



UFRJ

**REVISÃO TAXONÔMICA DE DIPNOIFORMES E SILURIFORMES DO GRUPO BAURU
(CRETÁCIO SUPERIOR) PROVENIENTES DOS MUNICÍPIOS DE SANTO ANASTÁCIO, ESTADO
DE SÃO PAULO, E UBERABA, ESTADO DE MINAS GERAIS**

Yuri Modesto Alves

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Orientadores:

Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist
Dr. Paulo Marques Machado Brito

Rio de Janeiro
Março de 2012

**REVISÃO TAXONÔMICA DE DIPNOIFORMES E SILURIFORMES DO GRUPO BAURU
(CRETÁCIO SUPERIOR) PROVENIENTES DOS MUNICÍPIOS DE SANTO ANASTÁCIO, ESTADO
DE SÃO PAULO, E UBERABA, ESTADO DE MINAS GERAIS**

Yuri Modesto Alves

Orientadores: Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist
Dr. Paulo Marques Machado Brito

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

Aprovada por:

Presidente: Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida, IGEO-UFRJ

Dr. Thiago da Silva Marinho, PPGL-UFRJ

Dr. Diogo de Mayrinck, DEBC-UERJ

Rio de Janeiro
Março de 2012

567

A474 Alves, Yuri Modesto

Revisão taxonômica de Dipnoiformes e Siluriformes do Grupo Bauru (Cretáceo Superior) provenientes dos municípios de Santo Anastácio, Estado de São Paulo, e Uberaba, Estado de Minas Gerais / Yuri Modesto Alves. – Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2012.

X, 114 f. : il. ; 34 cm.

Orientadores: Profa. Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist
Prof. Dr. Paulo Marques Machado Brito

Dissertação (mestrado) – UFRJ, IGEO, Programa de Pós-graduação em Geologia, 2012.

3. Peixe fóssil – Bauru, Bacia – Teses. 2. Paleontologia

–

Bauru, Bacia – Cretáceo – Teses. I. Bergqvist, Lílian Paglarelli. II. Brito, Paulo Marques Machado. III.

Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO. IV. Título.

Dedico esta dissertação aos meus queridos pais, Igor Conceição Alves de Souza e Maria Inez Modesto Alves de Souza, meus irmãos, Igor e Yago Modesto Alves, à Renata Ribeiro da Silva Braga, pelo companheirismo ao longo dos últimos anos e meu primeiro orientador, Carlos Roberto dos Anjos Candeiro. Tais pessoas me acrescentaram bastante como modelo pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha querida orientadora, Dra. Lílian Paglarelli Bergqvist (UFRJ), pela orientação, paciência, carinho e amparo, desde minha vinda ao Rio de Janeiro aos últimos momentos de entrega deste volume. Serei eternamente grato!

Ao Dr. Paulo M. Brito (UERJ) pela co-orientação, sugestão do tema de trabalho, e por ter me ajudado a me maravilhar cada vez mais com este universo rico e fascinante que são os peixes.

Ao meu primeiro orientador em Paleontologia, Dr. Carlos Roberto dos Anjos Candeiro (UFU) pela amizade, apoio e sugestões bastante auspiciosas para minha carreira acadêmica.

Aos professores: Dr. Leonardo Borghi e Dr. Thiago Marinho (UFRJ), e Dr. Diogo Mayrinck (UERJ) por aceitarem o convite para minha banca, pelas importantes discussões e críticas que melhoraram significativamente a versão final desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo custeio e apoio à pesquisa, através da bolsa de mestrado concedida.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela oportunidade de estudo no mestrado e à UFRJ pela ambiência e estímulo intelectual.

À Christina Barreto Pinto e ao Dr. Emílio Velloso Barroso, secretária e coordenador do Programa de Pós-graduação em Geologia da UFRJ, respectivamente, pela atenção e disposição na resolução de problemas ao longo deste curso.

Aos curadores de seus respectivos museus: Geól. Luiz Carlos Ribeiro Borges (Centro de Pesquisas Paleontológicas Llewellyn Ivor Price), Dr. Marcelo Britto (Coleção de Peixes, Museu Nacional, UFRJ) e Dr. Mário de Pinna (Coleção de Peixes, MZUSP) pela ajuda com o material de coleção e discussões importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Drs. Leonardo Borghi (UFRJ) e Jorge Carvalho (UERJ), por cederem, respectivamente, lupa com câmera digital acoplada, e microscópio eletrônico de varredura para análise do meu material.

Ao Geól. Felipe Simbras (Petrobrás), Biól. Caio Cesar Rangel (UFRJ), Dr. Alessandro Batezelli (UNESP), Dr. Lúcio Paulo Crivano Machado (UERJ) e Dr. José Luis Birindelli (MZUSP), agradeço pela leitura crítica das primeiras versões deste trabalho.

Aos pesquisadores: Dr. Thiago Marinho (UFRJ), Pesquisador Agustin Martinelli (UFTM), Geol. Felipe Simbras (Petrobrás), Dr. Diogo Mayrinck e Dr. Lúcio Paulo Crivano Machado (UERJ), Biol. Victor Pauliv (UFRGS), Dr. Alberto Akama (UFT), Dr. Lionel Cavin (Muséum d'Histoire Naturelle, Suíça), Dr. François Meunier (Muséum National d'Histoire naturelle, França), Dr. Hans-Peter Schultze e Dra. Glória Arratia (The University of Kansas, EUA), Dr. Alberto Cione (Museo de La Plata, Argentina), por cederem a mim importante literatura.

Aos Dr. Aristóteles de Moraes Rio-Netto e Dra. Claudia Gutterres Vilela (UFRJ) pelas sugestões pertinentes ao bom desenvolvimento deste trabalho durante o Seminário de Mestrado.

Aos meus amigos, colegas de pós-graduação e laboratórios (Laboratório de Macrofósseis/UFRJ e Laboratório de Ictiologia Tempo e Espaço/UERJ): Miguel Furtado, André Pinheiro, Ulisses Dardon, Caio Rangel, Rafael Taranto, Paulo

Jacinto, Lucas Lopes, Paulo Victor Pereira, Tiago Metelo, Hermínio Araujo, Stella Prestes, Carla Abranches, Bruno Aquino, Luis Otávio Castro, Luisa Melki, Kleyton Magno, Ivan Vasquez, Cesar do Amaral, Camila Cupelo, Gisele Machado, Leo Fragoso, Milena Simão, Bouziane Khalloufi, pela amizade e bom convívio durante os últimos dois anos.

Aos amigos da família Candeiro, Sr. José Luis, D. Adelina e Claudia, além de Adelino Carvalho, pela hospedagem e carinho durante os trabalhos de campo em Uberlândia-Uberaba. Aos amigos Letícia Mello Damas, Érica Panachuk e André Oliveira, pela hospedagem em São Paulo durante minhas visitas ao MZUSP.

Aos meus queridos amigos: Renata Ribeiro da Silva Braga, Bruna Facundes, Francisco Edinardo Souza, Wagner Matos, Olga Chagas, Pâmela Lavor Rolim, Washington Barros, Hendria Cirqueira, Bruna Dutra Costa, Natália Cabral, José Rafael Benício, Maylla Chaveiro, Anna Luiza Oliveira, Luciana Oliveira, Thayná Garcez, Raquel Rocha, Shana Misumi, Nattacha Moreira, pelos constantes incentivos, apoio, amparo e carinho, tanto nos momentos mais felizes, quanto nos de maior desespero. Amigos, muito obrigado por tudo!

A todos meus familiares, em especial minhas duas avós queridas: Ana José Ribeiro de Souza e Sebastiana Vicente de Sousa; e meus dois irmãos: Igor e Yago Modesto Alves, pelo constante estímulo para com meus estudos.

Aos meus queridos pais, Igor Conceição Alves de Souza e Maria Inez Modesto de Souza, agradeço pela dedicação e esforço que me auxiliaram durante toda minha vida. Sei que abdicaram constantemente de seus sonhos, pelo meu sucesso pessoal e profissional. É imensurável quaisquer palavras que eu poderia utilizar para demonstrar minha gratidão. Então, é com muita alegria que eu dedico a vocês mais uma conquista. Vocês dois são minha inspiração!

“Se for verdade que todos viemos do centro de uma estrela, cada átomo em nós veio do centro de uma estrela, então somos todos a mesma coisa. Mesmo uma máquina de refrigerante ou uma ponta de cigarro é feita de átomos que vieram das estrelas. Todos foram reciclados milhares de vezes, como eu e você. Portanto, o que há lá fora é simplesmente EU, não há o que temer, não há com o que se preocupar. Então o que temer, pois tudo somos nós! Nós fomos separados por termos nascido, recebido um nome e uma identidade. Fomos separados da Unidade, e isso é o que a religião explora: as pessoas tem esse anseio por fazer parte da Unidade de novo, e isso é explorado, batizam-no de Deus, dizem que ele tem regras, e eu acho isso cruel. Acho que você pode fazer isso sem religiões. Um visitante extraterrestre que examinasse as diferenças entre as sociedades humanas acharia essas diferenças triviais quando comparadas às semelhanças. Nossas vidas, passado e futuro estão ligados ao sol, à lua e às estrelas. Nós vimos os átomos que compõem tudo na natureza e as forças que esculpiram essa obra e nós, que possuímos os olhos, ouvidos e sentidos locais do cosmo, começamos a imaginar nossas origens. Matéria estelar contemplando as estrelas, grupos organizados de bilhões e bilhões de átomos, contemplando a evolução da natureza, traçando o longo caminho pelo qual se chegou à consciência aqui na Terra. Devemos lealdade às espécies e ao planeta. É nosso dever sobreviver e progredir, não só por nós mesmos, mas também pelo vasto e antigo cosmos de onde viemos. Somos uma espécie. Somos matéria estelar se nutrindo de luz das estrelas.” **(Carl Sagan – 1934-1996)**

RESUMO

REVISÃO TAXONÔMICA DE DIPNOIFORMES E SILURIFORMES DO GRUPO BAURU (CRETÁCEO SUPERIOR) PROVENIENTES DOS MUNICÍPIOS DE SANTO ANASTÁCIO, ESTADO DE SÃO PAULO, E UBERABA, ESTADO DE MINAS GERAIS

Yuri Modesto Alves

Orientadores: Dra Lílian Paglarelli Bergqvist
Dr. Paulo Marques Machado Brito

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

Os municípios de Santo Anastácio (estado de São Paulo) e Uberaba (estado de Minas Gerais) estão inseridos dentro de uma importante unidade sedimentar continental do Cretáceo Superior brasileiro, o Grupo Bauru. Uma diversidade significativa de vertebrados tem sido descrita, aumentando consideravelmente a importância paleontológica para os estratos das formações Adamantina (Turoniano-Santoniano) e Marília (Maastrichtiano), porém, poucos trabalhos foram realizados enfocando a paleoictiofauna que ocorre nestes estratos. A proposta central desta dissertação é realizar uma revisão de Dipnoiformes e Siluriformes com a finalidade de refinar o conhecimento taxômico dos peixes fósseis cretáceos destas duas unidades estratigráficas. Foram analisadas duas placas dentárias pertencentes à Dipnoiformes, além de 30 espinhos de nadadeiras dorsais e peitorais de Siluriformes. Este estudo contribuiu com a presença de dois novos táxons até então desconhecidos para o Cretáceo Superior do Grupo Bauru, *Asiatoceratodus* e *Ceratodus*. É também apresentado uma variedade de espinhos de nadadeiras dorsais e peitorais revelando uma importante diversidade morfológica de bagres para o Cretáceo Superior. Estes espinhos possuem características bastante plesiomórficas e generalizadas sendo similares a várias famílias atuais e extintas.

Palavras-chave: Cretáceo Superior, Grupo Bauru, Paleoictiofauna, Siluriformes, Dipnoiformes.

Rio de Janeiro
Março de 2012

ABSTRACT**TAXONOMIC REVISION OF DIPNOIFORMES AND SILURIFORMES FROM BAURU GROUP (LATE CRETACEOUS) FROM SANTO ANASTÁCIO, SÃO PAULO STATE, AND UBERABA, MINAS GERAIS STATE**

Yuri Modesto Alves

Orientadores: Dra Lílian Paglarelli Bergqvist
Dr. Paulo Marques Machado Brito

Abstract da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências (Geologia).

The Santo Anastácio (São Paulo state) and Uberaba (Minas Gerais state) municipalities are located on an important continental Late Cretaceous sedimentary deposit of Brazil, the Bauru Group. A vertebrate diversity, that has been recently described, increasing considerably the paleontological importance of the strata of Adamantina (Turonian-Santonian) and Marília (Maastrichtian) formations. However, few researches have been published about the paleoichthyofauna present in these strata. The purpose of this study was to review the Dipnoiformes and Siluriformes of the Bauru Group which broadens our knowledge on the taxonomy of the Cretaceous fossil fishes in these two stratigraphic units above mentioned. Two tooth plates belonging to Dipnoiformes and 30 dorsal and pectoral fin spines of Siluriformes were analyzed. As result, two new Late Cretaceous taxa of Bauru Group, Asiatoceratodus and Ceratodus were described. Thus, a variety of dorsal and pectoral-fin spines demonstrate an important morphology diversity of catfishes for the Late Cretaceous. These spines show plesiomorphic features as well as a widespread distribution, similar to several current or extinct families.

Key-Words: Late Cretaceous, Bauru Group, Paleoichthyofauna, Siluriformes, Dipnoiformes.

Rio de Janeiro
Março de 2012

Sumário

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
<i>Abstract</i>	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas e quadros	X
Lista de espécies	xi
Siglas e abreviaturas	xii
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Peixes fósseis do Grupo Bauru	01
1.2 Contexto geológico	07
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivos gerais	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLOGIA REGIONAL	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Prospecção, coleta e triagem de “microrrestos”	19
4.2 Material analisado	20
4.3 Metodologias aplicadas	23
5 RESULTADOS	27
6 CONCLUSÃO	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXO 1 – REDESCRIPTION OF TWO LUNGFISH (SARCOPTERYGII: DIPNOI) TOOTH PLATES FROM THE BAURU GROUP, LATE CRETACEOUS OF BRAZIL	46
ANEXO 2 – THE DORSAL AND PECTORAL-FIN SPINES OF SILURIFORMES FROM BAURU GROUP, BRAZIL: A COMPARATIVE ANALYSIS WITH EXTANT AND FOSSIL FIN SPINES	70

Lista de figuras

- Figura 1** Representação dos peixes fósseis do Cretáceo Superior do Grupo Bauru: 04
 A-B. Fragmentos do corpo de *Lepisosteus cominatoi* (escala: 1cm); Dente de Lepisosteidae (escala: 1 mm); D. Vertebra opistocélica de Lepisosteidae (escala: 1 mm; E-F. Dentes de Characoidei (escala: 1 mm); Escâmula de Osteoglossiformes (escala: 2 mm).
- Figura 2** Reconstituição da paleoictiofauna presente no Grupo Bauru: A. 05
 Lepisosteiformes; B. Characiformes; C. Siluriformes; D. Osteoglossiformes; E. Dipnoiformes (modificado de Hübner, 2005).
- Figura 3** Mapa geológico da Bacia Bauru (retirado de Fernandes & Coimbra, 1996). 07
- Figura 4** Mapa de localização dos municípios de Uberaba/MG, e Santo 15
 Anastácio/SP.
- Figura 5** Afloramentos Loc. 99 próximo ao Município de Santo Anastácio/SP. 16
- Figura 6** Afloramento próximo a BR 050, no município de Uberaba/MG. 17
- Figura 7** Colunas estratigráficas dos sítios paleontológicos. A. Afloramento de 18
 Santo Anastácio/SP, “Loc. 99”. B. Afloramento de Uberaba/MG“, localidade BR 050”.
- Figura 8** Terminologias utilizadas para placas dentárias de Dipnoi (modificado 24
 Churcher & De Iullis, 2001)
- Figura 9** Terminologias utilizadas para espinhos de nadadeiras dorsais (A,B) e 25
 peitorais (C,D). A e C, vista anterior; B e D, vista posterior (modificado de Otero & Gayet, 2001)

Lista de tabelas e quadros

Quadro 1 Distribuição geográfica de peixes fósseis no Grupo Bauru [baseado em Gayet & Brito (1989), Bertini <i>et al.</i> (1993), Laurini (2007), Azevedo <i>et al.</i> (2007), Nava & Brito (2008), Candeiro <i>et al.</i> (2010), e Alves <i>et al.</i> (em prep)].	06
Quadro 2 Histórico estratigráfico do Grupo Bauru. *Procedencia do material estudado.	11
Tabela 3 Estratigrafia cretácea da Bacia Bauru. Idades absolutas retiradas de Remane (2000).*Procedencia do material estudado.	12
Tabela 4 Lista de peixes fósseis figurados.	21
Tabela 5 Espécimes utilizados para comparação proveniente da literatura.	22
Tabela 6 Lista de espécimes de Siluriformes atuais utilizados para comparação.	23

Lista de espécies

Ageneiosus inermis (Linnaeus, 1766)
Asiatoceratodus tiguiddiensis (Tabaste, 1963)
Bachmannia chubutensis (Dolgopol, 1941)
Batasio batasio (Hamilton, 1822)
Bunocephalus coracoideus (Cope, 1878)
Ceratodus africanus (Haug, 1905)
Clarias sp.
Diplomystes camposensis Arratia, 1987
Ferganoceratodus madagascariensis Cavin *et al.*, 2007
Heterobagrus bocourti (Bleeker 1864)
Hypostomus cochliodon (Kner, 1854)
Hypsidoris farsonensis (Grande 1987)
Hypsidoris oregonensis Grande & Pinna 1998
Ictalurus punctatus (Rafinesque, 1818)
Lepisostei cominato Silva Santos, 1984
Lithodoras dorsalis (Valenciennes, 1840)
Lupaceratodus useviaensis Gottfried *et al.* (2009)
Metaceratodus bonei Kemp, 1997
Mystus malabaricus (Jerdon, 1849)
Nematogenys inermis (Guichenot, 1848)
Olivaichthys mesembrinus (Ringuet, 1982)
Pimelodus albofasciatus Mees, 1974
Pimelodus blochii (Valenciennes 1840)
Pseudopimelodus sp.
Ptychoceratodus serratus (Agassiz, 1838)
Retodus tuberculatus (Tabaste, 1963)
Tocantinsia piresi (Miranda Ribeiro, 1920)

Siglas e abreviaturas

DGM – Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, Brasil.

FC – Colección de Vertebrados Fósiles, Facultad de Ciências, Tacuarembó, Uruguai;

FMNH – Field Museum of Natural History, Chicago, Illinois, Estados Unidos.

MG - Museu de Geociências, Tacuarembó, Uruguai;

MLP – Museo de la Plata, División Paleontología de Vertebrados, La Plata, Argentina.

MNHN – Muséum National d’Histoire Naturelle, Paris, França;

MV – Museum of Victoria, Melbourne, Austrália.

MZUSP – Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

NRM - Swedish Museum of Natural History, Estocolmo, Suécia.

RRBP – Ruka Rift Basin Project, National Museum of Tanzania, Tanzânia.

UERJ- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Peixes fósseis do Grupo Bauru

O rico registro de vertebrados do Grupo Bauru tem sido alvo de intensas pesquisas paleontológicas, desde meados do século passado, à luz de várias construções de ferrovias, rodovias e outros empreendimentos de construção civil (Petri, 2001). No entanto, somente nas últimas décadas tais depósitos fossilíferos foram estudados em detalhe, resultando em um grande número de registros taxonômicos. Em termos de diversidade taxonômica e abundância, peixes, tartarugas, crocodiliformes e dinossauros constituem os grupos melhor representados (Bertini *et al.*, 1993; Candeiro *et al.*, 2006).

No que concerne ao estudo da paleoictiofauna do Grupo Bauru, Joviano D’Amaral Pacheco mencionou o primeiro registro de peixes fósseis, no ano de 1913. Este material seria associado com ossos e dentes de répteis, e foi identificado por ele como escamas isoladas, pertencentes a um ganóide indeterminado, proveniente do Município de Itambé e a um *Lepidotes* do município de Colina, no estado de São Paulo. Posteriormente a estes primeiros achados, vários autores em diversas localidades do Oeste Paulista e Triângulo Mineiro, citaram a presença de fragmentos ósseos e escamas (*e.g.*, Price, 1955; Mezzalana, 1959, 1966; Arid & Vizoto, 1963)

Durante o ano de 1984, o paleontólogo Rubens da Silva Santos, designou a primeira espécie de peixe fóssil conhecida para o Grupo Bauru, *Lepisosteus cominatoi*, a partir de dois fragmentos distintos do corpo deste táxon contendo escamas e raios de nadadeira (Figuras 1A e 1B). Estes espécimes são provenientes do município de Pacaembu Paulista, estado de São Paulo. No entanto, apenas com o aprimoramento de técnicas capazes de recuperar microrrestos (ou *microremains* em inglês), como lavagem e peneiramento (*screen washing* em inglês), que a paleoictiofauna do Grupo Bauru passou a ser compreendida de forma sistemática. Gayet & Brito (1989) e Bertini *et al.* (1993) foram os primeiros a descrever detalhadamente a paleoictiofauna das formações Marília e Adamantina. Estes autores apresentaram uma série de táxons até então inéditos tanto para o Grupo Bauru e mesmo para o Mesozóico brasileiro.

Entre os achados mais importantes destacam-se os registros nas proximidades do município de Uberaba e Santo Anastácio, a presença de escamas, vértebras (Figura 1C), raios de nadadeira, fragmentos de mandíbula, além de dentes isolados (Figura 1D) e fragmentos cranianos com densidade e dimensões idênticas aos encontradas no holótipo *L. cominato*; vários fragmentos de dentes isolados atribuídos a Characoidei (Figuras 1C e 1D); espinhos dorsais e peitorais, com restos atribuídos a cleitros e fragmentos do teto craniano pertencentes à ordem Siluriformes, escâmulas atribuídas a Osteoglossidae (Figura 1G) e várias placas dentárias atribuídas a espécie *Neoceratodus* sp.

Posteriormente a estes dois importantes trabalhos, e com a descoberta de novos afloramentos, vários outros trabalhos utilizando o *screen washing* nos sedimentos do Grupo Bauru (e.g. Laurini, 2007; Azevedo *et al.*, 2007; Nava & Brito, 2008; Candeiro *et al.*, 2010; Alves *et al.*, em prep) aumentaram significativamente a abrangência regional de muitos peixes fósseis para esta unidade estratigráfica, ora antes designados por Gayet & Brito (1989) e Bertini *et al.* (1993) (Quadro 1).

O Grupo Bauru contém uma das mais ricas e diversificadas assembléias de vertebrados fósseis do Cretáceo Superior da América do Sul. Estes vertebrados são conhecidos pela comunidade científica desde o início do século passado, e graças aos trabalhos pioneiros do paleontólogo Llewellyn Ivor Price, a partir de 1947, estes fósseis passaram a ser mais bem documentados.

Apesar de toda essa importância paleontológica, os estudos com paleovertebrados concentraram-se nos restos de crocodilos e dinossauros, devido à importância e abundância do período em questão (Cretáceo Superior) para a diversificação e extinção destes grupos (e.g., Kellner & Azevedo, 1999; Marinho & Candeiro, 2005; Carvalho *et al.*, 2005; Marinho & Carvalho, 2009; Candeiro & Rich, 2009). Os vertebrados remanescentes, mais especificamente peixes, quelônios e anuros, apesar da abundância nos estratos, obtiveram menor enfoque (Candeiro & Bergqvist, 2004).

Segundo Brito *et al.* (2006), fósseis continentais do Cretáceo Superior, como os da Bacia Bauru, são de grande importância por constituírem testemunhos únicos de uma fauna Neotropical basal que apresenta táxons arcaicos integrados ao que pode ser considerado como estoque genético original da fauna neotropical moderna.

A fauna Neotropical originou-se há cerca de 100 milhões de anos, durante o início do Cretáceo, posteriormente a formação do Oceano Atlântico Sul e separação entre as massas de terra formada pela África e América do Sul (Hay *et al.*, 1999). Tal separação culminou na formação de duas áreas de endemismo para táxons dulciaquícolas e terrestres destes dois grandes continentes (Sampson *et al.*, 1998). Sendo assim, a realização de um estudo taxonômico abrangente para esta paleoictiofauna pode fornecer subsídios para compreender a origem e evolução de vários grupos de peixes, hoje dominantes na Região Neotropical, visando assim, diagnosticar interpretações paleoecológicas e paleoambientais.

Restos de peixes são muito abundantes, porém seu registro é predominantemente composto por “microrrestos”, consistindo principalmente de dentes isolados, ossos desarticulados e retrabalhados, o que dificulta bastante os estudos taxonômicos. Esses registros estão frequentemente associados a fragmentos ósseos e dentes de dinossauros, crocodilos e tartarugas, além de raros fósseis de anuros, serpentes e mamífero (Bertini *et al.*, 1993).

