA, F. C. T.; PIZA, M. T.; ORTEGA, H.; BARRIGA, R. 2000. Fishes of the rios Negro, Negrinho, Taboco, Aquidauana, Taquari, and Miranda, Pantanal, Brasil: Diversity, Distribution, Critical Habitats and Value. In: Willink, P. W.; Chernoff, B.; Alonso, L. E.; Montambault, J. R.; Lourival, R. (Org.). A Biological Assessment of the Aquatic Exosystems of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. *RAP Bulletin of Biological Assessment*. Washington: Conservation International, v.18, p. 63-81.

TOBLER, M., SCHLUPP, I. and PLATH, M. (2007), Predation of a cave fish (*Poecilia mexicana*, Poeciliidae) by a giant water-bug (*Belostoma*, Belostomatidae) in a Mexican sulphur cave. *Ecological Entomology*, v.32, p.492-495.

ZAR, J. H. 2010. *Biostatistical analyses*. Prentice Hall Inc, 5ed, 921p.

**Filogeografia de bagres subterrâneos do gênero *Trichomycterus* na  
área cárstica da Serra da Bodoquena: congruência entre forma e  
marcadores do mtDNA  
(Siluriformes: Trichomycteridae)**

## RESUMO

Entre as populações troglóbias de bagres *Trichomycterus* na Serra da Bodoquena, foram identificadas três linhagens divergentes através do uso de duas técnicas complementares e independentes, a análise de sequências de nucleotídeos do DNA mitocondrial e a morfometria geométrica. As genealogias obtidas para os genes COI, Cit b e 16S foram concordantes, apresentando o mesmo padrão de distribuição geográfica. A divergência genética não está correlacionada com a distância geográfica, sendo melhor explicada pela presença dos haplogrupos. Foi detectado um alto grau de isolamento populacional e baixa variação genética intrapopulacional. Este resultado pode ser explicado pela compartimentação do hábitat, devido ao predomínio de bacias poligonais ao longo do Planalto da Bodoquena, limitando do fluxo gênico entre as populações. Na Gruta Morro do Jericó foi detectada a ocorrência sintópica dos haplogrupos I e II, o que explica o alto valor de divergência nesta localidade. Possivelmente, essa é uma zona secundária de contato entre *T. dali* e *T.sp. 1*. A presença de fluxo de água subterrânea com rotas profundas no Setor sul, pode explicar o menor grau de divergência genética e morfológica entre *T. dali* e *Trichomycterus sp. 2*. A forma corporal indica diferentes graus de especialização, possivelmente associados às diferentes condições ambientais entre os sistemas cársticos da área de estudo. A presença da linhagem mais troglomórfica ao sul da Serra da Bodoquena, região onde ocorrem cavernas atualmente alagadas depois de uma fase vadosa, sugere que o isolamento das linhagens troglóbias de *Trichomycterus* esteja associado ao soergimento relativo, resultante da subsidência da Bacia do Pantanal e responsável pela geomorfologia atual da região. É hipotetizado que o isolamento dos *Trichomycterus* no subterrâneo tenha ocorrido na segunda metade do Terciário, quando o soergimento relativo do Planalto da Boquena foi acelerado.

**Palavras-chave:** genes, forma, sistemas cársticos, divergência genética, *Trichomycterus*.

## ABSTRACT

Among troglotic populations of *Trichomycterus* catfishes in Serra Bodoquena karst area, three lineages were identified using of two independent and complementary methods, the analysis of nucleotide sequences of mitochondrial DNA and geometric morphometric. The genealogies obtained for COI, Cyt b and 16S were highly concordant and showed the same pattern of geographic distribution. The genetic divergence was not correlated with the geographic distance and was best explained by the presence of haplogroups. A high degree of population isolation was detected, with low intra-population genetic variation. The limited gene flow may be explained due to the partitioning of the habitat by the predominance of polygonal basins along the Bodoquena Plateau. In the Cave Morro do Jericó the syntopy of haplogroups I and II, with a high value of divergence in this locality, indicate the presence of a secondary contact zone between *T. dali* and *Trichomycterus* sp. 1. The presence of deep routes of groundwater flow in the South Sector of the Bodoquena Plateau, may explain the lower degree of genetic and morphological divergence between *T. dali* and *Trichomycterus* sp. 2. The comparisons of body shape indicates different degrees of specialization, possibly related to different environmental conditions among the karst in the region. Highly troglomorphic lineages occur in southern Serra Bodoquena, where the presence currently flooded caves after a vadose phase, indicates that the isolation of ancient *Trichomycterus* lineages in subterranean habitats is associated with relative uplift of the region. This would be the result of the subsidence the Pantanal Basin, that is the process responsible by the current geomorphology of the region. We estimated that the underground isolation occurred during the second half of the Tertiary, when the relative uplift of the Bodoquena Plateau was accelerated.

**Key words:** genes, shape, karst systems, genetic divergence, *Trichomycterus*

## 1. INTRODUÇÃO

A história de diversificação dos peixes de água doce está intimamente associada à evolução das bacias hidrográficas, pois os habitats aquáticos intracontinentais podem ser conectados, isolados ou fragmentados, segundo a dinâmica geográfica e/ou climática que atua na região (AVISE, 2000; RIBEIRO, 2006). No entanto, quando se trata de ecossistemas subterrâneos, os limites das drenagens superficiais podem não corresponder aos limites hidrológicos reais, pelo menos em escala regional (PALMER, 2007). Isto ocorre em relevos cársticos devido ao típico predomínio de escoamento subterrâneo em sistemas de aquífero de condutos (FORD & WILLIAM, 2007). Conseqüentemente, a distribuição dos organismos aquáticos e terrestres nestes ambientes geralmente está associada às conexões atuais ou históricas do aquífero que, por sua vez, também está sujeito aos processos que moldam a paisagem (KREJAC, 2005; PALANDAČIĆ, 2011; TRONTELJ, 2007).

Os troglóbios são espécies formadas por populações-fonte que habitam exclusivamente o meio hipógeo (*sensu* TRAJANO, 2012), geralmente apresentando modificações morfológicas, fisiológicas e comportamentais associadas ao modo de vida na ausência permanente de luz, denominadas troglomorfismos, dos quais os mais comuns são a redução, até ausência, das estruturas visuais, da pigmentação melânica, e o maior desenvolvimento de outras estruturas sensoriais (CHRISTIANSEN, 2012).

Em várias circunstâncias, o ambiente das cavernas oferece desafios aos estudos da sua fauna devido à distância, e dificuldade de acesso e permanência nesse tipo de ambiente, sobretudo quando esta envolve a utilização de técnicas específicas, como as técnicas verticais e o mergulho autônomo. Deste modo, a coleta de um número razoável de espécimes para o estudo taxonômico tradicional, por vezes, não é possível e pode despende um grande esforço, com muita visitas e investimento. Assim, o uso de ferramentas complementares é interessante para otimizar o uso dos espécimes coletados, minimizando o impacto sobre as frágeis

populações e comunidades troglóbias por *coleta excessiva* (PROUDLOVE, 2001) e auxiliando a definição das unidades taxonômicas, particularmente quando linhagens próximas apresentam ligeira disparidade morfológica, tipicamente observada em organismos subterrâneos.

Os ecossistemas subterrâneos, têm sido considerados laboratórios naturais para o estudo da ecologia e evolução por causa da relativa simplicidade de suas comunidades e do isolamento temporal e espacial de sua biota (Poulson & White 1969). Portanto, os troglóbios são bons modelos no estudo micro- e macroevolutivo e tem sido estudados de forma crescente na perspectiva filogeográfica (STRECKER, *et al.*, 2003; 2004; NIEMILLER *et al.*, 2008; 2012; JUAN *et al.*, 2010; COLLI *et al.*, 2009; CHIARI *et al.*, 2012). No Brasil, estudos sobre a fauna subterrânea nesta perspectiva encontram-se em desenvolvimento inicial.

A filogeografia objetiva compreender os processos históricos responsáveis pela distribuição geográfica contemporânea de indivíduos e populações a partir de uma [genealogia, usalmente obtida pela análise de sequências de nucleotídios](#) (AVISE, 2000). A genética molecular, comumente usando marcadores mitocondriais, é uma ferramenta importante para se detectar a presença de populações isoladas, espécies crípticas e suas relações filogenéticas (AVISE, 2004).