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi notado que muitos táxons desta assembléia necessitavam de revisão em luz ao refinamento de estudos taxonômicos realizados com peixes fósseis, principalmente com placas dentárias de Dipnoiformes (*e.g.*, Kemp, 1997; Soto & Perea, 2010; Agnolin, 2010; veja outras referências no Anexo 1), e espinhos de nadadeiras peitorais e dorsais de bagres (*e.g.* Gayet & Van Neer, 1990; Otero & Gayet, 2001; Pinton *et al.*, 2006; veja outras referências no Anexo 2) de várias outras assembléias presentes durante o Mesozóico e Cenozóico do paleocontinente Gondwana (*e.g.*, Lopez-Arbarello, 2004).

Espécimes pertencentes aos grupos Lepisosteiformes, Characiformes e Osteoglossomorpha, apesar de abundantes, não foram inseridos nesta dissertação por se tratarem de material muito bem descrito e identificado por Gayet & Brito (1989), comentado e revisado por Brito *et al.* (2006), além de Alves *et al.* (no prelo). Enquanto que os Dipnoiformes foram identificados de forma superficial, e os espinhos de nadadeira dorsais e peitorais de Siluriformes foram subestimados morfologicamente, sem atribuir uma descrição formal e distinção de sua diversidade.

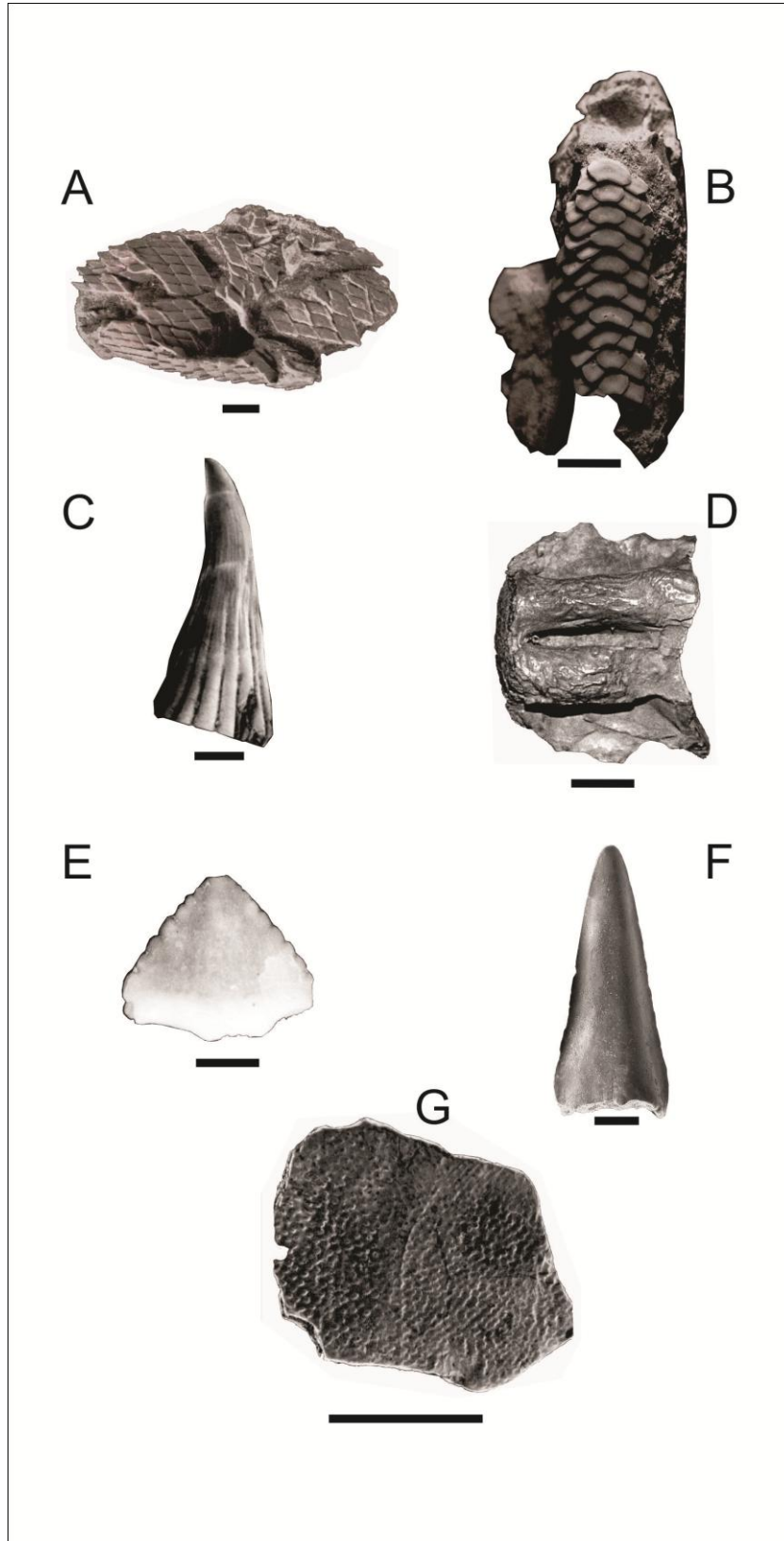


Figura 1. Representação dos peixes fósseis do Cretáceo Superior do Grupo Bauru: A-B. Fragmentos do corpo de *Lepisosteus cominatoi* (escala: 1 cm); C. Dente de *Lepisosteidae* (escala: 1 mm); D. Vertebra opistocélica de *Lepisosteidae* (escala: 1 mm); E-F. Dentes de *Characoidei* (escala: 1 mm); G. Escâmula de *Osteoglossiformes* (escala: 2 mm).

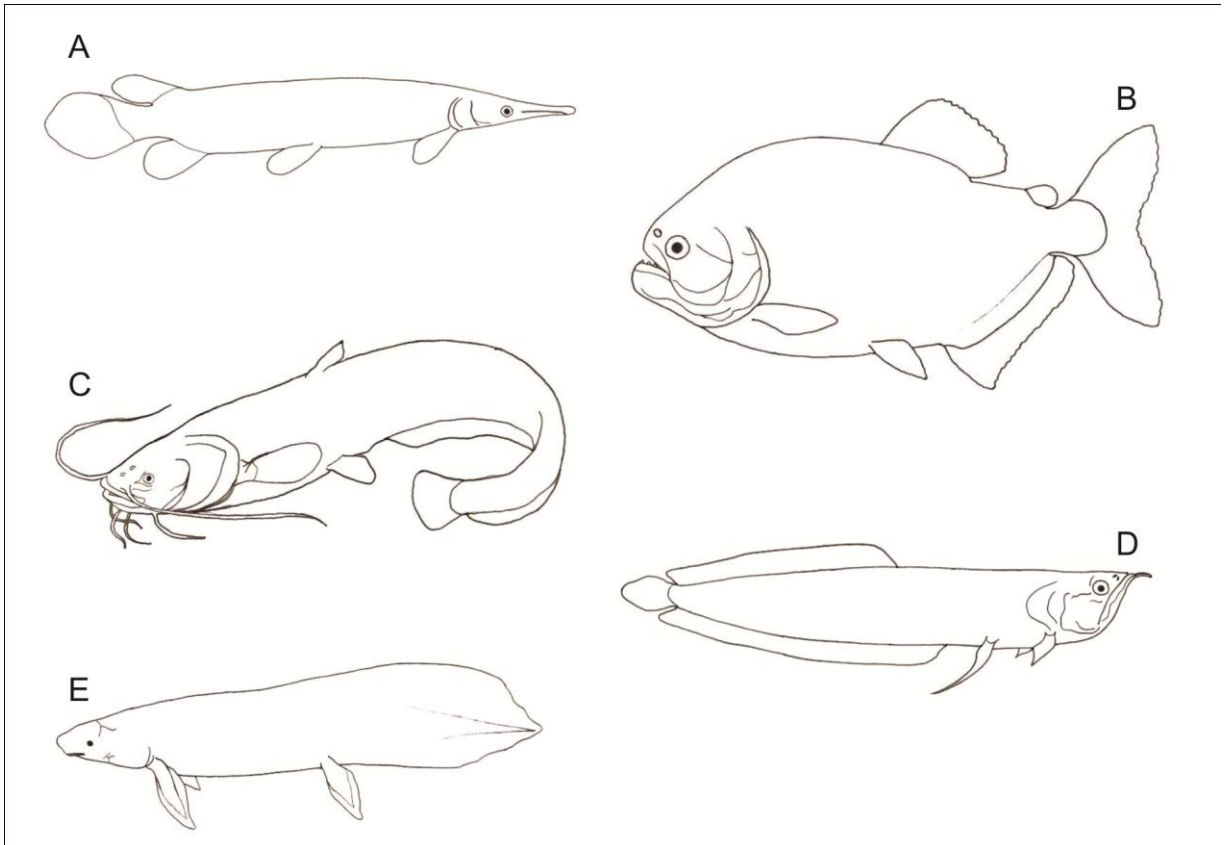


Figura 2. Reconstituição da paleoictiofauna presente no Grupo Bauru: A. *Lepisosteiformes*; B. *Characiformes*; C. *Siluriformes*; D. *Osteoglossiformes*; E. *Dipnoiiformes* (modificado de Hübner, 2005)

1.2 Contexto geológico

A Bacia Bauru é uma grande unidade geológica desenvolvida no centro-sul da Plataforma sulamericana. Desenvolveu-se como bacia continental interior, pós-ruptura do continente gondwânico, acumulando uma sequência sedimentar essencialmente arenosa, hoje com espessura máxima de 300m (Fernandes & Coimbra, 2000). Distribui-se geograficamente no Brasil por grande parte do planalto ocidental de São Paulo, noroeste do Paraná, parte oriental do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no Triângulo Mineiro e sul de Goiás (Figura 3), abrangendo uma área de aproximadamente 370.000 km² (Fernandes & Coimbra, 1996).

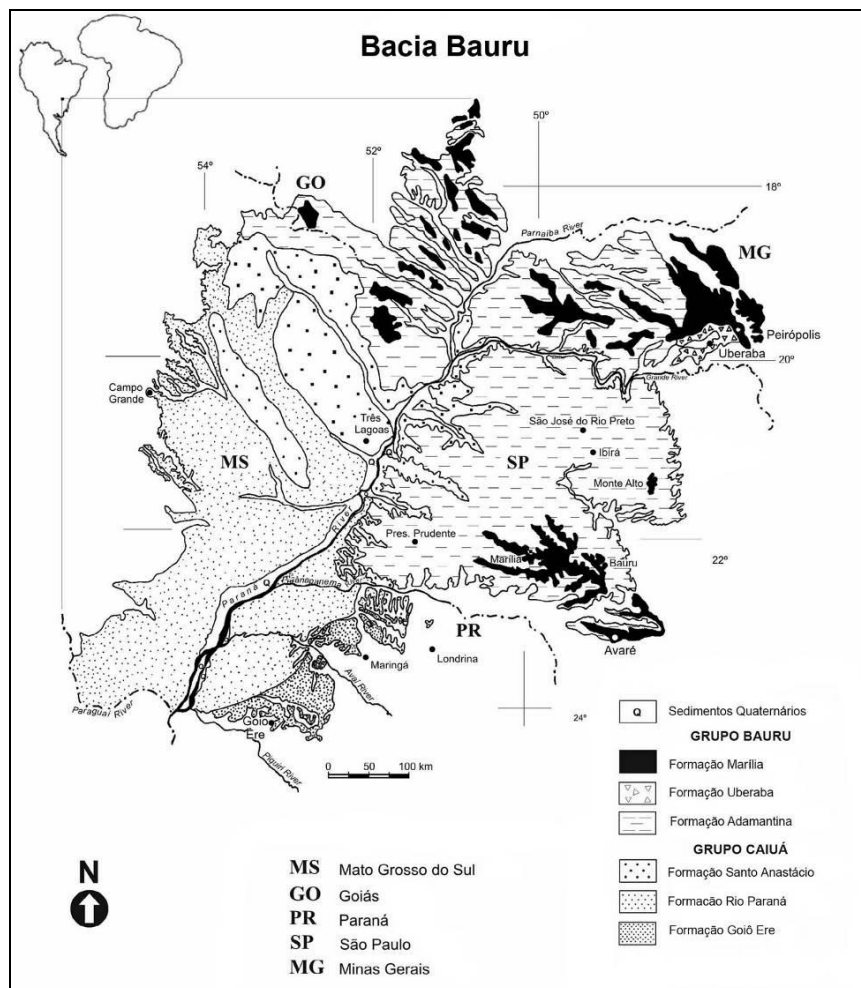


Figura 3. Mapa geológico da Bacia Bauru (retirado de Fernandes & Coimbra, 1996)

Originou-se durante o Neocretáceo (Turoniano-Maastrichtiano), posteriormente a um evento de compensação isostático que ocasionou o acúmulo de quase 2.000m de lavas basálticas da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), ocorrido no Cretáceo Inferior

(Fernandes & Coimbra, 1996). Do qual é separado por não conformidade, e limite superior erosivo, demarcado pela Superfície Sul-Americana ou sua posterior dissecação (Fernandes & Coimbra, 2000).

As litologias do Grupo Bauru mais estudados são as formações Adamantina e Marília, em virtude de sua abundância fossilífera e ampla área de distribuição geográfica (Bertini *et al.*, 1993; Oliveira *et al.*, 2006). Historicamente esse grupo possui uma história nomenclatural bastante complexa, devido em parte à artificial divisão dos estratos do Cretáceo Superior dos Estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo (Barcelos, 1984; Fernandes, 1998). Nestes estados, as rochas das formações Adamantina e Marília são cronocorrelatas aos estratos do Cretáceo Superior da Argentina (Musacchio *et al.*, 2002). Por conta disto, os sedimentos cretáceos da região supracitada foram descritos como série por Almeida & Barbosa (1953) e formação por Washburne (1930), Arid (1967), Mezzalira (1974), e finalmente grupo por Hasui (1969) e Soares *et al.* (1980), todavia como unidade pertencente a Bacia do Paraná (Quadro 2).

A Bacia Bauru, propriamente dita, foi formalmente descrita por Fernandes & Coimbra (1996). Tal bacia sedimentar é dividida em dois pacotes rochosos cronocorrelatos: o Grupo Caiuá e o Grupo Bauru. Segundo Dias-Brito *et al.* (2001), o Grupo Caiuá abrange as formações Caiuá (Aptiano-Cenomaniano) e Santo Anastácio (Cenomaniano). Enquanto que o Grupo Bauru divide-se em formações Adamantina (Turoniano-Santoniano), Uberaba (Turoniano-Coaniacino), Marília (Maastrichtiano) e os analcimitos Taiúva (rochas vulcânicas alcalinas) (Tabela 3).

A Formação Adamantina foi reconhecida como unidade estratigráfica por Soares *et al.* (1980). Estes autores definiram esta unidade por possuir um conjunto de fácies de arenitos de granulação fina a muito fina, cor de róseo a castanho, portando estratificação cruzada, com espessuras variando entre 2 metros a 20 metros, alternados com bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos de cor castanho avermelhado a cinzas castanhos, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, frequentemente com marcas de ondulações e microestratificação cruzada.

Esta unidade aflora nos estados de Goiás, São Paulo e na região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais, com uma área de aproximadamente 100.000 km², e espessura variando de 80 a 200 metros. Os sedimentos que deram origem a esta sequencia são compostos por argilas avermelhadas e arenitos de origem flúvio-lacustre, que foram

depositados em clima quente e úmido (Suguio & Barcelos, 1983). Os arenitos são finos, a muito finos e conglomerados basais com cimentação carbonática, apresentando como estruturas sedimentares laminações plano-paralelas de médio porte alternando para estratificação cruzada acanalada de baixo grau (Dias Brito *et al.*, 2001). A idade da Formação Adamantina foi definida como Turoniano-Santoniano por Dias-Brito *et al.* (2001). Essa idade foi atribuída a partir da presença de carófitas e ostracodes. Outros fósseis encontrados são representados por peixes, lagartos, tartarugas, crocodilos e possivelmente mamíferos (Bertini *et al.*, 1993).

O reconhecimento geológico da Formação Marília foi realizado por Gonzaga de Campos (1905) aos depósitos epiclásticos que ocorrem na região de Tapura, no oeste do estado de São Paulo. Posteriormente, Barcelos (1984) estendeu sua ocorrência ao Triângulo Mineiro. A Formação Marília possui espessura média de 60 metros, é constituída por arenitos e arenitos conglomeráticos com frequentes estratificações cruzadas (acanaladas e planares) e por conglomerados clasto-suportados polimíticos, contendo seixos arredondados de quartzo, quartzito, xistos, escassos fragmentos de *chert* e basalto, bem como intraclastos pelíticos e carbonáticos. Em algumas pedreiras de calcário (Caieira em Peirópolis, Partezan e Triângulo na BR-050 e Minas Oeste em Ponte Alta) ocorrem lentes delgadas de espessura centimétrica até métrica, pelito contendo moldes de conchostráceos, ostracodes, gastrópodes, escamas de peixes e carófitas (Campanha *et al.*, 1994; Senra & Silva e Silva, 1999). Segundo Barcelos & Suguio (1987) essa unidade foi depositada por leques aluviais coalescentes, posteriormente retrabalhados e depositados por um sistema fluvial entrelaçado, com calcretes e calcários lacustrinos associados.

Barcelos (1984) subdividiu a Formação Marília nos membros Echaporã, Ponte Alta e Serra da Galga, sendo que as amostras que ocorrem nessas duas últimas unidades encontram-se restritas ao Triângulo Mineiro (Fernandes & Coimbra, 1996). Esses dois membros, segundo Suguio (1973, 1980) foram formados em clima semiárido que favorecia a preservação de fósseis encontrados em suas camadas. Em sua descrição, o autor acima notou a abundância de estratificações cruzadas e bioturbações de invertebrados, no Membro Serra da Galga, e concluiu que a Formação Marília foi depositada em uma bacia fluvio-lacustre que experimentava interminentes inundações e ocasionais ressecamento.

A idade da Formação Marília é considerada Maastrichtiana (Castro *et al.*, 1999; Gobbo-Rodrigues *et al.*, 2001; Dias-Brito *et al.*, 2001), principalmente pelo seu conteúdo fossilífero

em vertebrados (quelônios, crocodilídeos, dinossauros, anuros, escamas de peixes, ovos e cascas de ovos), invertebrados (biválvios, gastrópodes, ostracodes, conchostráceos) e fragmentos vegetais (girogonites de carófitas) (Bertini *et al.*, 1993; Campanha *et al.*, 1994; Fernandes, 1998; Magalhães-Ribeiro, 1999, 2000 a,b).

Quadro 2. Histórico estratigráfico do Grupo Bauru. *Procedencia do material estudado.

Autores	Campos (1905)	Pacheco (1953)	Almeida & Barbosa (1980)		Soares et al. (1980)		Fernandes & Coimbra (1996)		Dias Brito et al. (2001)	
Nomenclatura adotada	“Gréz” Bauru	Formação Bauru	Séries	Série Bauru	Grupo Bauru	*Fm. Marília	Grupo Bauru	*Fm. Marília	Grupo Bauru	*Fm. Marília
								Fm. Uberaba		Fm. Uberaba
						*Fm. Adamantina	*Fm. Adamantina	*Fm. Adamantina		
						Fm. Santo Anastácio	Fm. Santo Anastácio	Fm. Santo Anastácio		
			Série Itaqueri		Fm. Caiuá	Grupo Caiuá	Fm. Goiό Erê	Grupo Caiuá	Fm. Caiuá	
					Fm. Rio Paraná		Fm. Rio Paraná			

Tabela 3. Estratigrafia cretácea da Bacia Bauru. Idades absolutas retiradas de Remane (2000). *Procedencia do material estudado.

Série	Estágios	Litoestratigrafia						
		Grupo	Formações					
Cretáceo Superior	Maastrichtiano	Grupo Bauru				*Fm. Marília		
	Campaniano							
	Santoniano							
	Coniaciano						*Fm. Adamantina	Fm. Uberaba
	Turoniano							
	Cenomaniano	Grupo Caiuá	Fm. Caiuá	Fm. Santo Anastácio				
Albiano								
Aptiano								
Barremiano								
Hauteriviano								
Valanginiano								
Berriasiano								

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma revisão taxonômica dos Dipnoiformes e Siluriformes pertencentes ao Grupo Bauru, coletados nos municípios de Uberaba, no estado de Minas Gerais, e Santo Anastácio, no estado de São Paulo, com a finalidade de contribuir com o conhecimento da diversidade de peixes fósseis nesta unidade, além de fornecer subsídios para compreender a origem e evolução destes táxons.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma redescrição de espécimes de Dipnoi, provenientes dos municípios de Uberaba, Minas Gerais, e Santo Anastácio, São Paulo, e discutí-los num contexto gondwânico, traçando paralelos sobre a origem e evolução dos táxons apresentados. (Anexo 1).
- Realizar uma descrição detalhada de espinhos peitorais e dorsais de Siluriformes, efetuar uma análise comparativa com diversas famílias de bagres atuais e extintas, distribuídas por todos os continentes (Anexo 2).

3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLOGIA REGIONAL

As áreas de ocorrências de peixes fósseis estudados neste trabalho estão inseridas em dois importantes afloramentos, pertencentes ao Grupo Bauru (Figura 4).

O sítio paleontológico de Santo Anastácio, vulgarmente chamado por Bertini *et al.* (1993) de Loc. 99, localizado a cerca de 15 km sul do centro urbano da cidade de Santo Anastácio, possui como coordenadas 21°59'12,62"S e 51°39'38,92"O.

A cidade de Santo Anastácio está geograficamente localizada na região sudoeste do Estado de São Paulo, e inserida geologicamente na porção inferior da Formação Adamantina. Este sítio apresenta em sua litologia pacotes de arenitos finos e avermelhados, algumas vezes conglomeráticos, sendo estruturalmente caracterizado por possuir estratificações cruzada acanalada e laminações plano-paralela (Bertini *et al.*, 1993) (Figuras. 5 e 7A).

O outro afloramento, pertencente ao sítio de Uberaba, localiza-se às margens da BR 050, a 300 metros do rio Uberaba em direção à cidade de Uberlândia, no perímetro urbano de Uberaba. Este afloramento possui como coordenadas 19°35'16"S e 48°01'47"O. Este sítio tem como unidade estratigráfica a Formação Marília. Este afloramento é litologicamente caracterizado por possuir pacotes de arenitos finos e avermelhados, carbonatizados e conglomeráticos de coloração amarelada, cimentados por carbonatos de cálcio com estruturas sedimentares predominantes: laminação plano-paralela, estratificação cruzada acanalada e cruzada tabular variando de pequeno a grande porte (Batezeli *et al.*, 2007) (Figuras 5 e 7B)

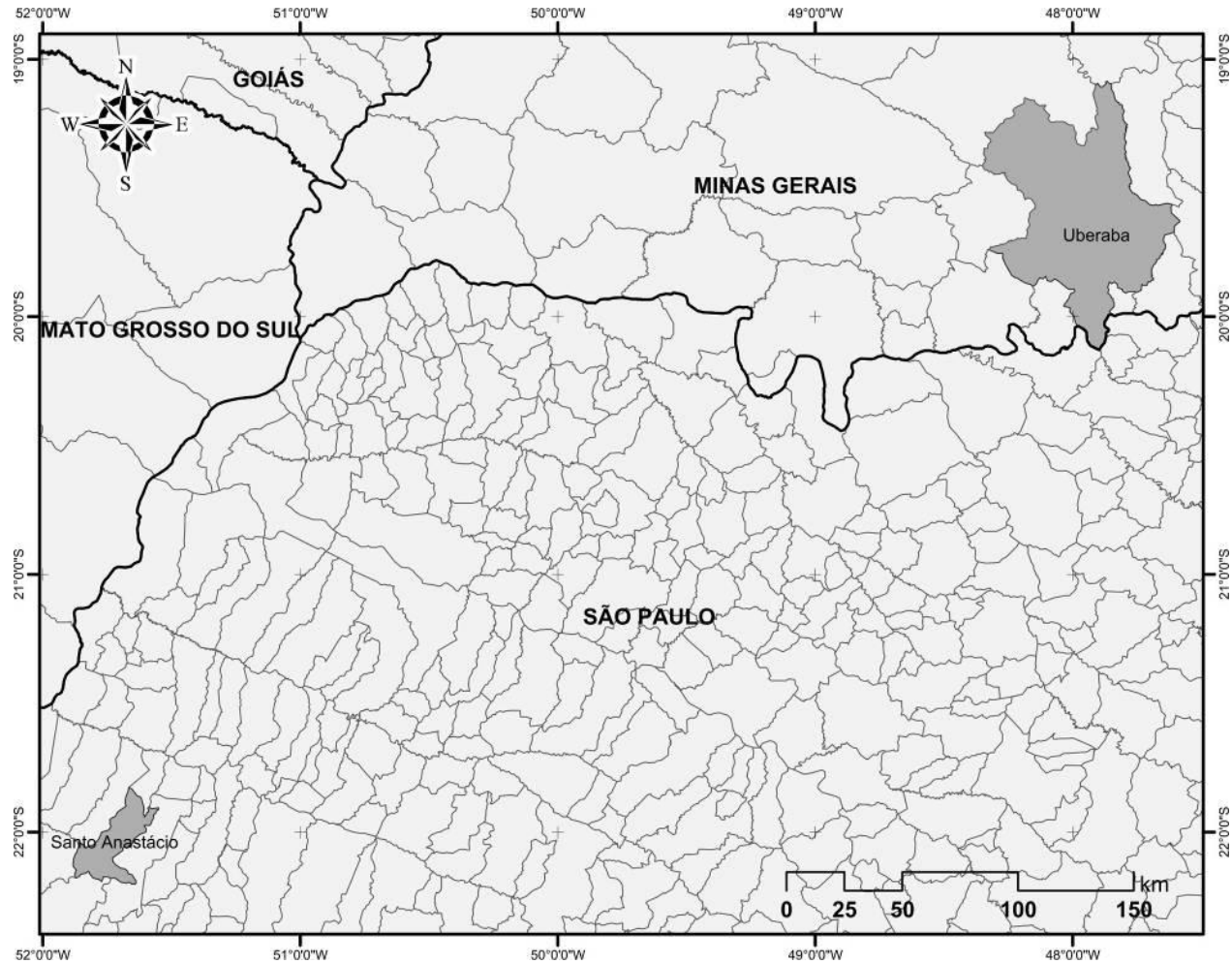


Figura 4. Mapa de localização dos municípios de Uberaba/MG, e Santo Anastácio/SP.