O mtDNA é formado por 37 genes e 17.000 pares de bases, com regiões que apresentam diferentes taxas de mutação (AVISE, 2000). Análises de sequências de nucleotídios com taxas de mutação lentas e rápidas mostram, com eficiência, relações filogenéticas quando os resultados são concordantes (exemplos em AVISE, 2004; AVISE, 2009). O gene mitocondrial codificador citocromo b (cit b) é considerado um excelente marcador usado em filogenias moleculares e filogeografia, por possuir regiões conservadas e variáveis, as quais podem conter sinais filogenéticos em diferentes níveis taxonômicos, principalmente em grupos mais inclusivos (ESPOSTI *et al.*, 1993; FARIAS *et al.*, 2001). O

DNA *barcode* (o gene mitocondrial codificador citocromo oxidase I - COI) foi proposto por HEBERT *et al.* (2003) como um método para identificar espécies. Desde então, aproximadamente 2 milhões de exemplares, pertencentes a cerca de 172.000 espécies, incluindo mais de 9.000 peixes, foram catalogados com “código de barras” (ver [www.boldsystems.org](http://www.boldsystems.org)).

Com o objetivo de testar a eficiência do método para estimar a riqueza de espécies, PEREIRA *et al.* (2013) utilizaram o COI para identificar 254 espécies de peixes da bacia do Alto Rio Paraná, incluindo congêneres de diferentes ordens, famílias e gêneros, demonstrando a relevância do método, com a confirmação de mais de 99% dos táxons investigados.

No entanto, é importante ressaltar que o uso do DNA *barcode* é uma ferramenta e, como tal, deve ser usada em conjunto com outras, como a análise de um maior número de genes, incluindo nucleares quando possível, e o estudo da morfologia abrangendo o maior conjunto possível de caracteres, além de outras fontes de informação com sinal filogenético (por exemplo, fisiologia, comportamento, etc), dentro de um contexto comparativo. O uso de *barcode* não substitui o trabalho do taxonomista (para uma discussão sobre o assunto, ver por exemplo, CARVALHO & CRAIG, 2011).

O conhecimento de padrões filogeográficos, a história da espécie e a avaliação da ação de diferentes forças evolutivas, são bem suportados quando há comparação da variação de padrões geográficos obtidos a partir de marcadores de diferentes tipos (GARNIER *et al.*, 2005; WILEY, 2011; WILSON, 2013). Adquirir evidências destes processos a partir de múltiplos recursos, como através da integração do conjunto de dados genéticos, morfológicos e ecológicos, constitui uma abordagem interessante, que produz muita informação sobre a dinâmica da evolução das espécies (WILEY, 2011; WILSON, 2013). Somado ao fato da análise integrativa oferecer um contexto para se discutir o processo de especiação em determinados sistemas, é também, no caso de espécies raras e de baixas densidades

demográficas, um suporte robusto para ações de manejo e conservação (PRIMACK & RODRIGUES, 2001; WILSON, 2013).

A morfologia dos troglóbios quando analisada de forma comparativa, pode trazer evidências a cerca de eventos vicariantes, dando uma idéia do tempo de isolamento no meio subterrâneo, se antigo ou recente (TRAJANO, 2007). Neste caso, as técnicas de morfometria geométrica oferecem um alto poder discriminatório, com análise forma do que outros métodos morfométricos mais tradicionais (TRAJANO *et al.*, 2006).

O uso mais amplo da morfometria geométrica é através da representação de cada espécime em uma posição relativa no espaço morfológico dos *landmarks* (ou marcos anatômicos), que podem ser colocados na posição correspondente em todos os espécimes incluídos na análise (KLINGENBERG, 2011). Um valor relativo à forma é extraído através do procedimento chamado *Procrustes superimposition*, que remove a variação em tamanho, posição e orientação dos dados das coordenadas dos *landmarks*, resultando na variação essencial da morfometria geométrica de um dado organismo ou estrutura (KLINGENBERG, 2011).