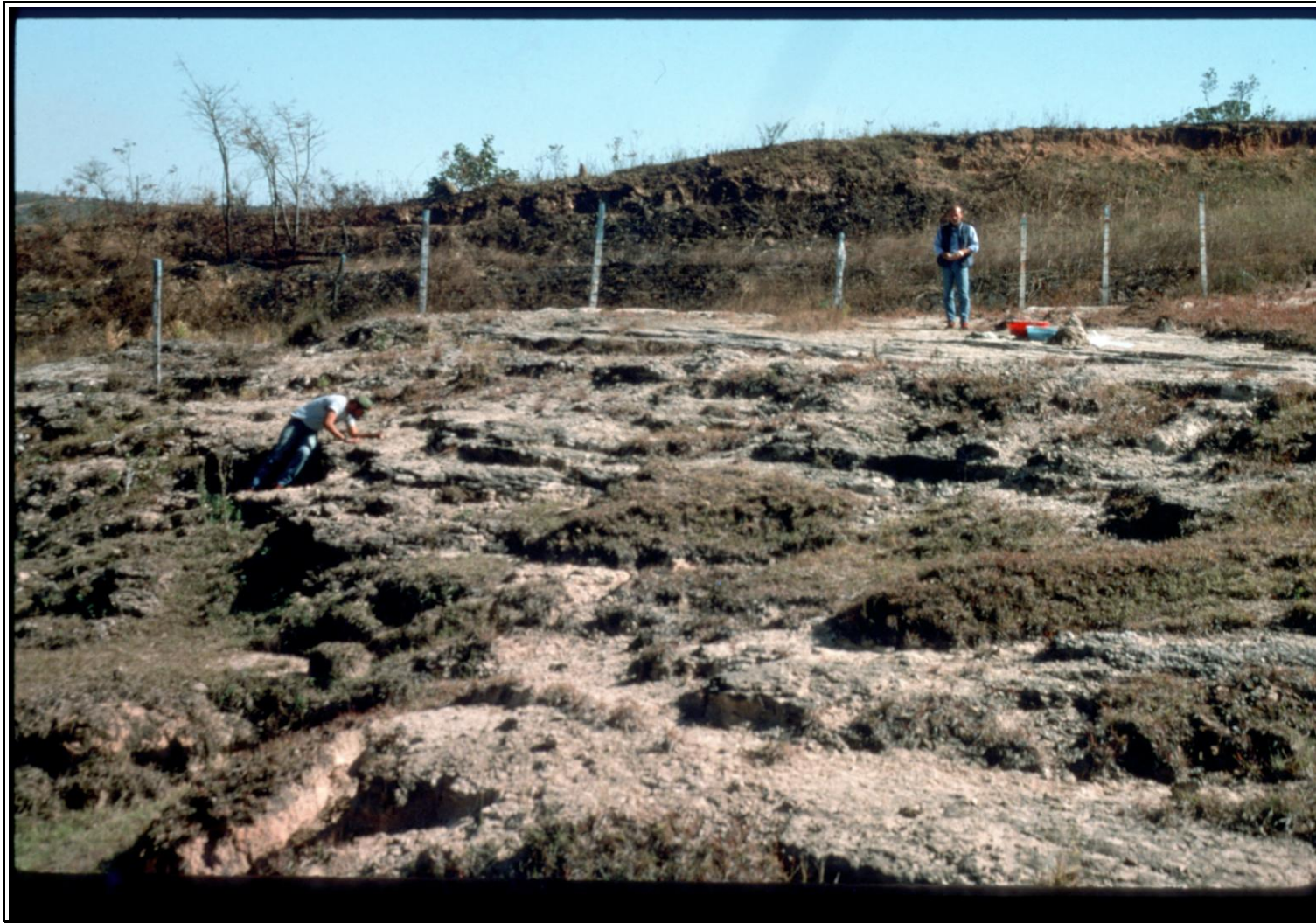


Figura 5. Afloramento Loc. 99 próximo ao Município de Santo Anastácio/SP. Foto de Paulo Brito.



Figura 6. Afloramento próximo a BR 050, no Município de Uberaba/MG. Foto de Caio Rangel.

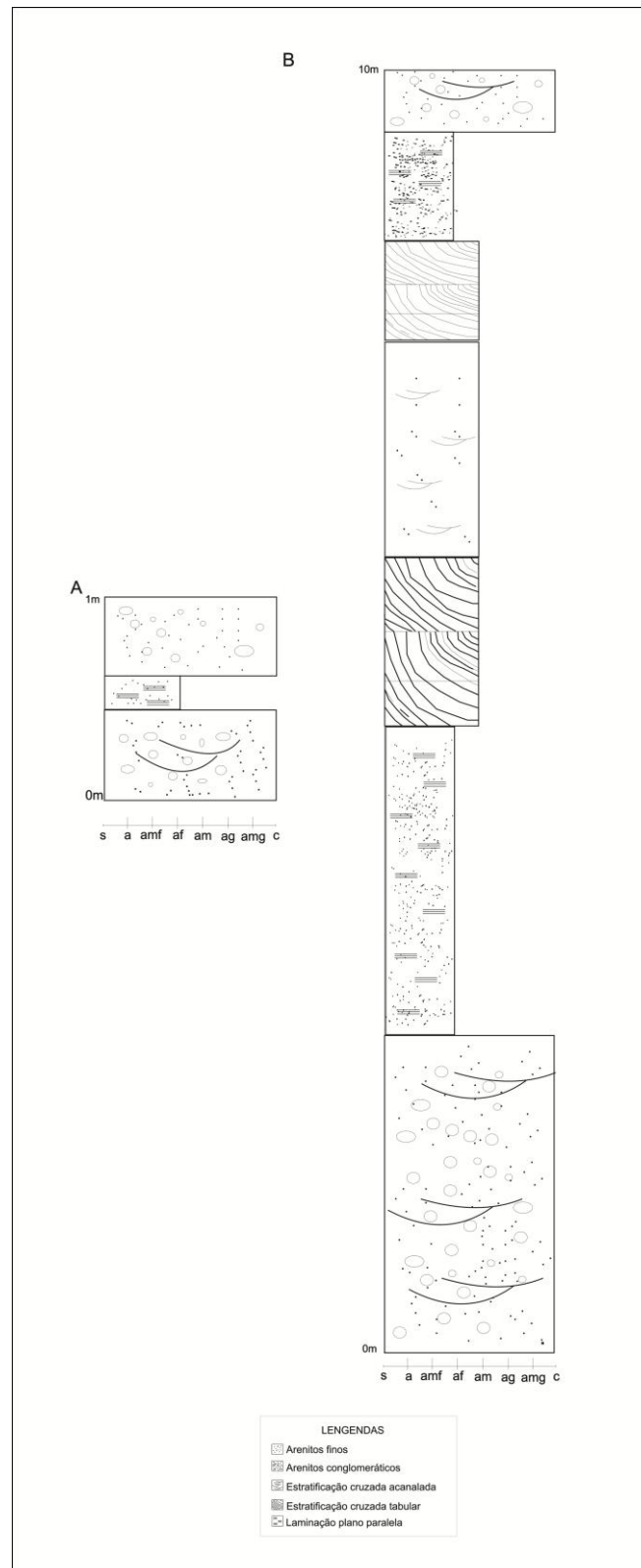


Figura 7. Colunas estratigráficas dos sítios estudados. A. Afloramento de Santo Anastácio/SP, “Loc 99”. B. Afloramento de Uberaba/MG, “Localidade BR 050”(modificados de Candeiro et al., 2004; Batezelli et al., 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Prospecção, coleta e triagem de “microrrestos”

Nesta seção é oferecido um guia experimental para trabalhos com a intenção de obter restos de peixes fósseis com a metodologia *screen washing*. No desenrolar desta explanação, literatura especializada será sugerida para interessados em se aprofundar no assunto.

As explorações paleontológicas geralmente estão focadas na busca e extração de táxons macroscópicos (crocodilos e dinossauros; e.g. Candeiro & Rich, 2009). Porém, em certas ocasiões, durante a escavação de restos fósseis ou em prospecções sistemáticas, ocorrem imprevisivelmente restos de vertebrados muito pequenos ou de muito pequeno tamanho (e.g. anfíbios, lagartos, aves e mamíferos; Bertini *et al.*, 1993; Azevedo *et al.*, 2007; Laurini, 2007; Candeiro *et al.*, in press) que aportam dados significativos para o conhecimento da paleofauna em estudo.

Os sítios do Grupo Bauru, loc 99 (município de Santo Anastácio/SP) e BR 050 (município de Uberaba/MG), assim como vários outros (ver tabela 1) possuem localidades fossilíferas onde os restos de peixes são abundantes, e seu registro é unicamente composto por “microrrestos”, consistindo principalmente de dentes isolados e ossos desarticulados, associados a fragmentos e dentes de dinossauros, crocodilos e tartarugas, além de raros fósseis de anuros, serpentes e aves (Bertini *et al.*, 1993).

Segundo Schiebout (1997), a coleta deste tipo de material é, em geral, uma exceção à regra de coletas e de preparação de vertebrados fósseis. Quando os sedimentos da localidade de coleta são pouco consolidados, as amostras de material podem ser peneiradas em campo, acondicionadas em sacos e levadas para o local de triagem. Se o sedimento em questão for bem consolidado, os fósseis devem ser levados para laboratório onde receberão tratamento químico para a desintegração da rocha. Usualmente são utilizados ácidos orgânicos fracos (e.g. ácido acético - CH_3COOH ; ácido fórmico - CH_2O_2) para dissolver o cimento carbonático e/ou nódulos e concreções (Cifeli *et al.*, 1996; Schiebout, 1997; Becker *et al.*, 2009). Souza *et al.* (2005) desenvolveram uma técnica específica para os sedimentos do Grupo Bauru, que foi seguida por vários autores (e.g. Azevedo *et al.*, 2007; Laurini, 2007; Oliveira, 2011; Alves *et al.*, in press). Nesta metodologia, os blocos de rocha são quebrados até o tamanho de

aproximadamente 1 cm³, a fim de evidenciar a existencia de restos fósseis e aumentar a superfície para o ataque químico. Os pequenos blocos são imersos em reagentes oxidantes – peróxido de hidrogênio (H₂O₂) ou óxido de potássio (KOH), ambos a 20% para eliminação da matéria orgânica e defloculação do sedimento argiloso, ficando à temperatura ambiente até o término da reação. Em seguida às amostras são aquecidas (em chapas aquecedoras) a 80° por duas horas e depois bombardeadas com ultra-som possuindo frequência de 37 Hz durante 10 minutos, para desagregação final da matriz argilosa e arenosa.

Na fase de coleta, os sedimentos devem ser processados pelo método *screen washing* (peneiramento e lavagem de sedimento), com a finalidade de se obter restos microscópicos de peixes. O peneiramento em campo é realizado com o auxílio de duas peneiras com malhas de 0,5mm e 1mm, cada. A utilização de malhas muito finas é sugerida por Kowalewski & Hoffmeister (2003), visto que o tamanho da malha influencia diretamente o tamanho dos fósseis encontrados, e a dimensão destes direcionam as inferências de padrões sedimentológicos, tafonômicos, ecológicos e evolutivos.

O sedimento peneirado deve ser acondicionados em sacos plásticos e direcionados para preparação em laboratório. No laboratório, é realizado repetidas lavagens a fim de retirar o material fino (o quanto for necessário). Depois de lavados, a amostra é espalhada em um plástico para secagem. O material resultante desse processo é submetido à triagem que consiste na separação do material fóssil, dos sedimentos, guardando pequenas porções do material lavado em recipiente, a fim de que sejam analisados com o auxílio de lupa. Depois que este material for isolado, segue-se as etapas de identificação morfológica e taxonômica das estruturas.

4.2 Material analisado

Os restos de peixes fósseis analisados nesta dissertação (32 espécimes) pertencem à coleção do Laboratório de Ictiologia Tempo e Espaço da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ-PMB) e ao Museu de Ciências da Terra do Departamento Nacional de Produção Mineral (Tabela 4).

O material corresponde a estruturas de tamanho centimétrico a microscópico, compreendendo duas placas dentárias de Dipnoiformes e 30 espinhos peitorais e dorsais de

Siluriformes. De modo geral encontram-se bastante desgastados, porém de alguns foi possível extrair diversas informações morfológicas, o que facilitou a comparação com material afim descrito em literatura especializada (Tabela 5) e com esqueletos recentes (no caso dos Siluriformes) (Tabela 6).

Tabela 4. Lista de espécimes de peixes fósseis figurados.

ESPÉCIMES	TAXA	MATERIAL	LOCALIDADE
DGM 1315-P	<i>Asiatoceratodus</i> sp.	placa dentária	Santo Anastácio
UERJ-PMB 156	<i>Ceratodus</i> sp.	placa dentária	Uberaba
UERJ-PMB 09	Siluriformes (morfótipo um)	espinho dorsal	Uberaba
UERJ-PMB 12	Siluriformes (morfótipo dois)	espinho dorsal	Santo Anastácio
UERJ-PMB 13	Siluriformes (morfótipo três)	espinho dorsal	Santo Anastácio
UERJ-PMB 10	Siluriformes (morfótipo um)	espinho peitoral	Uberaba
UERJ-PMB 14	Siluriformes (morfótipo dois)	espinho peitoral	Santo Anastácio
UERJ-PMB 11	Siluriformes (morfótipo dois?)	espinho peitoral	Uberaba
UERJ-PMB 15	Siluriformes indet.	espinho peitoral	Santo Anastácio

Tabela 5. Espécimes utilizados para comparação proveniente da literatura. (*)Siluriformes; restante Dipnoiformes.

ESPÉCIMES	TAXA	UNID.ESTRAT./IDADE	LOCALIDADE	REFERÊNCIA
FC-DPV 1720	<i>Asiatoceratodus tiguidiensis</i>	Fm. Tacuarembó, Neojurássico	Uruguai	Soto & Perea (2010)
MGCT-644	<i>Ceratodus africanus</i>	Fm. Tacuarembó, Neojurássico	Uruguai	Soto & Perea (2010)
MNHN-GDF 1158	<i>Ptychoceratodus serratus</i>	Fm. Rouiax, Eocretáceo	Argélia	Martin (1984)
MNHN-MJ 11	<i>Ferganoceratodus madagascariensis</i>	Fm. Phu Kradung, Neojurássico	Tailândia	Cavin <i>et al.</i> (2007)
RRBP 04289	<i>Lupaceratodus useviaensis</i>	Fm. Galula, Eocretáceo	Tanzânia	Gottfried <i>et al.</i> (2009)
MNHN-HGO 49	<i>Retodus tuberculatus</i>	Fm. Rouiax, Eocretáceo	Argélia	Martin (1984)
MV P169323	<i>Metaceratodus bonei</i>	Fm. Palakalina, Oligoceno	Austrália	Kemp (1997)
FMNH PF 1060	* <i>Hypsidoris farsonensis</i>	Fm. Green River, Eoceno	Estados Unidos	Grande (1987)
FMNH PF 10360	* <i>Hypsidoris oregonensis</i>	Fm. Clarno, Eoceno médio	Estados Unidos	Grande & Pinna (1998)
MLP 40-V-17-3	* <i>Bachmannia chubutensis</i>	Fm. Laguna del Runco, Eoceno	Argentina	Azpelicueta & Cione (2010)

Tabela 6. Lista de espécimes de Siluriformes atuais utilizados para comparação.

ESPÉCIMES	FAMÍLIA	ESPÉCIES
MZUSP 103254	Aspredinidae	<i>Bunocephalus coracoideos</i>
MZUSP 100031	Auchenipteridae	<i>Tocantinsia piresi</i>
MZUSP 91660	Bagridae	<i>Ageneiosus inernis</i>
MNHN 1974-20		<i>Heterobagrus bocourti</i>
MNHN 1992-4		<i>Batasio batasio</i>
NRM 12137		<i>Mystus malabaricus</i>
MZUSP 91656	Clariidae	<i>Clarias</i> sp.
MZUSP 88533	Diplomystidae	<i>Diplomystes camposensis</i>
MZUSP 62595		<i>Diplystes mesembrinus</i>
MZUSP s/n	Doradidae	<i>Lithodoras dorsalis</i>
MZUSP 1032256	Ictaluridae	<i>Ictalurus punctatus</i>
MZUSP 96327	Loricariidae	<i>Hypostomus cochliodon</i>
MZUSP 75256	Nematogenyidae	<i>Nematogenys inermis</i>
MZUSP 89712	Pimelodidae	<i>Pimelodus</i> cf. <i>albofasciatus</i>
MZUSP 91663		<i>Pimelodus</i> cf. <i>blochii</i>
MZUSP 94855		<i>Pseudopimelodus</i> sp.

4.3 Metodologias aplicadas

A elaboração deste trabalho seguiu as seguintes etapas: a) levantamento e triagem do material paleoictiológico; b) identificação, descrição e terminologia das estruturas fósseis analisadas; c) fotografia (macro e micro) do material.

a. Levantamento e triagem do material paleoictiológico

Além das placas dentárias de Dipnoiformes e espinhos de Siluriformes, coletados nos afloramentos de Santo Anastácio e Uberaba fazem parte da coleção paleoictiológica do Laboratório de Ictiologia Tempo e Espaço da UERJ os seguintes espécimes: vértebras opistocélicas, raios de nadadeira, fragmentos de mandíbula, além de dentes isolados com plicidentina e fragmentos cranianos com densidade e dimensões idênticas aos encontradas no holótipo *L. cominato*; vários fragmentos de dentes cônicos isolados similares à família Sul Americana Erythrinidae, e dentes robustos serrilhados lateralmente, semelhantes aos

Characidae neotropicais; restos atribuídos a cleitros e fragmentos do teto craniano pertencentes à ordem Siluriformes; e escâmulas claramente definidas como Osteoglossiformes.

Como dito anteriormente na introdução desta dissertação, houve uma prioridade no estudo de placas dentárias de Dipnoiformes, além de espinhos de nadadeira peitorais e dorsais de Siluriformes, devido ao fato destes terem sido identificados de forma superficial, e ou subestimados morfológicamente, sem atribuir uma descrição formal e distinção de sua diversidade, como aqui será realizado.

b. Identificação, descrição e terminologia das estruturas fósseis analisadas

Os fósseis de Dipnoiformes foram identificados por comparação com espécimes descritos e figurados na literatura especializada (Tabela 5). A descrição e a terminologia empregada seguiu Churcher & De Iullis (2001), no qual os seguintes critérios são utilizados: dimensão, formato e disposição dos cumes e ângulo mesiolingual (Fig. 8).

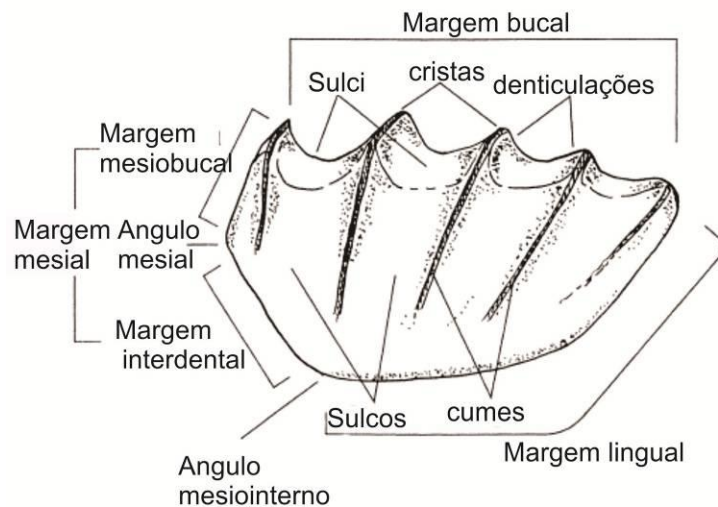


Figura 8. Terminologias utilizadas para placas dentárias de Dipnoi (modificado Churcher & De Iullis, 2001).

Os espinhos de nadadeiras peitorais e dorsais de Siluriformes foram identificados por comparação com famílias de Siluriformes atuais depositados na coleção esqueléticas do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP), além de literatura especializada (Tabela 4 e 5). Logo após foram descritos segundo terminologia adotada por Hubbs & Hibbard (1951) para espinhos peitorais, e Gayet & Van Neer (1990) e Otero & Gayet (2001)

para espinhos dorsais. Os seguintes critérios são utilizados: presença ou ausência de tubérculos ou dentículos, formato geral do espinho, forma do processo dorsal, fossa interna e processo axial do espinho peitoral, tamanho do forâmen mediano e asas laterais do espinho dorsal (ver Fig. 9).

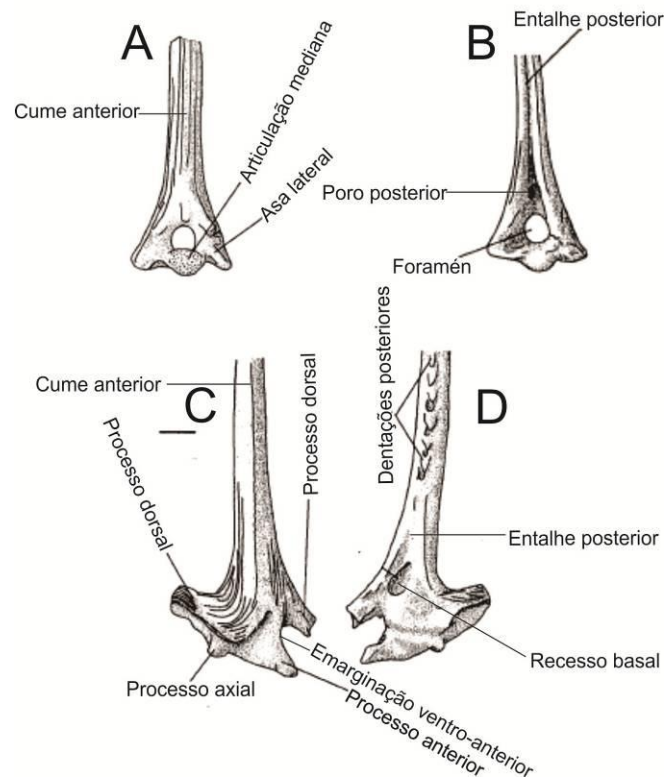


Figura 9. Terminologias utilizadas para espinhos dorsais (A, B) e peitorais (C, D). A e C, vista anterior; B e D, vista posterior (Modificado de Otero & Gayet, 2001)

c. Fotografia (macro e micro) do material

As macrofotografias de alguns dos espécimes foram obtidas através de câmera fotográfica digital Sony Cybershot 707 com resolução de 15mp, enquanto que as microfotografias dos espécimes menores (espinhos peitorais de bagres) foram obtidas com o uso de lupa estereoscópica Carl Zeiss Discovery V12, com câmera digital acoplada de 13mp de resolução.

Outros espécimes (duas placas dentárias e um espinho de nadadeira dorsal) foram analisados sob Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica (LABMEL) da UERJ.

Para obtenção de fotomicrofotografias em MEV foi adotado os seguintes passos metodológicos:

- a. Os espécimes selecionados foram fixados em uma fita de carbono dupla-face não condutora e esta colada em uma pastilha metálica (*stub*).
- b. Cada espécime foi recoberto por uma película de aproximadamente 200 Å de ouro/paládio (Au/Pd), por aproximadamente 5 minutos, em equipamento metalizador Edward S-150.
- c. Cada espécime, depois de metalizado, foi colocado em uma câmara de alto-vácuo acoplado ao MEV.
- d. As fotomicrofotografias foram realizadas em equipamentos ZEISS – DSM 940^a, Steroscan 250 MK 3 – Cambridge e JEOL-JXA 840^a/ Câmara de vácuo 840 SSD.

5 RESULTADOS

Os resultados dessa dissertação são apresentados na forma de dois manuscritos. Estes foram delineados com o objetivo de responder problemas de classificação taxonômica para dois grupos de peixes fósseis encontrados no Cretáceo Superior do Grupo Bauru: Dipnoiformes (Anexo 1) e Siluriformes (Anexo 2).

Como dito anteriormente, Gayet & Brito (1989) apresentaram pela primeira vez de forma sistemática a paleoictiofauna do Grupo Bauru. Os grupos taxonômicos reportados por eles foram: Lepisosteidae, Characiformes, Siluriformes, Neoceratodontidae e Osteoglossiformes.

Neste trabalho eles descreveram duas placas dentárias de dipnóicos descritos como pertencentes ao gênero *Neoceratodus*, se baseando em similaridades de sua dentição com as placas dentárias de *Neoceratodus africanus*, encontrado no Cretáceo da África. Sabe-se que a falta de dados morfológicos, além de placas dentárias, tem dificultado uma precisa classificação para muitos dipnóicos do registro fóssil pós-Triássico (ver explicação para isto no Anexo 1). Porém, recentes descobertas de novos materiais no Mesozóico, especificamente no leste e oeste do Gondwana (e.g. Castro *et al.*, 2004; Churcher & De Iullis, 2001; Churcher *et al.*, 2006; Cavin *et al.*, 2007; Cione *et al.*, 2007; Gottfried *et al.*, 2009; Soto & Perea, 2010), tem contribuído para uma mais apurada revisão de alguns grupos de Dipnoiformes fósseis. Encorajado por estes trabalhos, notou-se uma necessidade de revisão para estas placas dentárias descritas por Gayet & Brito (1989).

Nas análises do Anexo 1, as duas placas dentárias foram devidamente comparadas com uma série de táxons (Tabela 5). Como resultado, notou-se uma série de divergências morfológicas que possibilitou os classificar em dois táxons distintos. O espécime DGM 1315-P, foi redescrito como uma placa dentária inferior direita, pertencente ao gênero *Asiatoceratodus*, por apresentar em sua estrutura dentária as seguintes características: presença de uma quilha médio-lingual; o primeiro cume mais curvado que os demais; cumes originados radialmente de um ponto da superfície mediolingual; e pontuações oclusais próximo dos sulcos. Enquanto que o espécime UERJ PMB 156, foi redescrito como uma placa dentária inferior esquerda, pertencente ao gênero *Ceratodus*, apresentando em sua estrutura dentária tais características: ausência de uma quilha meio-lingual; mais de um cume curvado; cumes originados a partir de uma linha ao longo da superfície lingual; e pontuação

oclusal por toda a placa. Vários autores (e.g. Tabaste, 1963; Martin, 1984; Goodwin et al. 1999; Soto & Perea, 2010) apontaram diversas diferenças em morfologia e ornamentação de placas dentárias de *Asiatoceratodus* e *Ceratodus* que são visivelmente corroboradas nestas análises.

Os mais antigos asiatoceratodontídeos foram reportados no Triássico Inferior da Rússia (*Asiatoceratodus sharovi*) e oeste da Austrália (*A. tiguidiensis*). Outras ocorrências foram registradas no Triássico Superior da Argélia e Marrocos, Jurássico Superior da Etiópia, Argélia e Uruguai, além do Cretáceo Inferior da Nigéria e Brasil. Por isto a presença de um *Asiatoceratodus* em um depósito do Turoniano-Santoniano brasileiro representa o mais jovem registro deste táxon no mundo, e adiciona novos dados para a história dos dipnoicos durante o Mesozóico do Gondwana. Esta ocorrência aumenta o limite temporal da família Asiatoceratodontidae que anteriormente se restringia ao Cenomaniano. No caso dos ceratodontídeos, o presente registro representa a primeira ocorrência deste grupo para o Maastrichtiano da América do Sul, porém não o mais jovem registro, já que este gênero foi também encontrado no Paleoceno da Bolívia e Eoceno da Argentina.

Uma análise comparativa de espinhos de nadadeiras dorsais e peitorais de Siluriformes, como distutido no Anexo 2, com outros espinhos de bagres fósseis e atuais (Tabelas 5 e 6) revelou uma diversidade de morfologias que foram claramente distinguidas em diversos morfótipos (três morfótipos de espinhos dorsais e dois morfótipos de espinhos peitorais). Apesar da morfologia de espinhos de nadadeiras dorsais (em regra geral) serem muito mais generalizados que espinhos peitorais (Gayet & Van Neer, 1990), há claramente três distintos morfótipos, que podem representar três novos táxons para esta paleoictiofauna..

Os espinhos de nadadeira peitorais foram tratados por possuir mosaico um de características plesiomórficas, que foram também identificadas nas famílias neotropicais atuais, Diplomystidae e Pimelodidae; norte-americanas, Ictaluridae; africana, Bagridae; além de táxons extintos como Bachmaniidae e Hypsidoridae. A falta de características apomórficas torna difícil uma identificação apurada, inclusão dentro de alguma destas famílias ou criação de um novo táxon.

Siluriformes é um grupo taxonômico muito bem definido, contudo não foram ainda resolvidas as relações de parentesco entre os grupos taxonômicos superiores (e.g. Hardman, 2002, 2005; Sullivan *et al.*, 2006). Contudo o fato de alguns clados são endêmicos para apenas alguns continentes (por exemplo, Loricarioidea, Doradoidea, Pimelodidae e

Diplomystidae na América do Sul; Ictaluridae e Hypsidoridae na América do Norte; Amphiliidae, Austroglanididae, Claroteidae, na África; Sisoroidea na Ásia) que sugere uma longa história de predominância de diversificação intracontinental dentro os bagres (Hardman, 2002, 2005; Sullivan *et al.*, 2006; Lundberg *et al.*, 2007).

A diversidade de táxons apresentados aqui, ressaltados no Anexo 2, oferece uma importante janela para compreender a comunidade de bagres que viveu durante o Cretáceo Superior. Estes dados corroboram com os modelos propostos sobre a diversificação da ictiofauna neotropical (Briggs, 2005; Brito *et al.*, 2006; Lundberg, 2007), e ainda mais importante, demonstra que os bagres eram bem estabelecidos e diversos ao nível de simpatria muito antes da separação entre a América do Sul e África.

6 CONCLUSÕES

1. A paleoictiofauna presente no Cretáceo Superior do Triângulo Mineiro e do estado de São Paulo caracteriza-se por possuir duas classes de peixes tipicamente dulcícolas: táxons modernos que sobreviveram à separação com representantes atuais como Siluriformes, Characiformes e Osteoglossiformes; e táxons tipicamente gondwanicos, que estavam presentes no paleocontinente sulamericano e africano, mas posteriormente ao Cretáceo Superior foram totalmente extintos (*Asiatoceratodus*) ou não deixaram representantes atuais para estes dois continentes que sucederam a esta separação (*Ceratodus* e *Lepisosteus*) (e.g. Arratia, 1997; Lundberg, 1998; Brito *et al.*, 2006; Apesteguía *et al.*, 2007).
2. A revisão de placas dentárias de Dipnoiformes, analisadas neste trabalho revelou a presença de dois gêneros com morfologias totalmente distintas, refutando a identificação *a priori*, realizada por Gayet & Brito (1988). Foi constatada a presença de *Asiatoceratodus* para os estratos da Formação Adamantina, no Estado de São Paulo, e *Ceratodus* para Formação Marília, estado de Minas Gerais.
3. O registro de asiaticeratodontídeos em estratos do Turoniano-Santoniano amplia sua distribuição temporal, que até então, seu mais recente registro para a América do Sul havia sido reportado para o Albiano-Cenomaniano do Estado do Maranhão (Castro *et al.*, 2004).
4. No que concerne aos ceratodontídeos, houve uma ampliação de sua área de distribuição paleogeográfica na América do Sul durante os intervalos Campaniano-Maastrichtiano onde até então só havia sido registrado em estratos cretáceos da Argentina e Bolívia (e.g. Cione, 1987; Gayet *et al.*, 2001).
5. Uma análise comparativa de espinhos de nadadeiras dorsais e peitorais de Siluriformes, com outros espinhos de bagres fósseis e atuais revelou que os espécimes registrados para o Grupo Bauru apresentam uma morfologia generalizada com características plesiomórficas, que foram também identificadas nas famílias neotropicais atuais, Diplomystidae e Pimelodidae; norte-americanas, Ictaluridae; africana, Bagridae; além de táxons extintos como Bachmaniidae e Hysidoridae. Estas similaridades e a presença de caracteres generalizados torna difícil uma identificação apurada, inclusão dentro de alguma destas famílias ou criação de um novo táxon.

6. Dados morfológicos para espinhos de nadadeiras peitorais e dorsais aqui apresentados, foram claramente distinguidos em diversos morfótipos (três morfótipos de espinhos dorsais e dois morfótipos de espinhos peitorais), revelando uma diversidade de bagres durante o final do Cretáceo do Grupo Bauru. Não é descartado a hipótese de que os dois morfótipos de espinhos peitorais de Siluriformes possam pertencer a alguns dos três táxons de espinhos de nadadeiras dorsais. Porém os dados analisados nesta dissertação são insuficientes para poder afirmar com exatidão uma presença de três ou cinco bagres para o Grupo Bauru.
7. Considerando Siluriformes um grupo de origem gondwanica (e.g. Patterson, 1993; Gayet & Meunier, 1998), através destes dados é possível ainda especular que este grupo já estava bem estabelecido durante o final do Cretáceo, tendo explodido taxonomicamente muito antes de se distribuir por todos os continentes (e.g., Pinna, 1993; Gayet & Otero, 1999).

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnolin, F. 2010. A new species of the genus *Atlantoceratodus* (Dipnoiformes: Ceratodontidei) from the Upper most Cretaceous of Patagonia and brief overview of fossil dipnoans from the Cretaceous and Paleogene of South America. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, **1**(2): 162-210.
- Almeida, F.F., Barbosa, O. 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. *Boletim da Divisão Geológica de Mineração, DNPM*, **143**: 1-96.
- Alves, Y.M., Bergqvist, L.P., Furtado, M.R., Brito, P.M. em preparação. *Late Cretaceous vertebrate microremains from western São Paulo state (Adamantina Formation, Bauru Group), Brazil*.
- Alves, Y.M., Brito, P.M., Bergqvist, L.P. no prelo. Peixes fósseis do Cretáceo do Triângulo Mineiro. In: CANDEIRO, C.R.A., RODRIGUES, S.C., BERGQVIST, L.P. (eds), *Geologia e Paleontologia do Período dos Dinossauros (Neocretáceo) no Triângulo Mineiro*. Uberlândia.
- Apesteuguía, S., Agnolín, F.L., Claeson, K. 2007. Review of Cretaceous dipnoans from Argentina (Sarcopterygii: Dipnoi) with description of new species. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, **9**: 27–40.
- Arid, F.M. 1967. *A Formação Bauru na região norte-ocidental do estado de São Paulo*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São José do Rio Preto, 98 pp.
- Arid, E., Vizotto, L.D. 1963. Sobre vertebrados fósseis no Município de Ibirá, São Paulo. *Ciência e Cultura*, **15**(3): 181-182.

- Arratia, G. 1997. Brazilian and Austral freshwater fish faunas of South America. A contrast. *In: ULRICH, H. (ed.) Tropical biodiversity and systematics*. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig, p 179-187
- Azpelicueta, M.D.L.M., Cione, A. 2011. Redescription of the Eocene Catfish *Bachmannia chubutensis* (Teleostei: Bachmanniidae) of Southern of South America. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **31**(2): 258-269.
- Azevedo, R.P.F., Vasconcelos, P. L., Candeiro, C. R. A., Bergqvist, L.P. 2007. Restos microscópicos de vertebrados fósseis do Grupo Bauru (Neocertáceo), no oeste do estado de São Paulo, Brasil. *In: CARVALHO, I.S., CASSAB, R.C.T., SCHWANKE, C., CARVALHO, M.A., FERNANDES, A.C.S., RODRIGUES, M.A.C., ARAI, M., OLIVEIRA, M.E.Q. (eds) Paleontologia: Cenários de vida*. Interciencia, Rio de Janeiro, p. 534-541.
- Barcelos, J.H., 1984. *Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo*. Universidade Estadual Paulista de Rio Claro, Tese de doutorado, 190pp.
- Barcelos, J.H., Suguio, K. 1987. Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, definidas em território paulista, nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987. Resumos, Rio Claro. Boletim de Resumos...* Rio Claro: UNESP/Rio Claro, 1987. p. 313-321.

- Batezelli, A., Saad, A.R., Basilici, G. 2007. Arquitetura deposicional e evolução da sequência aluvial neocretácea da porção setentrional da Bacia bauru, no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(1): 163-181.
- Becker, M.A., Chamberlain Jr, J.A., Robb, A.J., Terry Jr, D.O., Garb, M.P. 2009. Osteichthyans from the Fairpoint Member of the Fox Hills Formation (Maastrichtian), Meade County, South Dakota, USA. *Cretaceous Research*, **30** (2009): 1031-1040.
- Bertini, R.J., Marshall, L.G., Gayet, M., Brito, P. 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, **188**(1): 71-101.
- Briggs, J.C. 2005. The biogeography of otophysan fishes (Ostariophysi: Otophysi): a new appraisal. *Journal of Biogeography*, **32**(2005): 287-294.
- Brito, P.M., Amaral, C.R.L., Machado, L.P.C.A. 2006. Ictiofauna do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Bauru, Sudeste do Brasil. In: GALLO, V., BRITO, P.M., SILVA, H.M.A., FIGUEIREDO, F.J. (eds.) *Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, **1**, 133-143.
- Campanha, V.A., Etchebehere, M.L., Saad, A.R., Fulfaro, V.J. 1994. Novas ocorrências fossilíferas no Grupo Bauru na região do Triângulo Mineiro. *Geociências*, **12**(2): 353-372.
- Candeiro, C.R.A., Agnolin, F., Martinelli, A.G., Buckup, P.A. no prelo. First bird remains from the Upper Cretaceous of the Peirópolis Site, Minas Gerais State, Brazil. *Geodiversitas*.

- Candeiro, C.R.A., Bergqvist, L.P. 2004. Paleofauna cretácica do Centro de Pesquisas Paleontológicas Llewellyn Ivor Price, Peirópolis, Uberaba, Minas Gerais. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, **16**(31): 27-35.
- Candeiro, C.R.A., Abranches, C.T., Abrantes, E.A., Avilla, L.S., Martins, V.C., Moreira, A.L., Torres, S.R., Bergqvist, L.P. 2004. Dinosaurs remains from western São Paulo state, Brazil (Bauru Basin, Adamantina Formation, Upper Cretaceous). *Journal of South American Earth Sciences*, **18**: 1-10.
- Candeiro, C.R.A., Martinelli, A.G., Avilla, L.S., Rich, T.H. 2006. Tetrapods from the Upper Cretaceous (Turonian–Maastrichtian) Bauru Group of Brazil: a reappraisal. *Cretaceous Research*, **27**(6): 923–946.
- Candeiro, C.R.A., Martinelli, A.G., Winter, C.P., Ribeiro, L.C. B., Bergqvist, L.P. 2010. Preliminary results of screenwashing in two Late Cretaceous outcrops of the Marília Formation (Bauru Group) in the Triângulo Mineiro (Minas Gerais State, Brazil). In: Simpósio Brasileiro de Paleontologia dos Vertebrados, 7, 2010. *Boletim de resumos*, p. 32.
- Candeiro, C.R.A., Rich, T. 2009. Overview of the Late Cretaceous Biota of the western São Paulo State, Brazil, Bauru Group. *Journal of South American Earth Sciences*, **29**(2010): 346-353.
- Carvalho, I.S., Ribeiro, L.C.B., Ávilla, L.S. 2004. *Uberabasuchus terrificus* sp. nov., a new Crocodylomorpha from the bauru Basin (Upper Cretaceous), Brazil. *Gondwana Research*, **7**(4): 975-1002.

- Castro, J.C., Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Suarez, J., Maranhão, M.S.A.S., Rodrigues, R. 1999. Arcabouço estratigráfico do Grupo Bauru no oeste Paulista. *In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 5, 1999. *Boletim de resumos*, p. 509-515.
- Castro, D.F., Toledo, C.E.V., Souza, E.P., Medeiros, M.A. 2004. Nova ocorrência de *Asiatoceratodus* (Osteichthyes, Dipnoiformes) na Formação Alcântara, Eocenomaniano da Bacia de São Luís, Ma, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **7**(2): 245–248.
- Cavin, L., Suteethon, V., Buffetaut, E., Tong, H. 2007. A new Thai Mesozoic lungfish (Sarcopterygii, Dipnoi) with an insight into post-Palaeozoic dipnoan evolution. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **149**: 141-177.
- Churcher, C. S., De Iuliis, G. 2001. A new species of *Protopterus* and a revision of *Ceratodus humei* (Dipnoi: Ceratodontiformes) from the Late Cretaceous Mut Formation of Eastern Dakhleh Oasis, Western Desert of Egypt. *Paleontology*, **44**: 305-323.
- Churcher, C.S., De Iullis, G., Kleindienst, M.R. 2006. A new genus for the dipnoan species *Ceratodus tuberculatus* Tabaste, 1963. *Geodiversitas*, **28** (4): 635-647.
- Cifelli, R.L., Madsen, S.K., Larson, E.M. 1996. Screenwashing and associated techniques for the recovery of microvertebrate fossils. *In: CIFELLI, R.L. (ed) Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils*. Oklahoma, The University of Oklahoma Norman, pp 1-23.
- Cione, A.L. 1987. The fishes. *In: BONAPARTE, J.F. (ed.) The Late Cretaceous fauna from Los Alamos*. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales (Paleontología)*, **3**: 111-120.

- Cione, A.L., Gouric, S., Goin, F., Poiré, D. 2007. *Atlantoceratodus*, a new genus of lungfish from the upper Cretaceous of South America and Africa. *Revista del Museo de la Plata, Paleontologia*, **10**: 1-12.
- Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Castro, J.C., Maranhão, M.S.A.S., Suarez, J.M., Rodrigues, S. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue Paleobiologie*, **20**(1): 245-304.
- Fernandes, L.A. 1998. *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)*. Universidade São Paulo, Instituto de Geociências, Tese de doutorado, 215 pp.
- Fernandes, L. A., Coimbra, A. M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia brasileira de Ciência*, **68**(2): 195-205.
- Fernandes, L.A., Coimbra, A.M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(4): 717-728.
- Gayet, M., Brito, P.M. 1989. Ichthiofaune nouvelle du Crétacé supérieur du Groupe Bauru États de São Paulo et Minas Gerais, Brésil. *Geobios*, **22**(6): 841-847.
- Gayet, M., Marshall, L.G., Sempere, T., Meunier, F. J., Cappeta, H., Rage, J.C. 2001. Middle Maastrichtian vertebrates (fishes, amphibians, dinosaurs and other reptiles, mammals) from Pajcha Pata (Bolivia. Biostratigraphic, palaeoecologic and palaeobiogeographic implications). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **169**: 39-68.
- Gayet, M., Meunier, F.J. 1998. Maastrichtian to Early Late Paleocene Freshwater Osteichthyes of Bolivia: Additions and Comments, p. 85-110. *In*: MALABARBA, L.R.,

- REIS, R.E., VARI, R.P., LUCENA, Z.M., LUCENA, C.A. (eds) *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Editora Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 85–110.
- Gayet, M., Otero, O. 1999. Analyse de la paléodiversification des Siluriformes (Osteichthyes, Teleostei, Ostariophysi). *Geobios*, **32**(2): 235-246.
- Gayet, M., Van Neer, W. 1990. Caractères diagnostiques des épines de quelques silures africains. *Journal of African Zoology*, **104**: 241–252.
- Gardiner, B.C. 1993. Osteichthyes: basal Actinopterygians. In: BENTON, M.J. (ed) *The Fossil Record 2*. Chapman and Hall, London, p. 611-619.
- Gobbo-Rodrigues, S.R., Santucci, R.M., Bertini, R.J. 2001. Considerações sobre a idade da Formação Marília (Grupo Bauru, Cretáceo Superior) na região de Peirópolis, Estado de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 17, 2001. *Resumos*, Rio Branco, Universidade Federal do Acre, p. 48.
- Grande, L. 1989. Redescription of *Hypsidoris farsonensis* (Teleostei: Siluriformes), with a reassessment of its phylogenetic relationships. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **7**(1): 24-54.
- Grande, L., Pinna, M.C.C. 1998. Descriptions of a second species of the catfish *Hypsidoris* and a reevaluation of the genus and the Family Hypsidoridae. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **18**: 451–474.
- Gonzaga de Campos, L. F. 1905. *Reconhecimento da zona compreendida entre Bauru e Itapura, São Paulo*. Relatório Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, Tipografia Ideal, 40 pp.

- Gottfried, M.D., Stevens, N.J., Roberts, E.M., O'Connor, P.M., Chami, R. 2009. A new Cretaceous lungfish (Dipnoi: Ceratodontidae) from the Fukwa Rift Basin, Tanzania. *African Natural History*, **5**: 31-36.
- Hardman, M. 2002. *The Phylogenetic Relationships among Extant Catfishes, with Special Reference to Ictaluridae (Otophysi: Siluriformes)*. University of Illinois at Urbana-Champaign. Unpublished Ph.D. Dissertation.
- Hardman, M. 2005. The phylogenetic relationships among non-diplomystid catfishes as inferred from mitochondrial cytochrome *b* sequences; the search for the ictalurid sister taxon (Otophysi; Siluriformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **37**: 395-408.
- Hasui, Y.O. 1969. Cretáceo do oeste mineiro. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **18**(1): 38-56.
- Hay, W.W., De Conto, R.M., Wold, C.N., Wilson, K.M., Voigt, S., Schultz, M., Wold-Rosby, A., Dullo, W.-C., Ronov, A. B., Balukhovsky, A.N., Soeding, E. 1999. An alternative global Cretaceous paleogeography. In: BARRERA, E., JOHNSON, C. (eds) *Evolution of the Cretaceous ocean-climate system: Geological Society of America Special Paper*, **332**: 1-48.
- Hubbs, C.L., Hibbard, C.W. 1951. *Ictalurus lambda*, a new catfish, based on a pectoral spine from the Lower Pliocene of Kansas. *Copeia*, **1951**(1): 8-14.
- Hübner, A. 2005. *The enigmatic adipose fin*. Base de dados eletrônica [HTTP://fsbio-hannover.de/oftheweek/adipose.htm](http://fsbio-hannover.de/oftheweek/adipose.htm). Acessado em Abril de 2012.

- Kemp, A. 1997. Four species of *Metaceratodus* (Osteichthyes: Dipnoi: family Ceratodontidae) from Australian Mesozoic and Cenozoic deposits. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **17**: 26–33.
- Kellner, A.W.A., Azevedo, S.A.K. 1999. A new sauropod dinosaur (Titanosauria) from the Late Cretaceous of Brazil. *Natural Science Museum Monographies*, **15**: 111-142.
- Kowalewski, M., Hoffmeister, A.P. 2003. Sieves and fossils: effects of mesh size on paleontological patterns. *Palaios*, **18**: 460-469.
- Laurini, C.R. 2007. *Microrestos de vertebrados da região de Ibirá, noroeste do Estado de São Paulo (Grupo Baurú, Cretáceo Superior)*. Universidade de São Paulo, Trabalho de conclusão de curso, 46 pp.
- Lopez-Arbarello, A. 2004. The record of Mesozoic fishes from Gondwana (excluding India and Madagascar). In: ARRATIA, G., TINTORI, A. (eds) *Mesozoic Fishes 3 – systematics, paleoenvironments and biodiversity*. Munchen: Friedrich Pfeil, 597-624.
- Lundberg, J.G. 1998. The temporal context for diversification of Neotropical fishes. In: MALABARBA, L.R., REIS, R.E., VARI, R.P., LUCENA, Z.M., LUCENA, C.A. (eds) *Phylogeny and classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre: Edipurs, 13-48.
- Lundberg, J.G., Sullivan, J.P., Rodiles-Hernández, R., Hendrickson, D.A. 2007. Discovery of African roots for the Mesoamerican Chiapas catfish, *Lacantunia enigmatica*, requires an ancient intercontinental passage. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, **156**: 39-53.
- Magalhães-Ribeiro, C.M. 1999. Ovos fósseis da Formação Marília (Bacia Bauru, Cretáceo Superior). *Academia Brasileira de Ciências*, **71**(4): 850.