Como as características morfológicas de um organismo estão, em grande parte, sob controle poligênico, investigar a concordância entre a diferenciação morfológica e genética fornece uma boa avaliação do valor de divergência entre as diferentes entidades analisadas, incluindo gêneros, espécimes e populações (GARNIER, 2005; PUORTO *et al.*, 2001; WILEY, 2011, BOOKSTEIN, 1991; KLINGENBERG, 2011).

Os bagres da família Trichomycteridae (Siluriformes) estão entre os peixes que tiveram sucesso em habitar o meio subterrâneo na região Neotropical, com 11 espécies troglóbias conhecidas atualmente no Brasil (PROUDLOVE, 2010; TRAJANO & BICHUETTE, 2010; BICHUETTE & RIZZATO, 2012). A espécie nominal *Trichomycterus*



*dali* RIZZATO, COSTA-JUNIOR, TRAJANO & BICHUETTE, 2011 é um bagre troglóbio altamente especializado e amplamente distribuído no carste da Serra da Bodoquena, no Mato Grosso do Sul. Conforme a descrição, essa espécie possui os maiores barbilhões nasais entre os seus congêneres e uma crista adiposa conspícua anterior e posterior à nadadeira dorsal, possivelmente um troglomorfismo que conferia à *T. dali* a capacidade de armazenar maior quantidade de energia na forma de gordura (RIZZATO *et al.*, 2011).

Novas populações de bagres troglomórficos do mesmo gênero, foram confirmadas em levantamentos e prospecções realizados entre abril de 2010 e outubro de 2012 (Capítulo 1). Estas populações, em um total de 11 localidades, estão distribuídas ao longo de mais de 100 km de extensão do carste contínuo da Serra da Bodoquena, habitando cavernas desenvolvidas no nível freático superficial e no profundo, tendo sido observadas variações da forma corporal entre as populações que indicavam um possível isolamento entre elas, o que motivou o presente estudo.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral do presente estudo foi analisar as relações filogeográficas entre populações de bagres troglóbios do gênero *Trichomycterus* presentes ao longo do carste da Serra da Bodoquena, tendo como objetivos específicos:

- Identificar quantas possíveis unidades taxonômicas existem entre as populações conhecidas;
- Estudar a descontinuidade genética de três marcadores mitocondriais (citocromo *b*, citocromo oxidase I e 16S) entre amostras das populações de *Trichomycterus*;
- Verificar se a variação da forma corporal, analisada através da morfometria geométrica em vista dorsal e lateral, sugere o isolamento interpopulacional e interespecífico;

- Verificar se existe correlação entre a distância genética, o fluxo gênico e a variação da forma;

- Relacionar a distribuição e o isolamento geográfico das populações com processos atuais e históricos que podem ser responsáveis por modelar os padrões encontrados.

#### 4. CONCLUSÕES

- Os resultados das análises baseadas em morfometria geométrica e sequências de DNAm foram concordantes.

- Foram identificados três linhagens divergentes de bagres troglóbios do gênero *Trichomycterus* na área cárstica da Serra da Bodoquena, correspondendo à espécies distintas.

- A espécie *T. dali* deve ser redescrita, de modo a excluir a população do Buraco das Abelhas e incluir as populações da Gruta do Bebedouro e da Mina da Sede.

- A distância geográfica não explica a distância genética e a variação na forma, indicando que eventos históricos, e não a dispersão, sejam responsáveis pela divergência entre os haplogrupos, possivelmente associada à neotectônica recente que atua na região.

- Este trabalho apresenta uma contribuição do sentido de avaliar o poder discriminatório de duas diferentes metodologias para identificar o isolamento entre populações de peixes troglóbios

- *Trichomycterus* sp. 1 constitui a linhagem mais divergente de *T. dali* + *Trichomycterus* sp. 2.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, J. S.; REIS, R. E. 2011. Introduction to Neotropical Freshwaters. In: Albert, J. S.; Reis R.E. (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Berkeley. University of California Press, p.3-19.
- ALMEIDA, F. F. M. 1965. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, DNPM, Rio de Janeiro, v. 219, p. 1-96.
- AVISE, J. C. 2000. *Phylogeography: The History and Formation of Species*. Cambridge: Harvard University Press, 447p.
- AVISE, J. C. 2004. *Molecular Markers, Natural History and Evolution*. USA: Chapman and Hall, 511p.
- AVISE, J. C. 2009. Phylogeography: retrospect and prospect. *Journal of Biogeography*, v.36, p.3-15.
- ASSINE, M. L. 2004. A bacia sedimentar do Pantanal Mato-Grossense. In: MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo. Editora Beca, p.61-74.
- BARR, T. C. JR.; HOLSINGER, J. R. 1985. Speciation in cave faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.16, p.313-337.
- BARRCLOG, T. G. & VOGLER, A. P. 2000. Detecting the Geographical Pattern of Speciation from Species-Level Phylogenies. *The American Naturalist* vol. 155, no. 4
- BASKIN, J. N. 1973. *Structure and relationship of the Trichomycteridae*. 389p. Dissertation (Doctoral) - City University of New York, New York.
- BEEBEE, T.; ROWE, G. 2008. *An Introduction to Molecular Ecology*. 2 ed. Oxford University Press, 416 pag.
- BELKHIR K.; BORSA, P.; CHIKHI, L.; RAUFASTE, N.; BONHOME, F. 2004. GENETIX 4.03, logiciel sous Windows<sup>TM</sup> pour la génétique des populations. Laboratoire genome et populations, Interactions CNRS UMR 5000, Université de Montpellier II, Montpellier (France).
- BICHUETTE, M. E.; RIZZATO P. P. 2012. A new species of cave catfish from Brazil, *Trichomycterus rubbioli* sp.n., from Serra do Ramalho karstic area, São Francisco River basin, Bahia State (Siluriformes: Trichomycteridae). *Zootaxa*, v. 3480, p.48-66.
- BOOKSTEIN, F. L. 1991. Morphometric Tools for Landmark Data. *Geometry and Biology*, New York: Cambridge University Press. 435p.
- CAMPANHA, G. A. C.; BOGGIANI, P. C.; SALLUN FILHO, W.; SÁ, F. R.; ZUQUIM, M. P. S.; PIACENTINI, T. 2011. A Faixa de Dobramento Paraguai na Serra da Bodoquena e Depressão do Rio Miranda, Mato Grosso do Sul. *Geologia USP, Série Científica*, v. 11, p. 79-96.

- CARVALHO, M. R.; CRAIG, M (Org.). 2011. *Morphological and Molecular Approaches to the Phylogeny of Fishes: Integration or Conflict?* Auckland: Mapress, v.2946. 142p
- CHRISTIANSEN, K.A. 2012. Troglomorphism. In: CULVER, D. C.; WHITE, W. B. (Org.). *Encyclopedia of Caves*, 2nd ed., Chennai: Academic Press. p. 517-527.
- CHIARI, Y.; VAN DER MEIJDEN, A.; MUCEDDA, M.; LOURENÇO, J.M.; HOCHKIRCH, A. 2012. Phylogeography of Sardinian Cave Salamanders (Genus *Hydromantes*) Is Mainly Determined by Geomorphology. PLoS ONE, v.7, n.3, e32332. doi:10.1371/journal.pone.0032332.
- COLLI, L.; PAGLIANTI, A.; BERTI, R.; GANDOLFI, G.; TAGLIAVINI, J. 2009. Molecular phylogeny of the blind cavefish *Phreatichthys andruzzii* and *Garra barreimiae*.
- CORDEIRO, L. M.; BORGHEZAN, R.; TRAJANO, E. 2013. Distribuição, riqueza e conservação dos peixes troglóbios da Serra da Bodoquena, MS (Teleostei: Siluriformes). *Revista da Biologia*, v.10, n.2, p. 21-27.
- CULVER, D. C.; PIPAN, T.; SCHNEIDER, K. D. 2009. Vicariance, dispersal and scale in the aquatic subterranean fauna of karst regions. *Freshwater Biology*, v.54, p. 918-929.
- CULVER, D. C. 1982. *Cave Life: Evolution and Ecology*. Cambridge, M A: Harvard University Press, 189p.
- DRYDEN, I. L.; MARDIA K.V. 1998. *Statistical Shape Analysis*. Wiley, Chichester of. 347p.
- ESPOSTI, DM; DE VRIES, S.; CRIMI, M.; GHELLI, A.; PATARNELLO, T.; MEYER, A. 1993. Mitochondrial cytochrome b: evolution and structure of the protein. *Biochim Biophys Acta*, v.11, n.43, p.243-271.
- EXCOFFIER, L.; LISCHER, HEL. 2010. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*, v.10, p.564-567.
- FARIAS, I.; ORTI, G.; SAMPAIO, I.; SCHNEIDER, H.; MEYER, A. 2001. The Cytochrome b Gene as a Phylogenetic Marker: The Limits of Resolution for analyzing Relationships Among Cichlid Fishes. *Journal of Molecular Evolution*. v.53, p.89-103.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, 579p.
- GARNIER, S.; MAGNIEZ-JANNIN, F.; RASPLUS J. Y.; ALIBERT, P. 2005. When morphometry meets genetics: inferring the phylogeography of *Carabus solieri* using Fourier analyses of pronotum and male genitalia. *Journal of Evolutionary Biology* v.18, p.269-280.
- Gould, S. J. 1977. *Ontogeny and phylogeny*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 501p.
- HALL, T.A. 1999. BioEdit: a userfriendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, v.41, p.95-98.