- Magalhães-Ribeiro, C.M. 2000a. Microstructural analysis of dinosaur eggshells from Bauru Basin (Late Cretaceous), Minas Gerais, Brasil. *Extended Abstracts of the First International Symposium on Dinosaur Eggs and Babies*, p. 117-121.
- Magalhães-Ribeiro, C.M. 2000b. Nuevo hallazgo de huevo y fragmentos de cáscaras de huevos en la Formación Marília (Cretácico tardío), Uberaba, Minas Gerais, Brasil. In: *Jornadas Argentinas, 15, 2000. Resúmenes*, San Luis, Argentina, p. 33.
- Marinho, T.S., Candeiro, C.R.A. 2005. Titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) osteoderm from the Maastrichtian of Uberaba, Minas Gerais State, Brazil. *Gondwana Research*, **8**(4): 473-477.
- Marinho, T.S., Carvalho, I.S. 2009. An armadillo-like sphagesaurid crocodyliform from the Late Cretaceous of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**: 36-41.
- Martin, M. 1984. Revision des Arganodontides et des Neoceratodontides (Dipnoi, Ceratodontiformes) du Cretace africain. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **169**: 225-260.
- Mezzalira, S. 1974. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru. *Secretaria de Agricultura Coordenação e Pesquisa de Recursos Naturais, Instituto de Geografia e Estatística, São Paulo*, **51**: 103-163.
- Mezzalira, S. 1959. Nota preliminar sobre os recentes descobertas paleontológicas no Estado de São Paulo, no período de 1958/59. *Notas prévias do Instituto de Geografia e Geologia*, **2**: 1-17.
- Mezzalira, S. 1966. Os fósseis do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geografia e Geologia*, **45**: 1-132.

- Musacchio, E. A., Dias-Brito, D. Castro, J.C., Maranhão, M.S.A.S., Suarez, J.M. 2002. Comparando carófitos (algas verdes) Neocretácicos del Grupo Bauru (Brasil) y de Argentina. *In: Simposio sobre o Cretáceo do Brasil e Simpósio sobre El Cretácico de America del Sur*, 6, 2002, São Pedro. *Boletim*, São Paulo, UNESP, p. 329-334.
- Nava, W.R., Brito, P.M.M. 2008. Restos de peixes da Formação Adamantina, Cretáceo Superior da Bacia Bauru, regiões de Marília e Presidente Prudente, Estado de São Paulo. *In: Simpósio Brasileiro de Paleontologia de Vertebrados*, 6, 2008. *Resumos*, Ribeirão Preto, USP, p. 144-145.
- Oliveira, E.F. 2011. Coletas de microvertebrados a partir da lavagem de sedimentos pela técnica de *screen washing* em rochas sedimentares do Cretáceo Superior do Pontal do Triângulo Mineiro e Sul de Goiás. *In: CANDEIRO, C.R.A., GOMES, S.A. (eds) Tetrápodes do Cretáceo do Pontal do Triângulo Mineiro e Sul de Goiás*. Letra Capital, Rio de Janeiro, pp. 39-49.
- Oliveira, E. C., Santos, A.R., Candeirol, C.R.A. 2006. Localidades fossilíferas do Cretáceo Superior da região do Triângulo Mineiro (Estado de Minas Gerais, Brasil). *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, **18**(35): 151-167.
- Otero, O., Gayet, M. 2001. Palaeoichthyofaunas from the Lower Oligocene and Miocene of Arabian Plate: palaeocological and palaeobiogeographical implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **165**(2001): 141-169.
- Pacheco, J. A. A. 1913. *Relatório da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo*, p. 33-38.

- Patterson, C. 1993. Osteichthyes: Teleostei. In: Benton, M.J. (Ed) *The Fossil Record 2*. Chapman and Hall, London, pp. 621-656.
- Petri, S. 2001. As pesquisas paleontológicas no Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **1**: 9-136.
- Pinna, M.C.C. 1993. *Higher-level phylogeny of Siluriformes, with a new classification of the order*. City University of New York, Ph.D Dissertation.
- Pinton, A., Fara, E., Otero, O. 2006. Spine anatomy reveals the diversity of catfish through time: a case study of *Synodontis* (Siluriformes). *Naturwissenschaften*, **93**: 22-26
- Price, L. 1955. Novos crocodilídeos dos arenitos da Série Bauru, Cretáceo do Estado de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **27**(4): 487-498.
- Remane, J. 2000. Explanatory note to the international stratigraphic chart. Publication courtesy of the Division of Earth Sciences, UNESCO. In: *Proceedings of the XXXIth International Geological Congress (Rio de Janeiro)*.
- Sampson, S.D., Witmer, L.M., Forster, C.A., Krause, D.W., O'Connor, P.M., Dodson, P., Ravoavy, F. 1998. Predatory dinosaur remains from Madagascar: Implications for the Cretaceous Biogeography of Gondwana. *Science*, **280**: 1048-1051.
- Schiebout, J.A. 1997. Microvertebrate Sites. In: CURRIE, P.J., PADIAN, K. (eds) *Encyclopedia of Dinosaurs*. San Diego, Academic Press, pp 437-441.
- Schultze, H.-P. 1993. Osteichthyes: Sarcopterigians. In: BENTON, M.J. (ed) *The Fossil Record 2*. Chapman and Hall, London, pp. 657-663.

- Senra, M.C.E., Silva e Silva, L.H. 1999. Moluscos dulçaquícolas e microfósseis vegetais associados da Formação Marília, Bacia Bauru (Cretáceo Superior), Minas Gerais, Brasil. *In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 5, 1999. Resumos, Serra Negra (SP), p. 497-500.*
- Silva Santos, R.S. 1984. *Lepisosteus cominatoï* n.sp., da Formação Baurú, Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **56**(2): 197-202.
- Soares, P.C., Landim, P. M.B., Fúlfaro, V.J., Sobreiro Neto, A.F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, **10**(3): 177-185.
- Soto, M., Perea, D. 2010. Late Jurassic lungfishes (Dipnoi) from Uruguay, with comments on the systematic of gondwanan ceratodontiforms. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **30**(4): 1049-1058.
- Souza, A.F., Nobell, A.M., Bergqvist, L.P. 2005. Metodologia para desagregação de sedimentos da Formação Adamantina da Bacia Bauru, do oeste de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Paleontologia*, **49**: 10-11.
- Suguio, K. 1973. *A Formação Bauru: Calcários e sedimentos detríticos*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de livre docência, 2v.
- Suguio, K. 1980. Fatores Paleoambientais e Paleoclimáticos e Subdivisão Estratigráfica do Grupo Bauru. *In: MESA REDONDA SOBRE A FORMAÇÃO BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO E REGIÕES ADJACENTES, 1, 1980. Resumos expandidos, Rio Claro, p. 15-26.*

- Suguio, K., Barcelos, J.H. 1983. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: petrology and geological significance. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo*, **14**: 31–47.
- Sullivan, J.P., Lundberg, J.G., Hardman, M. 2006. A phylogenetic analysis of the major groups of catfishes (Teleostei: Siluriformes) using *rag1* and *rag2* nuclear gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **41**(2006): 636-662.
- Tabaste, N. 1963. Étude dês restes de poissons du Crétace Saharien. *Memoire IFAN, Mélanges Ichthyologiques*, Dakar, **68**: 437-481.
- Washburne, C.W. 1930. Petroleum geology of the state of São Paulo, Brasil. *Boletim da Comissão Geographica e Geológica*, **22**: 1-282.

ANEXO 1

**REDESCRIPTION OF TWO LUNGFISH (SARCOPTERYGII: DIPNOI) TOOTH
PLATES FROM THE BAURU GROUP, LATE CRETACEOUS OF BRAZIL**

YURI MODESTO ALVES

LÚCIO PAULO MACHADO

LÍLIAN PAGLARELLI BERGQVIST

PAULO MARQUES MACHADO BRITO

**(MANUSCRITO SUBMETIDO À CRETACEOUS RESEARCH EM 02 DE
JANEIRO/2012 E ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NO DIA 02 DE MARÇO/2012)**

**REDESCRIPTION OF TWO LUNGFISH (SARCOPTERYGII: DIPNOI) TOOTH
PLATES FROM THE BAURU GROUP, LATE CRETACEOUS OF BRAZIL**

Yuri Modesto ALVES¹, Lúcio Paulo MACHADO², Lílian Paglarelli BERGQVIST¹ and Paulo
M. BRITO²

¹Laboratório de Macrofósseis, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e Naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, alves_modesto@yahoo.com.br; ²Laboratório de Paleontologia, Departamento de Zoologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ

ABSTRACT

Two lungfish tooth plates from the Adamantina and Marília formations, southeastern Brazil, are redescribed. One represents the youngest record of an asiatoceratodontid for Gondwana. This record extends the upper temporal range of this family from Cenomanian to Turonian-Santonian. The other represents a new record of ceratodontids for South America. This discovery corroborates previous descriptions of South American fauna, such as the mixture of relict and ancient Gondwana taxa that disappeared by the end of the Cretaceous or the beginning of the Paleogene. The records add to the extant neotropical ichthyofauna, that survived after the South America-Africa separation.

Key words: *Asiatoceratodus*, *Ceratodus*, Adamantina Formation, Marília Formation, Late Cretaceous, Brazil

1 INTRODUCTION

The dipnoans, or lungfishes, form a well-defined clade of sarcopterygian fishes with a fossil record since Lower Devonian. Today, they are represented by just three extant freshwater genera distributed in three continents: *Lepidosiren* (South America), *Protopterus* (Africa) and *Neoceratodus* (Australia) (e.g. Schultze, 1992).

Fossil dipnoans in the Palaeozoic are well known from articulated specimens, including tridimensional skulls and isolated tooth plates, sometimes attached to mandibles and maxillary bones (Denison, 1968). There are a few rare exceptions of articulated Mesozoic specimens from the Jurassic of Kyrgyzstan (Nessov & Kaznyshkin, 1985), the Cretaceous of Thailand (Cavin et al., 2007), and several specimens from Australia (Kemp, 1993, 1994, 1996, 1998), most of the post-Triassic fossil record is composed exclusively of tooth plates (e.g. Kemp, 1997b).

This notable shift in the preservation of fossil dipnoans through time is directly related to the observed evolutionary trend, from heavily ossified skeletons with dermal bones, sometimes covered by cosmine, in the Devonian dipnoans, to the weakly ossified skeletons with thin dermal skull bones embedded in the skin present in Mesozoic and Cenozoic dipnoans (Martin, 1982). In parallel, tooth plates became stronger through increasing mineralization with petrodentine (Martin, 1982; Kemp, 2001; Cavin et al., 2007).

Despite the relatively frequent occurrence of lungfish tooth plates in South America (e.g. Toledo, 2006; Apestégua et al., 2007; Cione et al., 2007; Soto & Perea, 2010), only six nominal species were identified in Brazil: *Ceratodus africanus* Haug, 1905 (see Cunha & Ferreira, 1980; Martin, 1984); *Lepidosiren megalos* Silva Santos, 1987; *Asiatoceratodus* cf. *tiguidiensis* (see Dutra & Malabarba, 2001; Castro et al., 2004); *Ceratodus humei* Priem, 1914 (see Toledo, 2006) (for a discussion of the taxonomy of this species see Churcher & De Iullis, 2001); *Ptychoceratodus* cf. *philipsi* (see Richter & Toledo, 2008); and *Equinoxiodus alcantarensis* Toledo et al. (2011).

The lack of morphological data, apart from tooth plates, makes difficult a precise classification for much of the post-Triassic dipnoan fossil record. The recent discoveries of new material in the Mesozoic, specifically on eastern and western Gondwana (e.g. Castro et al., 2004; Churcher & De Iullis, 2001; Churcher et al., 2006; Cavin et al., 2007; Cione et al.,

2007; Gottfried *et al.*, 2009; Soto & Perea, 2010), allowed a more accurate review of some dipnoans fossil groups (e.g. Kemp, 1994; Churcher *et al.*, 2006; Apesteguía *et al.*, 2007; Cione *et al.*, 2007; Cavin *et al.*, 2007; Agnolin, 2010; Soto & Perea, 2010). Based on these reviews, we present here a redescription of two specimens collected during fieldworks in the Adamantina and Marília formations (Fig. 01; the localities of Santo Anastácio and Uberaba towns, respectively), of the Bauru Group. Both specimens were originally identified by Gayet & Brito (1989) as *Neoceratodus* sp. (also published by Brito *et al.*, 2006). However, a re-examination of the specimens provided new anatomical information that allows assigning them to other genera (see discussion).

Fig 01 near here-----

2 GEOLOGICAL SETTINGS

The specimens described here were collected in 1988 in two localities within the Bauru Basin: Loc. 99, near Santo Anastácio municipality, São Paulo state, and at km 24 on the highway linking Uberaba and Uberlândia in the Minas Gerais state (Fig. 1, see also Bertini *et al.*, 1993).

The Bauru Basin was developed in the southeastern part of the South American platform through thermo-mechanical subsidence in the Late Cretaceous (Fernandes & Coimbra, 1996). This continental basin accumulated an essentially siliciclastic sequence that is now approximately 300 meters thick. According to Dias-Brito *et al.* (2001), the Bauru Basin is divided in two groups: the Caiuá Group, comprising the Caiuá (Aptian-Cenomanian) and Santo Anastácio (Cenomanian) formations and the Bauru Group, comprising the Adamantina (Turonian-Santonian), Uberaba (Turonian-Coniacian), and Marília (Maastrichtian) formations.

The locality of Santo Anastácio is placed at the lower part of the Adamantina Formation (Bertini *et al.*, 1993). This unit covers an area of more than 100,000 km² in the states of São Paulo, western Minas Gerais, southern Goiás, southeastern Mato Grosso do Sul, and northern Paraná, and extends as far as eastern Paraguay (Fernandes & Coimbra, 1996). According to its invertebrate fossil content, it is assumed that the Adamantina Formation is of the Turonian-Santonian (Dias-Brito *et al.*, 2001).

This Formation is composed mostly of reddish mudstones and fluviolacustrine sandstones deposited under the influence of warm and humid climate (Suguio & Barcelos, 1983). The sandstones are usually massive or have plane-parallel laminations alternating with medium to small-scaled cross bedding (Dias Brito *et al.*, 2001). The Adamantina Formation frequently exhibits hydrodynamic structures, such as ripple marks, climbing ripples, cross-lamination, and cut-and-fill structures. It also presents intraformational breccias with siltic-argillaceous intraclasts and normal grading. The specimen DGM 1315-P was collected in reworked clast in sandstones.

The other locality, km 24 of the road between Uberaba and Uberlândia, is placed at the upper part of the Marília Formation (Bertini *et al.*, 1993). This formation was deposited as a series of coalescent alluvial fans, previously reworked and redeposited by a braided fluvial system, associated with calcretes and calcareous lacustrine environments with intermittent dry periods (Batezelli *et al.*, 2007).

Barcelos (1984) subdivides the Marília Formation on three members: Echaporã, Ponte Alta, and Serra da Galga, the latter two restricted to the Uberaba area. The basal member – Ponte Alta – is composed of thin and medium limestones with pebbles and calcareous nodules deposited in playa lakes, with alkaline water supersaturated with calcium bicarbonates. The upper member – Serra da Galga – is composed of conglomerate and thin to medium-grained limestones, with bleached color in an arkosic matrix (Garrido *et al.*, 1992) and exhibits an abundance of cross-stratification and invertebrate bioturbation (Suguio and Barcelos, 1980). Specimen UERJ 003 UB was collected from the Serra da Galga Member.

3 MATERIAL AND METHODS

The specimens described here comprise two partially preserved dipnoan tooth plates housed at the Universidade do Estado do Rio de Janeiro, under the numbers UERJ – PMB 156 and DGM 1315-P, and have been compared with others genera described in the literature. Measurements and terminology follow Churcher & De Iuliis (2001). The following diagnostic criteria were used: dimension, shape and disposition of ridges and mesiolingual angle. We follow Kemp (1997b) regarding tooth plates characters valid at the generic level. As proposed by Kemp (1998) we also regard the genus *Arganodus* as a junior synonym of *Asiatoceratodus*.

3.1. INSTITUTIONAL ABBREVIATIONS

UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brazil; **DGM**, Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Brazil; **MNHN**, Muséum National d’Histoire Naturelle, France; **RRBP**, Ruka Rift Basin Project, National Museum of Tanzania; and **MV**, Museum of Victoria, Melbourne, in Australia.

4 SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Class SARCOPTERYGII Romer, 1955

Subclass DIPNOI Müller, 1845

Order CERATODONTIFORMES Berg, 1940

Family ASIATOCERATODONTIDAE Vorobyeva, 1967

Genus *ASIATOCERATODUS* Vorobyeva, 1967

Asiatoceratodus sp.

Type species– *Asiatoceratodus sharovi* Vorobyeva, 1967, from the Early Triassic of Russia.

Material–DGM 1315-P, right lower partially preserved tooth plate.

Horizon– this specimen comes from the lower part of Adamantina Formation at Loc. 99 (see Bertini *et al.*, 1993) close to the town of Santo Anastácio, São Paulo State and about 584 km west of the city of São Paulo.

Description– *Asiatoceratodus* (Fig. 2A-B) is represented by a partially preserved fragment of a right lower tooth plate. The specimen is relatively small, measuring 8.5 mm in length, 2.5 mm in height, and 7 mm in width (measured across the occlusal surface of the toothplate and including the crests of the ridges). All the preserved ridges are straight, with the exception of the posterior ridges, which is slightly curved. The ridges are, narrow and radiate from a point on the mesiolingual surface. The crests are relatively acute and strong. Due to the lack of the first crests the exact mesiolingual angle cannot be inferred. Clefts between the crests are wide

and deep, with well-defined “V” shaped sulci. Surface ornament is composed of oval punctations, which are more apparent along the ridges and crests, and the lingual and buccal margins. This ornamentation is less distinctly developed in the deeper parts of the furrows between ridges. The lingual margin is rather straight. In lateral view, the buccal termination of the ridges is keeled (sensu Churcher & De Iuliis, 2001).

Comments– The DGM 1315-P is indentified as a possible right lower tooth plate because the labial and lingual faces are straight or slightly concave, and occult in posterior view (see discussion in Martin, 1980). Unfortunately, because DGM 1315-P is incomplete, the exact number of ridges cannot be determined. The tooth plates of *Asiatoceratodus* in general have six or seven ridges (e.g. Kemp, 1998; Soto & Perea, 2010). This specimen is similar to *Asiatoceratodus tiguidiensis* tooth plates studied by Tabaste (1963), Martin (1984), Goodwin *et al.* (1999), Castro *et al.* (2004), and Soto & Perea (2010). According to Kemp (1998), *Asiatoceratodus* bears straight, narrow and lingually radiate ridges. Its tooth plates are similar to those *Ptychoceratodus* (Fig. 3A; Kemp, 1998) and *Ferganoceratodus* (Fig. 3B; high-crowned and with a conspicuous mesiolingual keel, a mesiolingual angle close to 90°, and mesial lingual radiation). However, *Asiatoceratodus* is clearly distinct from all other Late Mesozoic dipnoans in having very short tooth plates and distinctive anterior acute crests (Vorobyeva, 1967; Agnolin, 2010).

Fig. 02 Near here-----

Family CERATODONTIDAE Gill, 1872

Genus *CERATODUS* Agassiz, 1838

Ceratodus sp.

Type species– *Ceratodus lastissimus* Agassiz, 1938. Late Triassic of England and Germany.

Material– UERJ – PMB 156 right lower tooth plate.

Horizon– Upper part of the Marília Formation (Ponte Alta Member) at km 24 on the road between Uberaba and Uberlândia, Minas Gerais, Brazil (see Bertini *et al.*, 1993).

Description– UERJ – PMB 156 (Fig. 02C-D) is a partially preserved lower left tooth plate. The specimen is relatively small, measuring 8 mm in length, 3 mm in height and 5,4 mm in width. The specimen can be identified as a left lower tooth plate, because its distinctive wear pattern, which includes a lack of obvious wear on the preserved labial face of the broken first ridge and faceting on the lingual margin of the occlusal surface (see discussion in Martin, 1980). Three short, acute and narrow ridges are well preserved, having a medial origin. The two posterior most ridges are oriented subparallel to each other, while the anterior ridge is curved in opposite direction. The specimen exhibits shallow furrows, and oval punctuations are most apparent along the furrows and ridges. The lack of preserved crests limits the estimation of the exact shape of the buccal termination in lateral view.

Comments: The combination of characters, such as, origin of ridges in the medial part of the mesiolingual region, subparallel and curved anterior ridges, and relative slender proportions of tooth plate, resemble the Mesozoic and Cenozoic Ceratodontidae specimens, such as: *Lupaceratodus useviaensis* Gottfried *et al.*, 2009 (Fig. 3C), *Retodus tuberculatus* (Fig. 3D; Tabaste, 1963), and *Metaceratodus* Kemp, 1997 (Fig. 3E). However, this tooth plate clearly differs from *Lupaceratodus* in lacking curved ridges (only the first preserved ridge in UERJ – PMB 156 is curved). The specimen also differs from *Retodus* by the lack of large oval punctuations and especially by the absence of a line of tubercles on top of each ridge. Finally, the specimen UERJ – PMB 156 differs from *Metaceratodus* by the shape of the ridges, which are larger and less robust than seen on *Metaceratodus*. Although fragmentary, it is clear that this material resembles the general shape, form of the ridges and ornamentation of the *Ceratodus africanus* tooth plates studied by Cunha & Ferreira (1980) and those of *Ceratodus humei* studied by Toledo (2006). However, since this specimen is partially preserved, it is not possible to refer it to any of the nominal species of the genus *Ceratodus*.

Fig 3 near here-----

5 DISCUSSION

The phylogenetic interrelationships and taxonomy of Mesozoic lungfishes remains are problematic, and a comprehensive synthesis of the group's diversity and paleogeographical

distribution during Mesozoic has yet to be achieved (e.g. Cavin *et al.*, 2007; Gottfried *et al.*, 2009; Agnolin, 2010). As observed above, the robust development of petrodentine in tooth plates, together with the poor mineralization of the lungfish skeleton resulting in few articulated specimens mean that many post-Palaeozoic dipnoans are based only on isolated tooth plates (Cavin *et al.*, 2007). As a result, many of the species placed in the family Ceratodontidae have been assigned to the ‘catch-all’ genus *Ceratodus*, and in some cases species originally assigned to *Ceratodus* have more recently been placed in the *Asiatoceratodus* (e.g., Soto & Perea, 2010), *Neoceratodus* (e.g., Churcher & De Iuliis, 2001), *Atlantoceratodus* (e.g., Cione *et al.*, 2007), or *Retodus* (e.g., Churcher *et al.*, 2006), indicating the current instability in the generic-level taxonomy of this group (Gottfried *et al.*, 2009).

The two lungfish tooth plates reviewed here were first described as *Neoceratodus* sp. by Gayet & Brito (1989), based on the general similarity of its dentition with the tooth plates of *Ceratodus brasiliensis*, described by Cunha and Ferreira (1980), a species included within the genus *Neoceratodus* by Martin (1984). In the same work, Martin also suggested that this taxon may be a junior synonym of *N. africanus*, from the Cretaceous of Africa. However, Martin based his suggestion on general features, including growth and wear, to transfer *C. africanus* and other *Ceratodus* species to *Neoceratodus* (see Kemp, 1997a; Soto & Perea, 2010). The presence of *Neoceratodus* in South America, have been the subject of some discussion. Various works (e.g. Kemp, 1997b; Churcher & De Iuliis, 2001; Soto & Perea, 2010) defend that the *Neoceratodus* is restricted to Australian Cretaceous and Cenozoic deposits.

Recently, Soto & Perea (2010) revised the systematic of Ceratodontiformes of Gondwana. These authors propose that all the Brazilian material, including *N. brasiliensis*, *N. africanus* and *Protopterus humei*, apart from the dipnoans described from the Bauru Basin, should be in the genus *Ceratodus*. This proposal is followed in the present paper.

We corroborate the preliminary assignment of the tooth plate UERJ UB-004 to the genus *Ceratodus*, being this plate similar to *Ceratodus africanus* and *Ceratodus humei* as pointed previously by Gayet & Brito (1989) and Alves *et al.* (in press). However, the other tooth plate (DGM 1315-P) is distinct from UERJ-PMB 156, and cannot be assigned to *Ceratodus* (as proposed by Gayet & Brito, 1989) or to *Neoceratodus* (as reviewed by Brito *et al.*, 2006). Besides the general characters listed above (Table 1), the tooth plates of *Asiatoceratodus* (DGM 1315-P) and *Ceratodus* (UERJ – PMB 156) can be readily

distinguished by several differences in overall tooth plate morphology and ornamentation (see Table 1; Tabaste, 1963; Martin, 1984; Goodwin *et al.*, 1999; Soto and Perea, 2010).

The earliest asiatoceratodontids were reported from the Lower Triassic of Russia (*Asiatoceratodus sharovi*; Vorobyeva, 1967) and Western Australia (*A. tiguidiensis*; Kemp, 1991). Other occurrences have been recorded in the Late Triassic of Algeria (Martin *et al.*, 1981) and Morocco (Murray, 2000), Late Jurassic of Ethiopia (Goodwin *et al.*, 1999), Algeria (Tabaste, 1963; Martin, 1984), and Uruguay (Soto & Perea, 2010), and Lower Cretaceous of Niger (e.g. Murray, 2000; Lopez-Arbarello, 2004) and Brazil (Dutra & Malabarba, 2001; Castro *et al.*, 2004). The presence of *Asiatoceratodus* sp. in Turonian-Santonian of Brazil deposits represents the youngest record of this taxon in the world, and adds relevant new data to dipnoan history in the Mesozoic of Gondwana. This occurrence increases the upper limit range of the Asiatoceratodontidae to the Cenomanian to the Turonian-Santonian, and offer new insights on the palaeobiogeographical history of this group.

According to Cavin *et al.*'s (2007) biogeographical hypothesis, the Asiatoceratodontidae lineage should also be dated to the Palaeozoic-Mesozoic boundary or the Early Triassic (despite to be unknown in the fossil record of the Palaeozoic era) and their distribution throughout landmass before the rifting of Laurasian-Gondwanan in Late Triassic (Fig.04A), like most of the cladogenetic events as well as most of the observed occurrences are within this period. During the Jurassic this group disappeared from Laurasia (Fig.04B), surviving only in Gondwana, where it survived into Late Cretaceous when it became extinct (Fig. 04C). Ceratodontid lungfishes are geologically older and geographically more widespread than asiatoceratodontid and thus, they are considered of cosmopolitan distribution during early Mesozoic (Fig. 04 A-B). Their origin predates the fragmentation of Gondwana in the Late Triassic. During the Cretaceous they became restricted to the Southern Hemisphere, with no explanation for their demise in the Northern Hemisphere (Fig. 04 C; Cione *et al.*, 2010). The youngest record of Ceratodontidae in Gondwana comes from the Pleistocene of Australia (Kemp, 1993; 1997a; 2001), although in South America, their later record belongs to the Late Paleocene-Early Eocene from Las Flores Formation, in Argentina (Cione *et al.*, 2010). Later, they were replaced by lepidosirenids, which remained the only lungfishes in Africa and South America (Schultze, 1992). According to Cione *et al.* (2010) the extinction of non-lepidosirenid lungfish in Africa and South America may be related to environmental changes occurred during the early Eocene Climatic Optimum.

The Bauru paleoichthyofauna is composed of relict and ancient Gondwanian freshwater fishes, such as *Ceratodus*, *Asiatoceratodus*, and *Lepisosteus*, which disappeared from the continent by the end of the Cretaceous or the beginning of the Paleogene, as well as other taxa which represent an important part of the extant neotropical ichthyofauna, such as Osteoglossidae, Siluriformes, and Characiformes (e.g. Arratia, 1997; Lundberg, 1998; Brito *et al.*, 2006; Apesteguía *et al.*, 2007).

Fig. 04 near here -----

6 CONCLUSION

The present contribution shows that both genera *Ceratodus* and *Asiatoceratodus*, were present in the Late Cretaceous Bauru Group of Brazil, improving our understanding of the global distribution of these taxa. The occurrence of asiaticeratodontids in the Adamantina Formation shows that this taxon survived in South America longer than previously thought, and extends the temporal limit of this taxon from Cenomanian to Turonian-Santonian. We document the first occurrence of *Ceratodus* in the Maastrichtian of South America, although it is not the youngest record as it is known from the Paleogene of Santa Lucia Formation of Bolivia and the Las Flores formations of Argentina (Shultze, 1991 and Cione *et al.*, 2010).

7 ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank David Martill (University of Portsmouth) and Miguel Furtado (Universidade Federal do Rio de Janeiro) for improving the English style. We also thank Leonardo Borghi and the LAGESED (Laboratório de Geologia Sedimentar/UFRJ) staff and Thiago Marinho (UFRJ) for helping with pictures on the stereoscopic microscope. Carlos Eduardo Vieira Toledo for informations about lungfishes, and Hans Peter Schultze (University of Kansas) for providing important literature. Y.M Alves and L.P. Machado thank the financial support by CAPES. L.P. Berqvist is supported by CNPq and P.M. Brito is supported by CNPq and FAPERJ.

8 REFERENCES

- Alves, Y.M., Bergqvist, L.P., Furtado, M.R, Brito, P.M., *In prep.* Late Cretaceous vertebrate microremains from western São Paulo state (Adamantina Formation, Bauru Group), Brazil.
- Alves, Y.M., Brito, P.M., Bergqvist, L.P., *In press.* Peixes fósseis do Cretáceo do Triângulo Mineiro. In: Candeiro, C.R.A., Rodrigues, S.C. and Bergqvist, L.P. (Eds), *Geologia e Paleontologia do Período dos Dinossauros (Neocretáceo) no Triângulo Mineiro.* Uberlândia.
- Agnolin, F., 2010. A new species of the genus *Atlantoceratodus* (Dipnoiformes: Ceratodontidei) from the Upper most Cretaceous of Patagonia and brief overview of fossil dipnoans from the Cretaceous and Paleogene of South America. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 1 (2), 162-210.
- Apesteguía, S., Agnolín, F.L., Claeson, K., 2007. Review of Cretaceous dipnoans from Argentina (Sarcopterygii: Dipnoi) with description of new species. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 9, 27–40.
- Arratia, G., 1997. Brazilian and Austral freshwater fish faunas of South America. A contrast. In: Ulrich, H. (Ed.), *Tropical biodiversity and systematics.* Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig, p 179-187
- Barcelos, J.H., 1984. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo. Unpublished Dsc thesis, Universidade Estadual Paulista de Rio Claro, Rio Claro, 190pp.

- Bertini, R.J., Marshall, L. G., Gayet, M., Brito, P., 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 188 (1), 71-101.
- Bruto, P. M., do Amaral, C. R. L., Machado, L. P. C. A., 2006. Ictiofauna do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia Bauru, Sudeste do Brasil. In: Gallo, V., Brito, P. M., Silva, H. M. A., Figueiredo, F.J. (Eds), *Paleontologia de Vertebrados: Grandes Temas e Contribuições Científicas*. Rio de Janeiro, 1, 133-143.
- Bruto, P.M., Meunier, F.J., Leal, M.E.C., 2007. Origine et diversification de l'ichtyofaune néotropicale: une revue. *Cybium*, 31(2),139-153.
- Candeiro, C.R.A., Martinelli, A.G., Avilla, L.S., Rich, T.H., 2006. Tetrapods from the Upper Cretaceous (Turonian–Maastrichtian) Bauru Group of Brazil: a reappraisal. *Cretaceous Research*, 27 (6), 923–946
- Castro, D.F., Toledo, C.E.V., Souza, E.P., Medeiros, M.A., 2004. Nova ocorrência de *Asiatoceratodus* (Osteichthyes, Dipnoiformes) na Formação Alcântara, Eocenomaniano da Bacia de São Luís, Ma, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7 (2), 245–248.
- Cavin, L., Suteethon, V., Buffetaut, E., Tong, H., 2007. A new Thai Mesozoic lungfish (Sarcopterygii, Dipnoi) with an insight into post-Palaeozoic dipnoan evolution. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 149, 141-177.
- Churcher, C.S., De Iuliis, G., 2001. A new species of *Protopterus* and a revision of *Ceratodus humei* (Dipnoi: Ceratodontiformes) from the Late Cretaceous Mut Formation of Eastern Dakhleh Oasis, Western Desert of Egypt. *Paleontology*, 44,305-323.

- Churcher, C.S., De Iuliis, G., Kleindienst, M.R., 2006. A new genus for the dipnoan species *Ceratodus tuberculatus* Tabaste, 1963. *Geodiversitas*, 28 (4), 635–647.
- Cione, A. L., Gouiric, S., Goin, F., Poiré, D., 2007. *Atlantoceratodus*, a new genus of lungfish from the upper Cretaceous of South America and Africa. *Revista del Museo de la Plata, Paleontología*, 10, 1–12.
- Cione, A.L., Gouric-Cavali, S., Gelfo, J., Goin, F., 2010. The youngest non-lepidosirenid lungfish of South America (Dipnoi, latest Paleocene-earliest Eocene, Argentina). *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, Published on line <http://dx.doi.org/10.1080/03115518.2010.489418>.
- Cunha, F.L., Ferreira, C.S., 1980. Um dipnoi na Formação Itapecuru (Cenomaniano), Maranhão, Brasil. In: II Congresso Latinoamericano de Paleontologia y Bioestratigrafia (Buenos Aires), Actas, 1-9.
- Denison, R.H., 1968. Early Devonian lungfishes from Wyoming, Utah and Idaho. *Fieldiana Geol.* 17:353-413.
- Dias-Brito, D., Musacchio, E.A., Castro, J.C., Maranhão, M.S.A.S., Suárez, J.M., Rodrigues, S., 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue Paleobiologie*, 20(1), 245-304.
- Dutra, M. F. A., Malabarba, C. S. L., 2001. Peixes do Albiano-Cenomaniano do Grupo Itapecuru no Estado do Maranhão, Brasil. In: Rossetti, D. F., Goes, A. M., Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú*. Belém, 1, 191-208
- Fernandes, L. A., Coimbra, A. M., 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia brasileira de Ciência*, 68 (2), 195-205.

- Garrido, A.E., Ferreira, A.M., Garcia, A.J.V., 1992. Estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bauru em Peirópolis Município de Uberaba, Minas Gerais. *Revista da Escola de Minas*, 45, 112–114.
- Gayet, M., Brito, P.M. 1989. Ichthiofaune nouvelle du Crétacé supérieur du Groupe Bauru États de São Paulo et Minas Gerais, Brésil. *Geobios*, 22(6), 841-847.
- Goodwin, M.B., Clemens, W.A., Hutchison, J.H., Wood, C.B., Zavada, M.S., Kemp, A., Duffin, C.J., Schaff, C.R., 1999. Mesozoic continental vertebrates with associated palynostratigraphic dates from the northeastern Ethiopian Plateau. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19 (4),728-741.
- Gottfried, M.D., Stevens, N.J., Roberts, E.M., O'Connor, P.M., Chami, R., 2009. A new Cretaceous lungfish (Dipnoi: Ceratodontidae) from the Fukwa Rift Basin, Tanzania. *African Natural History*, 5,31-36.
- Kemp, A., 1991. Australian Mesozoic and Cenozoic lungfish. In: Vickers-Rich, P., Monaghan, J. M., Baird, R.F., Rich, T. (Eds), *Vertebrate palaeontology of Australasia*. Melbourne, 1, 465-496.
- Kemp, A., 1992. New neoceratodont cranial remains from the Late Oligocene-Middle Miocene of Northern Australia with comments on generic characters for Cenozoic lungfish. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 12:284-293.
- Kemp, A., 1993. Problematic Triassic Dipnoans from Australia. In: Lucas, S. G., Morales, M. (Eds), *The nonmarine Triassic*. Albuquerque: New Mexico Museum of Natural History & Science, 3, 223-227.
- Kemp, A., 1994. Australian Triassic lungfish skulls. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 68, 647-654.

- Kemp, A., 1996. Triassic lungfish from Gondwana. In: Arratia, G., Viohl, G. (Eds) *Mesozoic Fishes 1 – Systematics and Paleocology*, 409-416
- Kemp, A. 1997a. Four species of *Metaceratodus* (Osteichthyes: Dipnoi: family Ceratodontidae) from Australian Mesozoic and Cenozoic deposits. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 17, 26–33.
- Kemp, A., 1997b. A revision of Australian Mesozoic and Cenozoic lungfish of the family Neoceratodontidae (Osteichthyes: Dipnoi), with a description of four new species. *Journal of Paleontology*, 71, 713–733.
- Kemp, A., 1998. Skulls structure in post-paleozoic lungfish. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18, 43-63.
- Kemp, A., 2001. Petrodentine in derived dipnoan dentitions. *Journal Vertebrate Paleontology*, 21, 422-437.
- Lopez-Arbarello, A., 2004. The record of Mesozoic fishes from Gondwana (excluding India and Madagascar). In: Arratia, G., Tintori, A. (Eds), *Mesozoic Fishes 3 – systematics, paleoenvironments and biodiversity*. Munchen: Fredrich Pfeil, 597-624.
- Lundberg, J.G., 1998. The temporal context for diversification of Neotropical fishes. In: Malabarba, L.R., Reis, R.E., Vari, R.P., Lucena, Z.M., Lucena, C.A. (Eds) *Phylogeny and classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre: Edipurs, 13-48.
- Martin, M., 1979. *Arganodus atlantis* et *Ceratodus arganensis*, deux nouveaux dipneustes du Trias Supérieur continental marocain. *Comptes Rendus Academie Science*, 289, 89-92.
- Martin, M., 1980. Revision of *Ceratodus concinnus* Plieninger. *Stuttgarter Beitrage zur Naturkunde. Serie B, Geologie und Palaeontologie*, 56, 1-15.

- Martin, M., 1982. Nouvelles données sur la phylogénie et la systématique des Dipneustes post paléozoïques, conséquences stratigraphiques et paléogéographiques. *Geobios Mémoires Spéciales*, 6, 53-64.
- Martin, M., 1984. Revision des Arganodontides et des Neoceratodontides (Dipnoi, Ceratodontiformes) du Crétacé africain. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 169, 225-260.
- Murray, A. M., 2000. The Palaeozoic, Mesozoic and Early Cenozoic fishes of Africa. *Fish and Fisheries*, Edinburgh, 1, 111-145.
- Nessov, L.A., Kaznyshkin, M.N., 1985. A lungfish and turtles from Upper Jurassic of Northern Fergana, Kirghiz SSR. *Vestnik Zoologii*, 1, 33-39.
- Richter, M., Toledo, C.E.V., 2008. The first Triassic lungfish from South America (Santa Maria Formation, Paraná Basin) and its bearing on geological correlations within Pangaea. In: Cavin, L., Longbottom, A., Richter, M. (Eds). *Fishes and the Break-up of Pangaea*. London: Geological Society 295, 43-54.
- Schultze, H-P., 1991. Lungfish from the El Molino (Late Cretaceous) and Santa Lucia formations in South-central Bolivia. In: Suárez-Soruco, R. (Ed). *Fósiles y Facies de Bolivia*. Vol. I Vertebrados. *Revista de Técnica de YPF*, 12, 441-448.
- Schultze, H-P., 1992. *Fossilium Catalogus 1 Animalia pars 131. Dipnoi*. Kugler Publications, Amsterdam/New York.
- Soto, M., Perea, D., 2010. Late Jurassic lungfishes (Dipnoi) from Uruguay, with comments on the systematic of gondwanan ceratodontiforms. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(4), 1049-1058.

- Suguo, K., Barcelos, J.H., 1983. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: petrology and geological significance. *Boletim do Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo*, 14, 31–47.
- Tabaste, N., 1963. Étude des restes de poissons Du Crétace Saharien. *Memoire IFAN, Mélanges Ichthyologiques*, Dakar, 68,437-481.
- Toledo, C.E.V., 2006. Análises estatística e filogenética dos dipnoiformes brasileiros. Comparações bióticas com o Gondwana ocidental. Unpublished Dsc thesis, Universidade do Estado de São Paulo, Rio Claro, 212pp.
- Vorobyeva, E.I., 1967. Triassic ceratod from South Fergana and remarks on the systematics and phylogeny of ceratodontids. *Paleontological Journal*, 4, 1-87.

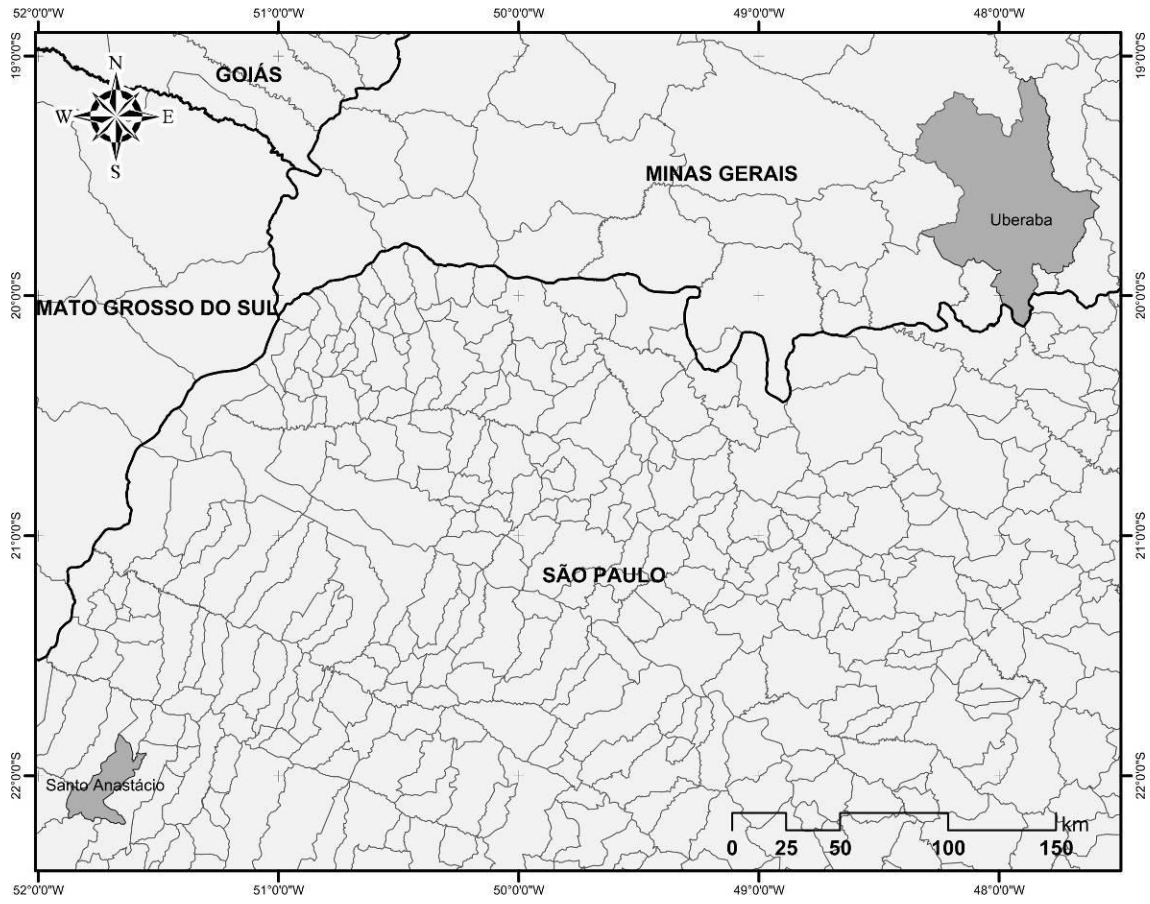


Figure 1. Location map of localities: loc. 99 in Santo Anastácio area, São Paulo State; and km 24 in Uberaba area, Minas Gerais, state), Brazil.



Figure 2. Dipnoan tooth plates of Bauru Group. A-B. DGM 1315-P, right lower tooth plate of *Asiatoceratodus* sp. in occlusal (A) and lingual (B) views. C-D. UERJ-PMB 156, lower left tooth plate of *Ceratodus* sp. in occlusal (C) and lingual (D) views (scale bar: 1mm).

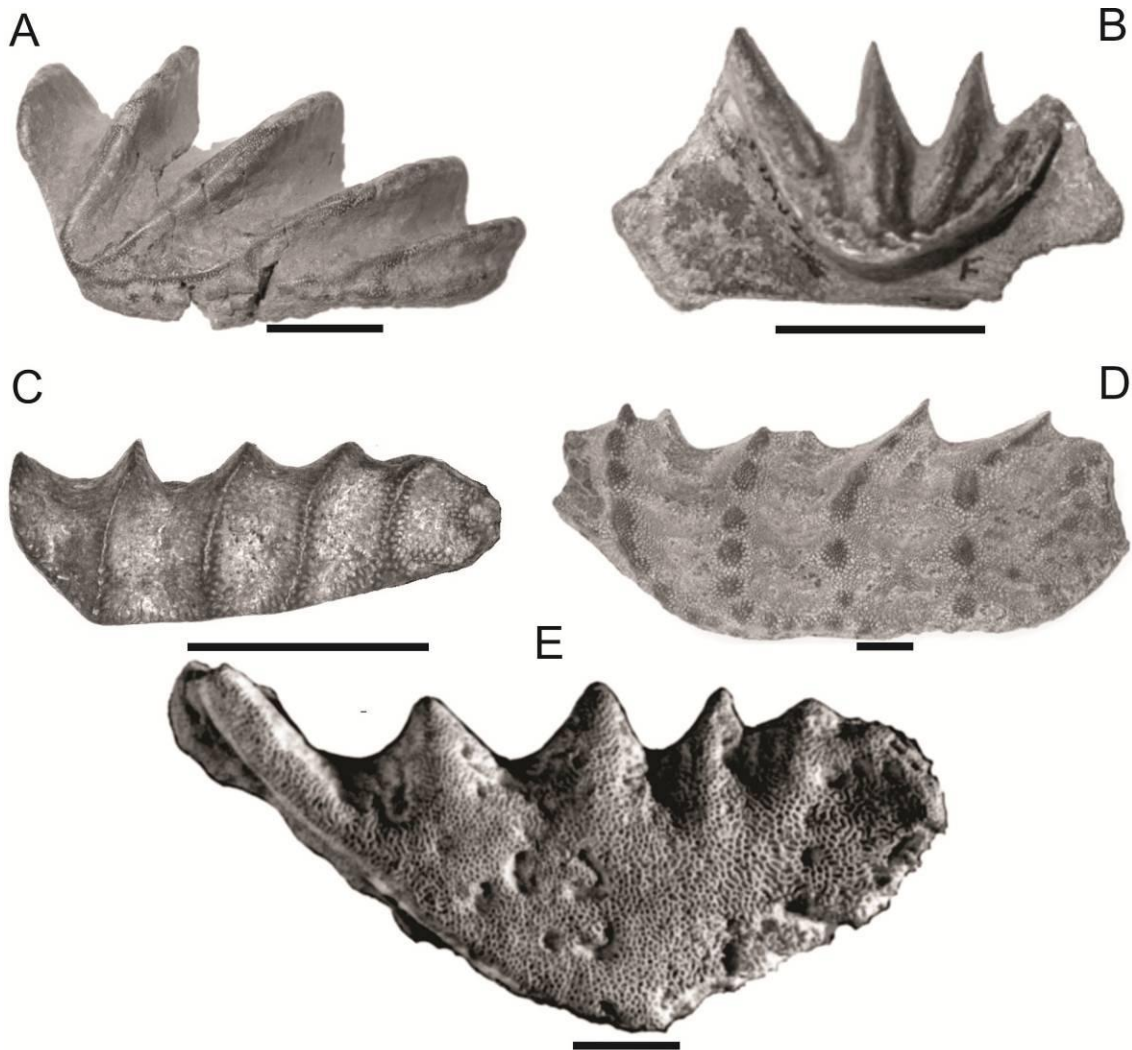
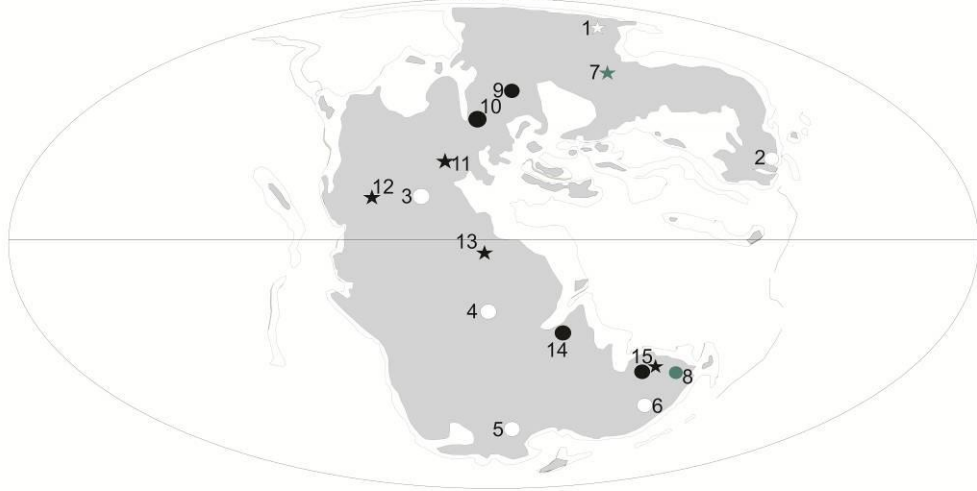


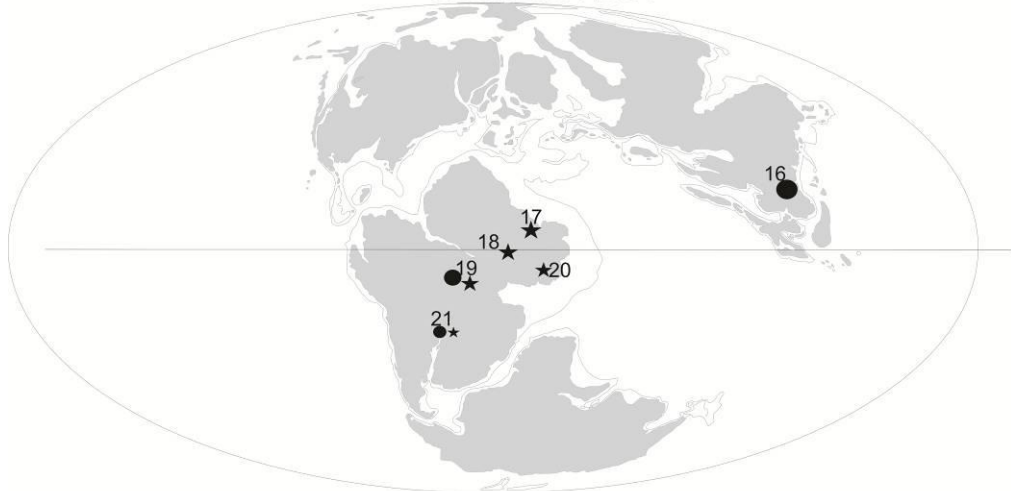
Figure 3. Fossil Dipnoans of Gondwana for comparison: A. *Pytchoceratodus serratus* (MNHN-GDF 1158); B. *Ferganoceratodus madagascariensis* (MNHN-MJ 11); *Lupaceratodus useviaensis* (RRBP 04289); D. *Retodus tuberculatus* (MNHN-HGO 49); and E. *Metaceratodus bonei* (MV P169323) (scale bar: 1mm).