- HOWARTH, F.G. & HOCH, H. 2012. Adaptative shifts. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. (Org.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Chennai: Academic Press, p. 9-17.
- HÜPPOP, K. 2000. How do cave animals cope with the food scarcity in caves? In H. Wilkens, D. C. Culver, & W. F. Humphreys (eds). *Subterranean ecosystems*, Amsterdam: Elsevier, p.189-210.
- KAVALCO, K. F.; ALMEIDA-TOLEDO, L. F. 2007. Molecular genetics of blind mexican tetra and commentts on the karyotypic characteristics of the genus *Astyanax* (Teleostei: Characidae). *Zebrafish*, v.4, p.103-111.
- KLINGENBERG. C. P. 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, v.11, p.353-357.
- KREJAC, K. 2005. *Stygobite phylogenetics as a tool for determining aquiferevolution*. (Doctoral Thesis)-University of Texas, Austin, 115p.
- JUAN, C.; GUZIK, M. T.; JAUME, D.; COOPER, S. J B. 2010. Evolution in caves: Darwin's 'wrecks of ancient life' in the molecular era. *Molecular Ecology*, v.19, p.3865-3880.
- LIBRADO, P.; ROZAS, J. 2009. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics*,v.25, p.1451-1452.
- LIMA, F. C. T. & A. C. RIBEIRO. 2011. Continental-scale tectonic controls of biogeography and ecology. Pp. 145-164. In: Albert, J. S. & R. E. Reis (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Berkeley. University of California Press.
- MANTEL N (1967) The detection of disease clustering and generalized regression approach. *Cancer Res*, v.27, p. 209-220.
- NIEMILLER, L M; FITZPATRICK B. M. and MILLER B. T.2008.Recent divergence with gene flow in Tennessee cave salamanders (Plethodontidae: *Gyrinophilus*) inferred from gene genealogies *Molecular Ecology* (2008) 17, 2258–2275
- NIEMILLER, M. L.; NEAR, T. J.; FITZPATRICK, B. M. 2012. Delimiting species using multilocus data: diagnosing cryptic diversity in the southern cavefish, *Typhlichthys subterraneus* (Teleostei: Amblyopsidae). *Evolution*, v. 66-3, p. 846-866.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave Geology*. Dayton, Ohio: Cave Books, 288p.
- PALANDAČIĆ, A.; BONACCI, O.; SNOJ, A. 2011. Molecular data as a possible tool for tracing groundwater flow in karst environment: example of *Delminichthys adspersus* in Dinaric karst system. *Ecohydrology*. doi: 10.1002/eco.269.
- PEREIRA, L. H. G.; HANNER, R.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C. 2013. Can DNA barcoding accurately discriminate megadiverse Neotropical freshwater fish fauna? *BMC Genetics* (Online), v. 14:20, <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/14/20>.
- POLLY, P. D. 2008. Adaptive Zones and the Pinniped Ankle: A 3D Quantitative Analysis of Carnivoran Tarsal Evolution. In: Sargis, E.; Dagosto, M. (Eds.) *Mammalian Evolutionary Morphology: A Tribute to Frederick S. Szalay*. Springer: Dordrecht, The Netherlands, p.165-194.