☆ *Asiatoceratodus* ○ *Ceratodus*
 □ Early ■ Middle ■ Late

A: LATE TRIASSIC



B: LATE JURASSIC



C: LATE CRETACEOUS

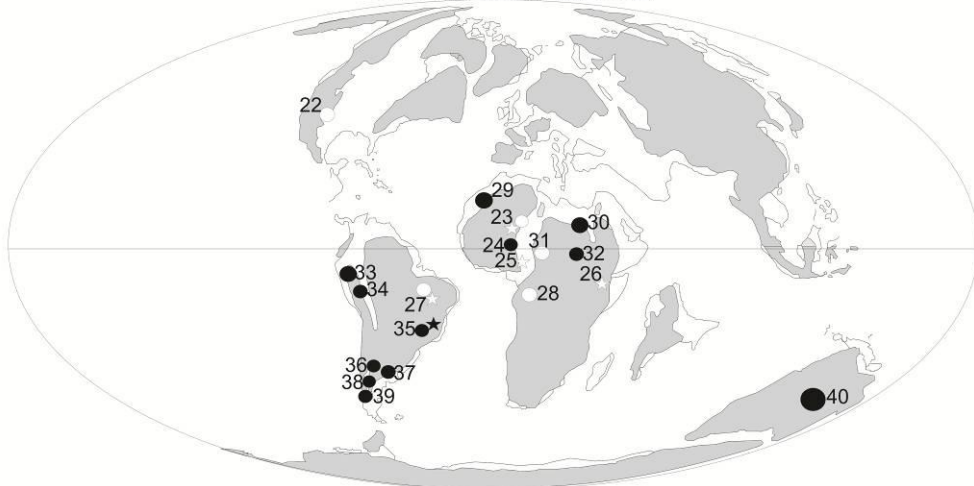


Figure 4. Mesozoic maps of World depicting main Triassic-Cretaceous occurrences of *Ceratodus* and *Asiatoceratodus*. **A:** 1. Early Triassic of Russia (Kyl Sai Ravini); 2. Olenekian of China (Heshanggou Formation); 3. Early Triassic of Kansas, EUA; 4. Early Triassic of Angola (Karoo Supergroup); 5. Late Scythian of Antarctica (Fremouw Formation); 6. Early Triassic of Gosford, in Australia (Nara Been Group); 7. Ladinian-Carnian of Kyrgyzstan (Madygen Formation); 8. Late Triassic of Brookvale, in Australia (Wiammata Formation); 9. Anisian of England (upper Keuper); 10. Anisian of South Germany (Sherwood Sandstone Group); 11. Canian of North Carolina, in EUA (Cummock Formation); 12. Apachean of New Mexico, in EUA (Chinle and Redonda formations); 13. Late Triassic of Morocco (Argana Valley); 14. Late Carnian of Deccan, in India (Maleri Formation); **B:** 15. Late Triassic of Australia (Blinka Shale); 16. Late Jurassic of China (Kuangyuan Formation); 17. Oxfordian-Titanian of Algeria; 18. ?Kimmeridgian-Aptian of Niger (Tiourarén Formation); 19. ?Kimmeridgian-earliest Cretaceous of Ceará, in Brazil (Missão Velha Formation); 20. ?Tithonian-earliest Cretaceous of Ethiopia (Mugher Mudstone Formation); 21. ?Kimmeridgian-earliest Cretaceous of Uruguay (Tacuarembó Formation); **C:** 22. Early Cretaceous of Kansas, in EUA (Kirkland Formation); 23. Aptian of Niger (Tiourarén Formation); 24. Early Cretaceous of Niger; 25. Aptian-Albian of Niger (Echkar Formation); 26. ?Tithonian-earliest Cretaceous of Ethiopia (Mugher Mudstone Formation); 27. Aptian-Cenomanian of Maranhão state, in Brazil (Itapecuru and Alcântara formations); 28. Early Cretaceous of Democratic Republic of the Congo (Bokungu Beds); 29. Cenomanian of Morocco (Kem Kem Beds); 30. Cenomanian of Egypt (Bahariya and Mut formations); 31. Coniacian-Santonian (Beceten Formation) and Maastrichtian (Igdaman Group) of Niger; 32. Cenomanian of Sudan (Wadi Milk Formation); 33. Campanian-Maastrichtian of Peru (Vichechio Formation); 34. Maastrichtian of Bolivia (El Molino Formation); 35. Turonian-Maastrichtian of São Paulo and Minas Gerais states, in Brazil (Bauru Group); 36. Turonian of Argentina (Bajo de la Carpa Formation); 37. Early Turonian of Argentina (Cerro Lisandro Formation); 38. Cenomanian of Argentina (Candeleros Formation); 39. Santonian-early Campanian of Argentina (Mata Amarilla Formation); 40. Cenomanian of Australia (Gremand Creek Formation).

Table 01. A comparison of diagnostic features among tooth plate of Bauru Group (Based on Tabaste, 1963; Martin, 1981, 1984; Goodwin et al., 1991; Soto and Perea, 2010)

FEATURE	<i>ASIATOCERATODUS</i>	<i>CERATODUS</i>
A marked medio-lingual keel	Present	Absent
Ridges	The first is slightly curved, beyond the second and subsequents are straight	More than one curved
Origin of the ridges	Radiate from a point on the mediolingual surface	A line along the lingual surface
Occlusal pits	In inter ridges furrows	Entire occlusal surface

ANEXO 2

**THE DORSAL AND PECTORAL-FIN SPINES OF SILURIFORMES FROM BAURU
GROUP, BRAZIL: A COMPARATIVE ANALYSIS WITH EXTANT AND FOSSIL
FIN SPINES**

YURI MODESTO ALVES

MARIO DE PINNA

LÍLIAN PAGLARELLI BERQVIST

PAULO MARQUES MACHADO BRITO

**(MANUSCRITO A SER SUBMETIDO AO JOURNAL OF VERTEBRATE
PALEONTOLOGY)**

The dorsal and pectoral-fin spines of Siluriformes from Bauru Group, Brazil: a comparative analysis with extant and fossil fin spines

YURI M. ALVES¹, MARIO C. C. de PINNA², LÍLLIAN P. BERGQVIST¹, PAULO M. BRITO³

¹Laboratório de Macrofósseis, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e Naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, alves_modesto@yahoo.com.br, bergqvist@geologia.ufrj.br;

²Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, pinna@ib.usp.br;

³Laboratório de Paleontologia, Departamento de Zoologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, pbritopaleo@yahoo.com.br.

ABSTRACT

Morphologic data on pectoral and dorsal-fin spines of catfishes from the Late Cretaceous Bauru Group Santo Anastácio and Uberaba areas, Brazil, reveals a diversity of freshwater taxa that lived there. These fauna represents one of the oldest examples of the primitive neotropical taxa, found posteriorly to the separation among South America and Africa. The material displays similarities with catfishes belonging to the families Diplomystidae, Bagridae, Ictaluridae and Pimelodidae, but can not be unambiguously assigned to any of those groups.

1. INTRODUCTION

The Siluriformes, or catfishes, form a well-defined clade of otophysan fishes, and constitutes one of the most diverse vertebrate groups, both morphologically and taxonomically (Fink & Fink, 1981; Pinna, 1993). This order includes 38 families with at least 3.370 described species (Eschmeyer & Fong, 2011), widely distributed in the river systems of all continents (including Antarctic where they have been reported through fossils from Eocene; Lance & Eastman, 1986).

Despite dramatic recent increase in the knowledge about Siluriformes, especially in the fields of ecology, phylogeny and biogeography (Lundberg, 1997, 1998), the early evolution of the group remains shrouded in mystery. Their oldest records are from Africa, as a poorly present specimen from the Coniacian-Santonian age of Niger (Patterson, 1993). This group becomes diverse in the Campanian-Maastrichtian of South America with records of: Diplomystidae and Ariidae of Los Alamitos Formation, in Argentina (Cione, 1987); Ariidae, Andinichthyidae and an unnamed doradoid taxon from El Molino Formation, in Bolivia (Gayet & Meunier, 1998; Gayet *et al.*, 2001); and various spines here described from the Bauru Group, in Brazil (Gayet & Brito, 1989) (for more detail about Siluriformes diversification, see Pinna, 1998 and Gayet & Otero, 1999). From the Late Cretaceous, other fossil remains have also been reported in India, Africa, United States and Spain (Frizzel & Koenig, 1973; Patterson, 1993; de la Peña & Soler-Guijón, 1995; Cione & Prasad, 2002). Any further records of Siluriformes from Cretaceous are very relevant for a better understanding of the zenith and evolution of the group. However, a vast majority of specimens from that age are represented by pectoral and dorsal-fin spines, while unambiguously assignable to Siluriformes, such fin spines otherwise yielded little comparative data relevant for their phylogenetic placement.

Notwithstanding, in some cases it has been possible to place catfish spines of African origin into families, genera (e.g. Gayet & Van Neer, 1990), in some cases even into species (Pinton *et al.*, 2006). Encouraged by such cases, we herein offer a detailed description of fossil catfish specimens recently found in the Late Cretaceous of Santo Anastácio and Uberaba outcrops (Gayet & Brito, 1989; Bertini *et al.*, 1993), and test whether morphological characters of the spines can be used to differentiate them of others families fossil and extant Siluriformes.

2. GEOLOGICAL SETTINGS

The specimens described here were collected in 1988 at two localities of Bauru Basin: Loc. 99, near Santo Anastácio municipality, São Paulo State, and at km 24 on the highway linking Uberaba and Uberlândia in the Minas Gerais State (Fig. 1, see also Bertini *et al.*, 1993).

The Bauru Basin developed in the southeastern part of the South American platform through thermo-mechanical subsidence in the Late Cretaceous (Fernandes & Coimbra, 1996). This continental basin accumulated an essentially sandy sedimentary siliciclastic sequence that is now approximately 300 meters thick. According to Dias-Brito *et al.* (2001), the Bauru Basin is divided in two groups: the Caiuá Group, comprising the Caiuá (Aptian-Cenomanian) and Santo Anastácio (Cenomanian) formations and the Bauru Group, comprising the Adamantina (Turonian-Santonian), Uberaba (Turonian-Coniacian), and Marília (Maastrichtian) formations.

The locality of Santo Anastácio is placed in the lower part of the Adamantina Formation (Bertini *et al.*, 1993). This unit covers an area of more than 100,000 km² in the states of São Paulo, western Minas Gerais, southern Goiás, southeastern Mato Grosso do Sul, and northern Paraná, and extends as far as eastern Paraguay (Fernandes & Coimbra, 1996). According to its invertebrate fossil contents, it is assumed that the Adamantina sediments were deposited during the Turonian-Santonian (Dias-Brito *et al.*, 2001).

This Formation is composed mostly of reddish mudstones and fluviolacustrine sandstones that were deposited during a time of warm and humid climate (Suguo & Barcelos, 1983). The sandstones are usually massive or have plane-parallel laminations alternating with medium to small-scaled cross bedding (Dias Brito *et al.*, 2001). The Adamantina Formation frequently exhibits hydrodynamic structures, such as ripple marks, climbing ripples, cross-lamination, and cut-and-fill structures. It also presents intraformational breccias with siltic-argillaceous intraclasts and normal grading(CITA).

The other locality, km 24 on the road between Uberaba and Uberlândia, is placed in the upper part of the Marília Formation (Bertini *et al.*, 1993). This formation was deposited as a series of coalescent alluvial fans, previously reworked and redeposited by a braided fluvial

system, associated with calcretes and calcareous lacustrine environments with intermittent dry periods.

Barcelos (1984) subdivides the Marília Formation in three members: Echaporã, Ponte Alta, and Serra da Galga, the latter two restricted to the Uberaba area. The basal member – Ponte Alta – is composed of thin and medium limestones with pebbles and calcareous nodules deposited in playa lakes, with alkaline water supersaturated with calcium bicarbonates. The upper member – Serra da Galga – is composed of conglomerate and thin to medium-grained limestones, with bleached color in an arkosic matrix (Garrido *et al.*, 1992) and exhibits an abundance of cross-stratification and invertebrate bioturbation (Suguo & Barcelos, 1980).

Fig 1 here -----

3. MATERIAL AND METHODS

The specimens analyzed here comprise 30 partially preserved catfish pectoral and dorsal-fin spines deposited at the Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ – PMB), collected at two outcrops: Santo Anastácio and Uberaba (Tab. 1).

These specimens were compared with extant catfish materials belonging to the osteological collections of MNRJ, MZUSP, MNHN and NRM (see below).

The terminology and measurements followed are according to Hubbs & Hibbard (1951) for pectoral-fin spines, and Gayet & Van Neer (1990), and Otero & Gayet (2001) for dorsal-fin spines. The following diagnostic criteria were used: presence or absence of dentations in anterior or posterior edge, presence or absence of posterior groove, direction of dentations, shape of dentations and proximity, length of dentations, general shape of the basal recess and posterior process of the pectoral fin spines, and size of the median foramen and lateral wings of the dorsal spines.

Tab. 1 here-----

3.1 Comparative material examined

Aspredinidae – *Bunocephalus coracoideus*: MZUSP 103254.

Auchenipteridae – *Ageneiosus inermis*: MZUSP 91660; *Tocantinsia piresi*: MZUSP 100031.

Bagridae – *Heterobagrus bocourti*: MNHN 1974-20; *Batasio batasio*: MNHN 1992-4; *Mystus malabaricus*: NRM 12137.

Clariidae – *Clarias* sp.: MZUSP 91656.

Diplomystidae – *Diplomystes camposensis*: MZUSP 88533; *Diplomystes mesembrinus*: MZUSP 62595.

Doradidae – *Lithodoras dorsalis*: MZUSP uncatalogued.

Ictaluridae – *Ictalurus punctatus*: MZUSP 103256.

Loricariidae – *Hypostomus cochliodon*: MZUSP 96327.

Nematogenyidae – *Nematogenys inermis*: MZUSP 75256.

Pimelodidae – *Pimelodus* cf. *albofasciatus*: MZUSP 89712; *Pimelodus* cf. *blochii*: MZUSP 91663; *Pseudopimelodus* sp.: MZUSP 94855.

3.2 Anatomical abbreviations

Ae, anteroventral emargination; **ag**, anterior groove; **ah**, articular head; **amc**, anterior median crest; **anf**, anterior fossa; **apr**, anterior process; **ar**, anterior ridge; **br**, basal recess; **bs**, body of the spine; **fo**, forâmen; **lw**, lateral wings; **pg**, posterior groove; **pd**, posterior dentations; **pof**, posterior fossa; **pp**, posterior pore; **vpr**, ventral process.

3.2 Institutional abbreviations

UERJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; **MNRJ**, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; **MZUSP**,

Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil; **MNHN**, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France; **NRM**, Swedish Museum of Natural History, Stockholm.

4 SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Superorder OSTARIOPHYSI Greenwood, Rosen, Weitzman and Myers, 1966

Order SILURIFORMES (*sensu* Fink and Fink, 1996)

Family indet.

4.1 Description

4.1.1 Dorsal-fin spines

Only the proximal portion of the dorsal-fin spines are preserved, but these show obvious distinctive morphotypes. The head, when well preserved (in case UERJ-PMB 09 and UERJ-PMB 13) is triangular, with well developed lateral wings when compared to the width of the body of the spines (fig.2F), dentations or tubercles are absents.

Morphotype one (UERJ-PMB 09) presents in anterior edge several longitudinal striae along the body of the spine (fig. 2A and C). The foramen is larger when compared to the other dorsal-fin spines, with a length of 0,8 mm. In posterior edge (fig. 2B) exhibits a deep groove, lacking tubercles, and this deep groove is the origin of the distal portion to circle the foramen. In lateral view, the spine has present a slightly concave curvature (fig. 2C). The ornamentation of the articular head is very poorly preserved. The morphology of the fin spine (head and body of dorsal-fin spine striate) resembles that in Doradidae and Auchenipteridae, and cf. *Rhineaster* from early late Paleocene of Santa Lucia Formation (Gayet *et al.*, 2001). The shape of this specimen resembles the bagrid that Murray & Thewissen (2008) reported from Eocene of Pakistan.

The morphotype two (UERJ-PMB 12) differs from the first morph, by the presence well of defined ridges intercalated with two deep grooves along the entire anterior region (fig. 02D) of the fin spine. The central ridge originates at the anterior median crest. In the posterior edge (fig. 02F), it has a posterior groove originating above of the deep pore, such as in *Ictalurus punctatus* and *Lithodoras dorsalis* dorsal-fin spines [also see dorsal spines of *Bagrus* in Otero & Gayet (2001)]. The length of the foramen is of 0,4 mm.

Morphotype three (UERJ-PMB 13) is much better preserved and more heavily ornamented than the other two. It differs from of morphotype two by the anterior median, which has two broad and flat small “wings-like” structures, instead of two deep grooves. The forame is half-moon shaped and 0,5 mm in length. More proximally, at the center, there is a median articulation that is separated by two lateral wings.

The Bauru dorsal fin-spines clearly represent three distinctive morphotypes, that may represent three new taxa to this paleoichthyofauna.

4.1.2 Pectoral-fin spines

Several pectoral-fin spines from Santo Anastácio and Uberaba outcrops assigned to the Siluriformes, being represented by two similar morphotypes (UERJ-PMB 10 and UERJ-PMB 14).

The anterior edge (Fig. 02 H, M and P) of these specimens form a well-defined ridge, with a rather deep marginal groove on each side, lacking dentations or tubercles in this section, like majority species of Diplomystidae, and any genus of Bagridae (e.g *Mystus* and *Batasio*). The ridge varies between rather round (Fig. 2H, M and P) to sharp (Fig. 2R and S) in cross section, and the grooves are deeper in the first ones. According to Hubbs & Hibbard (1951), in *Ictalurus lambda* specimens these features are subject to ontogenetic changes. As our pectoral-fin spines material is similar sized, we believe that these features actually represent taxonomic variation.

The posterior dentations are well-defined on the posterior edge (Fig. 2 G, L, O and R), inside a longitudinal groove, such as in *Bachmannia chubutensis* (see Azpelicueta & Cione, 2011), *Hypsidoris farsonensis* and *H. oregonensis* (see Grande & Pinna, 1988), in addition to some Ictaluridae and Bagridae. The posterior groove extends along nearly the whole length of

the posterior margin of the spine shaft. The dentations here are compressed, enlarged, retrorse, regular and hooked, with irregularly spaced, beginning just behind the basal recess (similarities also found in Diplomystidae, Pimelodinae and Bagridae). The basal recess is large and deep oriented transversely to the main axis of the groove, ellipsoidal in shape, the latter trait shared with *Ictalurus punctatus*. The shape is also similar in other species such as *Diplomystes camposensis*, *Pimelodus albofasciatus*, *P. blochii*, *Heterobagrus bocourti*, *Batasio batasio*, *Mystus malabaricus* their shape are similar (like-ellipsoidal), but the opening in those taxa is shallower. This may be related to the growth of these taxa. In catfishes like *Lithodoras dorsalis*, *Tocantinsia piresi*, *Clarias* sp. and *Hypostomus cochliodon*, the opening is reduced to a pore-like foramen. The central articular surface, beyond the basal process are not seen in the Bauru pectoral spines, probably as a result of weathering.

The dorsal process is more elevated than it is in most other catfish families. The angle between the process and the spines is 101,44°. The edge of the process is narrow and round in cross section in Ictaluridae and Diplomystidae, not forming a flat band as seen in Doradidae, or with a little deep furrows as in Pimelodinae and Bagridae. Its proximal face is very broad, ranging from shallow (UERJ-PMB 10) to very deep (UERJ-PMB 14). There are radial striations that apparently represent a stridulatory apparatus.

The pectoral-fin spines have two fossae: the anterior fossa, between the anterior and posterior processes, and posterior fossa, toward the base of the posteroproximal edge of dorsal process. In these pectoral-fin spines, the anterior fossa are deep and angulated, whereas the posterior fossa are straight and narrow. The two morphotypes of the pectoral-fin spines are clearly different in shape and degree of curvature of the anterior and ventral processes. In morphotype one (UERJ-PMB 10 and UERJ-PMB 11), these processes are more roundish and similar in size. The anterior process is separated from the ventral process by a the deep U-shaped anteroventral emargination. The two processes are roughly parallel. In morphotype two (UERJ-PMB 14), the anteroventral emargination is V-shaped, the processes are longer and sharper. Also the anterior process is more straight than the posterior one, and diverges from the overall curvature of the shaft of the fin spine.

Fig. 2 here-----

5. DISCUSSION

The dorsal-fin spines from Bauru Group does not exhibit the most diagnostic structures for a precise identification. In fact, the dorsal-fin spines have only scarcely been used for taxonomic identification in the literature. Therefore, we prefer to focus on the identification of pectoral-fin spines in this discussion.

Pectoral and dorsal-fin spines of catfishes have been a source of information for several studies, both on behavior (e.g. Fine *et al.*, 1997; Buckmeier *et al.* 2002; Bosher *et al.*, 2006), and taxonomy (e.g. Gayet & Van Neer, 1990; Pinton, 2006). Because they are well-ossified, resistant and dense structures (which mostly retaining their original form), catfish fin spines are among the most abundant remains of fossils fishes in the Mesozoic (Lundberg, 1998; Lopez-Arbarello, 2008). Hence, they represent an important tool for understanding the diversity of ancient catfishes (Pinton *et al.*, 2006).

Whereas dorsal-fin spines are also present in other actinopterygian groups (e.g. Polypteriformes and Perciformes), pectoral-fin spines are autapomorphic for Siluriformes. Both spines are however, reduced in member of several families (e.g. Amphiliidae, Trichomycteridae and Cetopsidae; see tab. 02). In the Cetopsidae, according to Vari *et al.* (2005), the presence of fin spines is restricted to phylogenetically basal genera only (i.e. *Cetopsidium* and *Denticeptosis*). In Nematogenidae, *Ageneiosus*, *Cetopsidium* and *Denticeptosis*, the processes (dorsal, ventral and anterior) that hold the pectoral-fin spine on cleithrum are absent (Pinna, 1993; Azpelicueta & Rubilar, 1998).

Among the modern freshwater families, who were part of our comparison the families most different from the pectoral spines of the Bauru Group are: Doradidae, Loricariidae, Callichthyidae, Aspredinidae, Auchenipteridae, Clariidae (see Table 3, see Gayet & Van Neer, 1990). On the other hand, many similarities with other families were also noted (see table 3). Such similarities are likely plesiomorphic. For example: large, compressed, and retrorsely hooked posterior dentations present in the Bauru pectoral spines are also present in some species of Diplomystidae, Ictaluridae, Pimelodinae, Heptapterinae, and Bagridae; the absence of anterior dentations is also a feature of the spines of some Diplomystidae and Bagridae (e.g. *Batasio batasio*), and others; and the presence dentations along the posterior groove is a widespread condition (for example Hypsidoridae, Bachmannidae, Ictaluridae, Bagridae and

others; see table and also Grande & Pinna, 1998; Azpelicueta & Cione, 2011). Without the benefit of apomorphic similarities shared by the fossils and modern families any attempt to identify them is tentative at best. The same case occurs with any fossil identified as Diplomystidae, found from Bolivia and Argentina (Cione, 1987; Gayet *et al.*, 2001), also pectoral-fin spines yielded of Late Cretaceous of India (Cione & Prasad, 2002), and Eocene of Antarctic (Grande & Eastman, 1986). According to Lundberg (1997), these specimens have a relatively plesiomorphic structure that disallows a precise statement on their relationship.