- POSADA, D. 2008. ModelTest v0.1.1: Phylogenetic Model Averaging. *Mol Biol Evol.* In press.
- POULSON, T. L.; WHITE, W. B. 1969. The cave environment. *Science*, 165(3897), p.971-981.
- PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, R. 2001. *Biologia da conservação*. Editora Planta, Londrina. 328p.
- PROUDLOVE, G.S. 2001. The conservation status of hypogean fishes. In: ROMERO, A. 1ed. *The biology of hypogean fishes*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp. 201-213.
- PUORTO, G.; DA GRAÇA SALOMÃO, M.; THEAKSTON, R. D. G.; THORPE, R. S.; WARRELL, D. A.; WÜSTER, W. 2001. Combining mitochondrial DNA sequences and morphological data to infer species boundaries: Phylogeography of lancehead pitvipers in the Brazilian Atlantic forest, and the status of *Bothrops pradoi* (Squamata: Serpentes: Viperidae). *J. Evol. Biol.* v.14, p.527-538.
- PROULDLOVE, G. S. 2010. Biodiversity and distribution of subterranean fishes of the world. In: TRAJANO, E; BICHUETTE; KAPOOR B. G. (Eds.) *Biology of subterranean fishes*, 1ed. Enfield: Science Publishers, p. 65-80.
- REIS, R. E.; TRAJANO, E.; HINGST-ZAHER, E. 2006. Shape variation insurface and cave populations of the armoured catfishes *Ancistrus* (Siluriformes: Loricariidae) from the São Domingos karst area, upper Tocantins River, Brazil. *Journal of Fish Biology*, v.68, p.414-429.
- RIBEIRO, A. C. 2006. Tectonic history and the biogeography of the freshwater fishes from the coastal drainages of eastern Brazil: an example of faunal evolution associated with a divergent continental margin Neotropical Ichthyology, v.4,n.2, p.225-246.
- RIBEIRO, *et al.* 2013. Distributions and phylogeographic data of rheophilic freshwater fishes provide evidences on the geographic extension of a central-brazilian amazonian palaeoplateau in the area of the present day Pantanal Wetland. *Neotropical Ichthyology*, v.11, n.2, p.319-326.
- RIZZATO, P. P.; COSTA-JUNIOR, E.; TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. 2011. *Trichomycterus dali*: a new highly troglomorphic catfish (Siluriformes: Trichomycteridae), from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul State, Central Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v.9, p.477-491.
- SABINO, J.; TRAJANO, E. 1997. A new species of blind armoured catfish, genus *Ancistrus*, from caves of Bodoquena region, Mato Grosso do Sul, southeastern Brazil (Siluriformes, Loricariidae, Ancistrinae). *Revue Française de Aquariologie*, França, v.24, n.3-4, p.73-78.
- SALLUN-FILHO, W. 2005. *Geomorfologia e geoespeleologia do carste da Serra da Bodoquena, MS*. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências – USP. 212p.

- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I.; BOGGIANI, P. C. 2004. Paisagens cársticas da Serra da Bodoquena, MS. In: MANTESSO, V. N.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (Org.). *Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flavio Marques de Almeida*. 1ed.São Paulo: BECA, p.425-433.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. 2007. Geomorphological map of the Serra da Bodoquena karst, west-central Brazil. *Journal of maps*, p.282-295.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Províncias cársticas e cavernas no Brasil. 2012. In: HASSUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Org.). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, p. 629-641.
- SALZBURGER, W.; EWING, G.B.; VON HAESLER, A. 2011. The performance of phylogenetic algorithms in estimating haplotype genealogies with migration. *Molecular Ecology*, v.20, p.1952-1963.
- SANGER, F.; NICHLEN, S.; COULSON, A.R. 1977. DNA Sequencing with Chain-Termination Inhibitors. *Proceeding of the National Academy of Science of the USA*, v.74, p.5463-5468.
- SANTOS, S.; SCHNEIDER, H.; SAMPAIO, I. 2003. Genetic differentiation of *Macrodon ancylodon* (Sciaenidae, Perciformes) populations in Atlantic coastal waters of South America as revealed by mtDNA analysis. *Genetics and Mol Biol*, v.26, p.151-161.
- SAZIMA, I.; POMBAL-JR, J.P. 1986. Um albino de *Rhamdella minuta*, com notas sobre comportamento (Osteichthyes, Pimelodidae). *Revista Brasileira de Biologia*, v.46, n.2, p.377-381.
- SBORDONI, V.; ALLEGRUCCI, G.; CESARONI, D. 2012. Population structure. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. (Org.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Chennai: Academic Press, p.608-618.
- SEVILLA et al., 2007 Primers and polymerase chain reaction conditions for DNA barcoding teleost fish based on the mitochondrial cytochrome *b* and nuclear rhodopsin genes *Molecular Ecology*
- SMITH, G.R. 1990. Homology in morphometrics and phylogenetics. In: F.J. ROHLF AND F.L. BOOKSTEIN (eds.), *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. Spec. Publ. 2, The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, p. 326-338
- STRECKER, U.; BERNATCHEZ, L.; WILKENS, H. 2003. Genetic divergence between cave and surface populations of *Astyanax* in Mexico (Characidae, Teleostei). *Molecular Ecology*, v.12, p.699 – 710.
- TAMURA K, N. M. 1993. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution*, v.10, n.3, p. 512–526.
- TAMURA K, P. D.; PETERSON, N.; STECHER, G.; NEI M, K. S. 2011. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. *Mol. Biol. Evol.*, v.28, p.2731-2739.

- TEMPLETON, A. R. 2011. *Genética de Populações e Teoria Microevolutiva*. 1. Ed. Sociedade Brasileira de Genética. 705p.
- TRAJANO, E. 2001. Ecology of subterranean fishes: an overview. *Environmental Biology of Fishes*, v.62, p.133-160.
- TRAJANO, E. The challenge of estimating the age of subterranean lineages: examples from Brazil. *Acta Carsologica*, v. 36, p. 191-198, 2007.
- TRAJANO, E.; BICHUETTE, M. E. 2010. Subterranean fishes of Brasil. In: TRAJANO, E; BICHUETTE; KAPOOR B. G. (Eds.) *Biology of subterranean fishes*, 1ed. Enfield: Science Publishers, p.331-335.
- TRAJANO, E. 2012. Ecological classification of subterranean organisms. In: WHITE, W.B.; CULVER, D.C. (Org.). *Encyclopedia of Caves*. 2ed. Chennai: Academic Press, p. 275-277.
- WARD et al. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. V.360, 1847-1857.
- WILEY, E. O.; LIEBERMAN, B. S. 2011. Species and Speciation. In: WILEY, E. O.; LIEBERMAN, *Phylogenetics: Theory and Practice of Phylogenetic Systematics*, Second Edition, John Wiley & Sons 432p.
- WILKENS, H. 1988. Evolution and genetics of epigeal and cave *Astyanax fasciatus* (Characidae, Pisces). Support for the neutral mutation theory. In: HECHT, M. K.; WALLACE, B. (Eds.). *Evolutionary biology*, New York: Plenum Publishing Corporation, p.271-367.
- WILSON, L. A. B. 2013. Geographic variation in the greater Japanese shrew-mole, *Urotrichus talpoides*: Combining morphological and chromosomal patterns. *Mammalian Biology*, v.78, p.267-275.
- WRIGHT, S. 1978. *Evolution and the Genetics of Populations, Variability Within and Among Natural Populations*. V.5, University of Chicago Press. 590 p.
- ZHANG, Z.; SCHWARTZ, S.; WAGNER, L.; MILLER, W. 2000. A greedy algorithm for aligning DNA sequences", *J Comput Biol* 2000; v.7, n.1-2, p.203-14.