Familial and multifamilial clades of Siluriformes are mostly endemic to single continents (for example, Loricarioidea, Doradoidea, Pimelodidae and Diplomystidae in South America; Ictaluridae and Hypsidoridae in North America; Amphiliidae, Austroglanididae, Claroteidae, in Africa; Sisoroidea in Asia), which suggests a long history of predominantly intracontinental diversification within catfishes (Hardman, 2002, 2005; Sullivan *et al.*, 2006; Lundberg *et al.*, 2007).

The diversity of morphotypes presented here offer an important insight on the community of catfishes that lived in Late Cretaceous period. These data agree with proposed models about the diversification of the neotropical ichthyofauna (Briggs, 2005; Brito *et al.*, 2006; Lundberg, 2007). most importantly, it demonstrates that catfishes were already well-established and diverse to the level of sympatry before the separation between South America and Africa.

Tab. 2 here-----

Tab. 3 here-----

Fig. 3 here-----

Fig. 4 here

Fig. 5 here

Fig. 6 here

6 CONCLUSIONS

Cretaceous catfish records are very widely distributed. Remains of otoliths, pectoral and dorsal-fin spines, and on occasion cranial fragments are reported from Cenomanian-Maastrichtian strata in Bolivia, Argentina, India, Niger, Spain and United States. Comparative analyses of dorsal and pectoral-fin spines of fossil and extant catfishes reveal that the spines from the Bauru Group have rather generalized morphology with a blend of apparently plesiomorphic traits typical of Diplomystidae, Bachmanidae, Hypsoridae, Bagridae and Pimelodidae. These characteristics do not at this time allow a definitive assessment of their phylogenetic position and taxonomic placement beyond the level of order. However, morphological data clearly show multiple well-defined morphotypes (three dorsal spines and two pectoral spines), which indicate substantial diversity of catfishes during the Late Cretaceous from Bauru Group.

A more detailed and comparative study about the morphology of the dorsal and pectoral-fin spines in all the extant and fossil catfishes groups, using them as data for the construction of a phylogenetic tree, also further solving positional problems of these spines of Bauru Group and others (e.g., Bolivia, Argentina, India and Antarctica; Grande & Eastman, 1986; Cione, 1987; Gayet *et al.*, 2001) might along with the phylogenetic analysis of Siluriformes, also as key subjects in biogeography on all scales from regional to global.

7 ACKNOWLEDGEMENTS

We are indebted to Dr. José Luis Birindelli (MZUSP), Prof. Dr. Diogo de Mayrinck (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), Dr. Thiago da Silva Marinho and Prof. Dr. Leonardo Borghi (Universidade Federal do Rio de Janeiro) who critically read manuscript, gave us valuable suggestions and careful comments. Prof. Dr. Heraldo Britski (MZUSP) help us with relevant information respect for pectoral-fin species on catfishes. Prof. Dr. Leonardo Borghi and LAGESED (Laboratório de Geologia Sedimentar/ UFRJ) for the pictures by the stereoscopic microscope. Prof. Dr. Jorge Carvalho of LABMEL (Laboratório de Microscopia Eletrônica/Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes/ Universidade do Estado do Rio de Janeiro) help with Scanning Electron Microscope imaging. YMA thanks Letícia Melo Damas,

Erica Panachuck and André Oliveira for courteous and friendly assistance during his stay in São Paulo city. Financial support was provided by CAPES (to YMA) and CNPq (to M CCP, PMMB and LPB).

8 REFERENCE

- Azpelicueta, M.D.L.M., A. Cione. 2011. Redescription of the Eocene Catfish *Bachmannia chubutensis* (Teleostei: Bachmanniidae) of Southern of South America, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 31 (2): 258-269.
- Azpelicueta, M.D.L.M., A. Rubilar. 1998. A Miocene *Nematogenys* (Teleostei: Siluriformes: Nematogenyidae) from South-Central Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18(3): 475-483.
- Barcelos, J.H. 1984. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do estado de São Paulo. Unpublished Dissertation, Universidade Estadual Paulista de Rio Claro, Rio Claro, 190pp.
- Bertini, R.J., L.G. Marshall, M. Gayet, P. M. Brito. 1993. Vertebrate faunas from the Adamantina and Marília formations (Upper Bauru Group, late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 188 (1), 71-101.
- Briggs, J.C. 2005. The biogeography of otophysan fishes (Ostariophysi: Otophysi): a new appraisal. *Journal of Biogeography*, (2005):32, 287-294.
- Bosher, B. T., S.H. Newton, M.L. Fine. 2006. The spines of the Channel catfish, *Ictalurus punctatus*, as an anti-predator adaptation: an experimental study. *Ethology*, 112 (2006): 188-195.

- Buckmeier, D.L., E.R. Irwin, R.K. Betsill, J.A. Prentice. 2002. Validity of Otoliths and Pectoral Spines for Estimating ages of Channel catfish. *North American Journal of Fisheries Management*, 22: 934-942.
- Cione, A.L. 1987. The fishes; pp 111-120 in J.F. BONAPARTE (ed.) *The Late Cretaceous fauna from Los Alamos*. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales (Paleontología)*.
- Cione, A.L., G.V.R. Prasad. 2002. The oldest known catfish (Teleostei: Siluriformes) from Asia (India, Late Cretaceous). *Journal of Paleontology* 76 (1): 190-193.
- Pena, A.D., S. Soler-Gijón. 1995. The first siluriform fish from the Cretaceous-Tertiary boundary interval of Eurasia. *Lethaia*, 28: 345–346.
- Dias-Brito, D., E.A. Musacchio, J.C. Castro, M.S.A.S. Maranhão, J.M. Suárez, S. Rodrigues. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue Paleobiologie*, 20(1): 245-304
- .Eschemeyer, W.N., J.D. Fong. 2001. Species of Fishes by family/subfamily. Electronic Database accessible at <http://research.calacademy.org/redirect?url=http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Accessed November 2011.
- Fernandes, L.A., A.M. Coimbra. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia brasileira de Ciência*, 68 (2): 195-205.
- Fine, M.L., J.P. Friel, D. Mcelroy, C.B. King, K.E. Loesser., S. Newton. 1997. Pectoral spine locking and sound production in the channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Copeia*, 1997 (4): 777-79
- Fink, W.L., S.V. Fink. 1981. Interrelationships of the Ostariophysan Fishes (Teleostei). *Zoological Journal of the Linnean Society of London* 72:297–353.

- Frizzell, D., J. Koenig. 1973. Upper Cretaceous ostariophysine (*Vorhisia*) redescribed from unique association of utricular and lagenar otoliths (lapillus and asteriscus). *Copeia*, 1973:692–698.
- Garrido, A.E., A.M. Ferreira, A.J.V. Garcia. 1992. Estratigrafia e sedimentologia do Grupo Bauru em Peirópolis Município de Uberaba, Minas Gerais. *Revista da Escola de Minas*, 45: 112–114.
- Gayet, M., P.M. Brito. 1989. Ichtiofaune nouvelle du Crétacé supérieur du Groupe Bauru États de São Paulo et Minas Gerais, Brésil. *Geobios*, 22(6): 841-847.
- Gayet, M., F. Meunier. 1998. Maastrichtian to Early Late Paleocene Freshwater Osteichthyes of Bolivia: Additions and Comments; p. 85-110 in L.R. MALABARBA, R.E. REIS, R.P. VARI, Z.M. LUCENA, C.A. LUCENA (eds) *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Editora Pontificia Universidada Catolica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 85–110.
- Gayet, M., O. Otero. 1999. Analyse de la paléodiversification des Siluriformes (Osteichthyes, Teleostei, Ostariophysi). *Geobios*, 32, 2:235-246.
- Gayet, M., L.G. Marshall, T. Sempere, F.J. Meunier, H. Cappeta, J.C. Rage. 2001. Middle Maastrichtian vertebrates (fishes, amphibians, dinosaurs and other reptiles, mammals) from Pajcha Pata (Bolivia. Biostratigraphic, palaeoecologic and palaeobiogeographic implications) *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 169: 39-68.
- Gayet, M., W. Van Neer. 1990. Caractères diagnostiques des épines de quelques silures africains. *Journal of African Zoology* 104:241–252.
- Grande, L., J.T. Eastman. 1986. A review of Antarctic ichthyofaunas in the light of new fossil discoveries. *Palaeontology*, 29 (1986): 113-137

- Grande, L., M.C.C. Pinna. 1998. Descriptions of a second species of the catfish *Hypsidoris* and a reevaluation of the genus and the Family Hypsidoridae. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18:451–474.
- Hardman, M. 2002. The Phylogenetic Relationships among Extant Catfishes, with Special Reference to Ictaluridae (Otophysi: Siluriformes). Unpublished Ph.D. Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign. Urbana.
- Hardman, M. 2005. The phylogenetic relationships among non-diplomystid catfishes as inferred from mitochondrial cytochrome *b* sequences; the search for the ictalurid sister taxon (Otophysi; Siluriformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 37: 395-408.
- Hubbs, C.L., C.W. Hibbard. 1951. *Ictalurus lambda*, a new catfish, based on a pectoral spine from the Lower Pliocene of Kansas. *Copeia*, 1951(1): 8-14.
- Lundberg, J.G. 1997. Freshwater fish and their paleobiologic implications; pp. 68-91. in R.F. KAY, R.H. MADDEN, R.L. CIFELLI, J.J. FLYNN (eds.) *Vertebrate Paleontology in the Neotropics. The Miocene Fauna of La Venta, Colombia*, Smithsonian Institution Press, Washington.
- Lundberg, J.G. 1998. The temporal context for the diversification of neotropical fishes, p.49-68 in L.R. MALABARBA, R.E. REIS, R.P. VARI, Z.M. LUCENA, C.A. LUCENA, (eds). *Phylogeny and classification of Neotropical Fishes*, Porto Alegre, Edipucrs.
- Lundberg, J.G., J.P. Sullivan, R. Rodiles-Hernández, D.A. Hendrickson. 2007. Discovery of African roots for the Mesoamerican Chiapas catfish, *Lacantunia enigmatica*, requires an ancient intercontinental passage. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* , 156:39-53.

- Murray, A.M., G.M. Thewissen. 2008. Eocene Actinopterygian fishes from Pakistan, with the description of a new genus and species of channid (Channiformes). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28(1): 41-52.
- Otero, O., M. Gayet. 2001. Palaeoichthyofaunas from the Lower Oligocene and Miocene of Arabian Plate: palaeocological and palaeobiogeographical implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 165 (2001): 141-169.
- Patterson, C. 1993. Osteichthyes: Teleostei, p. 621-656 in M.J. BENTON, M.J. (ed), *The Fossil Record 2*, Chapman and Hall, London.
- Pinna, M.C.C. 1993. Higher-level phylogeny of Siluriformes, with a new classification of the order. Ph.D. Dissertation, City University of New York, NY.
- Pinna, M.C.C. 1998. Phylogenetic relationships of Neotropical Siluriformes (Teleostei: Ostariophysi): historical overview and synthesis of hypotheses; pp. 279–330 in L.R. MALABARBA, R.E. REIS, R.P. VARI, Z.M. LUCENA, C.A. LUCENA (eds.), *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil.
- Pinton, A., E. Fara, O. Otero. 2006. Spine anatomy reveals the diversity of catfish through time: a case study of *Synodontis* (Siluriformes). *Naturwissenschaften*, 93: 22-26
- Suguio, K., J.H. Barcelos. 1983. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: petrology and geological significance. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo* 14, 31–47.
- Sullivan, J.P., J.G. Lundberg, M. Hardman. 2006. A phylogenetic analysis of the major groups of catfishes (Teleostei: Siluriformes) using *rag1* and *rag2* nuclear gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41 (2006): 636-662.
- Vari, R., C.J. Ferraris Jr, P.C.C. Pinna. 2005. The Neotropical whale catfishes (Siluriformes: Cetopsidae: Cetopsinae): a revisionary study. *Neotropical Ichthyology*, 3(2):127-238.

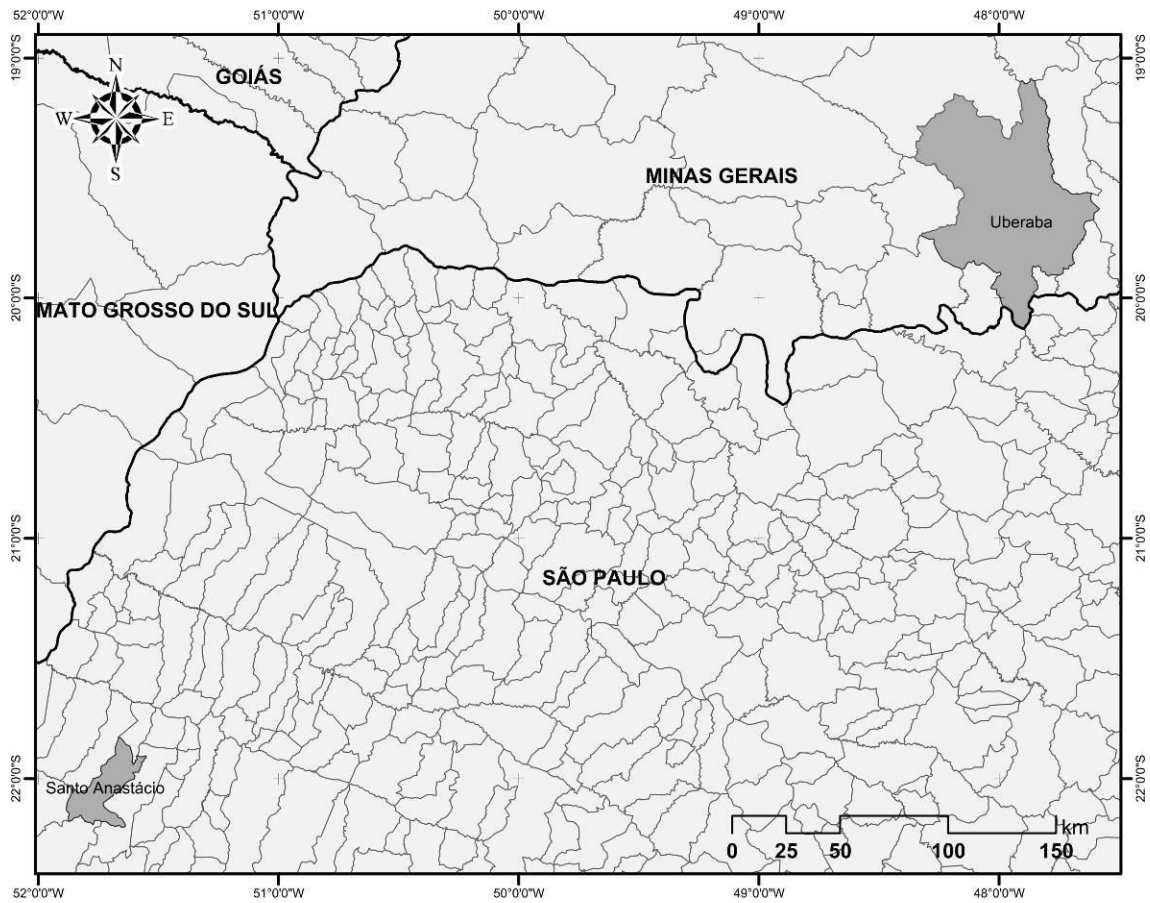


Figure 1. Location map of Imunicipalities: loc. 99 in Santo Anastacio area, São Paulo state; and km 24 in Uberaba area, Minas Gerais, state), Brazil.

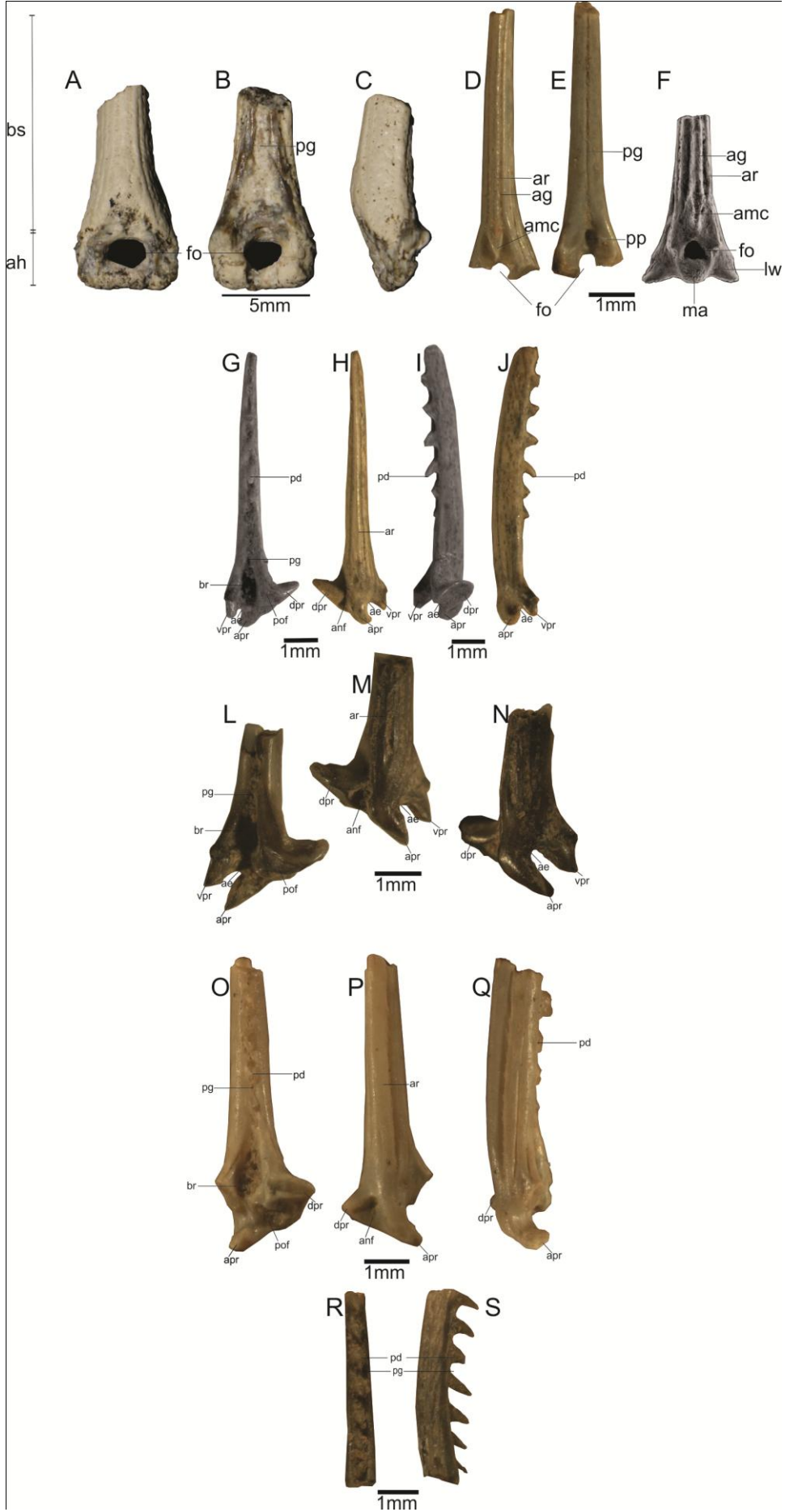


Figure 2. Catfishes dorsal and pectoral spines of Bauru Group. A-C. UERJ-PMB 09 dorsal spine of Siluriformes morphotype one in anterior (A), posterior (B) and lateral (C) views. D-E. UERJ-PMB12, dorsal spine of Siluriformes morphotype two in anterior (D) and posterior views. F. UERJ PMB 13, dorsal spine of Siluriformes morphotype three in anterior view (F). G-J. UERJ-PMB 10, pectoral spine of Siluriformes morphotype one in posterior (G), anterior (H), lateral (I and J) views. L-N. UERJ-PMB 14, pectoral spine of Siluriformes morphotype two in posterior (L), anterior (M) and lateral (N) views. O-Q. UERJ-PMB 11, pectoral spine of Siluriformes morphotype two in posterior (O), anterior (P), and lateral (Q) views. R and S. UERJ-PMB 15, distal portion of pectoral spine of Siluriformes in posterior (R) and lateral (S) views.

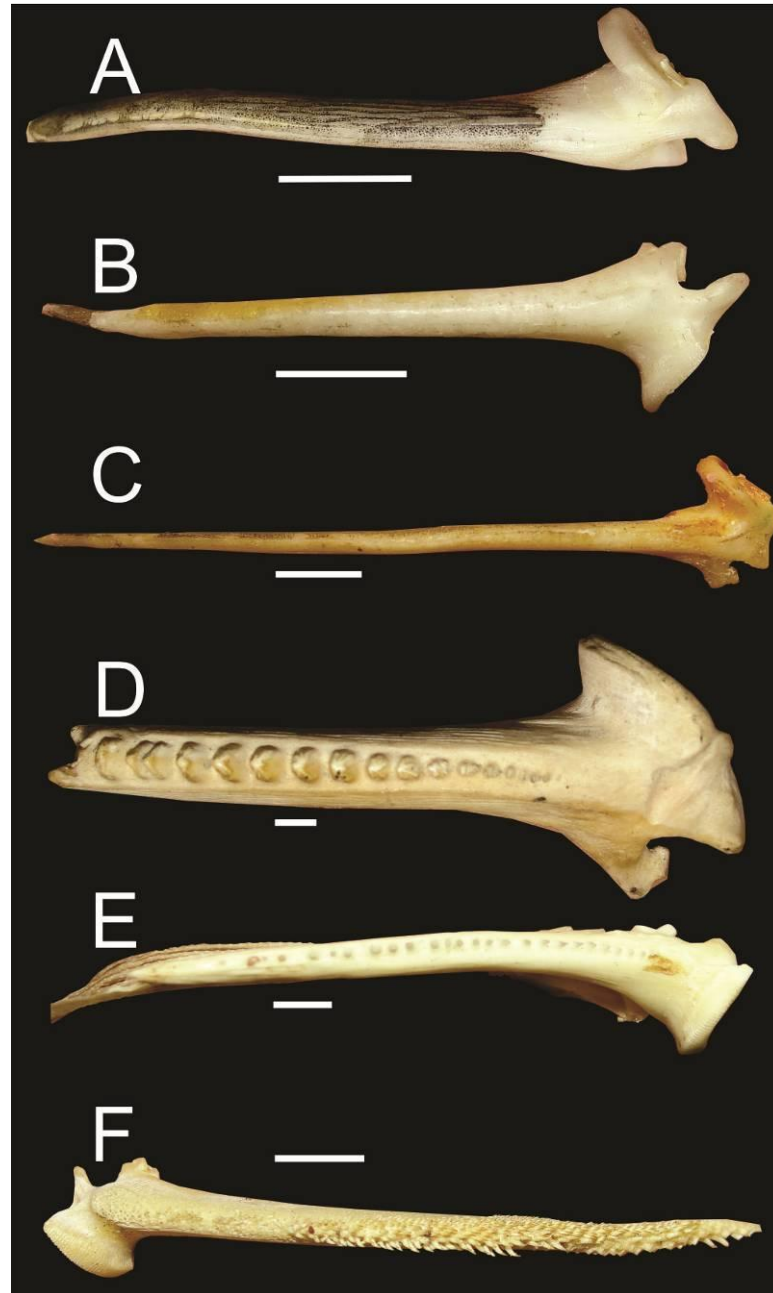


Figure 3. Extant catfishes pectoral spines for comparison in anterior view (scale bar 5 mm): A. *Ictalurus punctatus* (MZUSP 103256); B. *Diplomystes camposensis* (MZUSP 88533); C. *Pimelodus cf. blochii* (MZUSP 91663); D. *Opsodoras humeralis* (MZUSP 19306); E. *Clarias sp.* (MZUSP 91656); F. *Hypostomus cochliodon* (MZUSP 96327).



Figure 4. Extant catfishes pectoral spines for comparison in posterior view (scale bar 5 mm): A. *Ictalurus punctatus* (MZUSP 103256); B. *Diplomystes camposensis* (MZUSP 88533); C. *Pimelodus cf. blochii* (MZUSP 91663); D. *Opsodoras humeralis* (MZUSP 19306); E. *Hypostomus cochliodon* (MZUSP 96327).

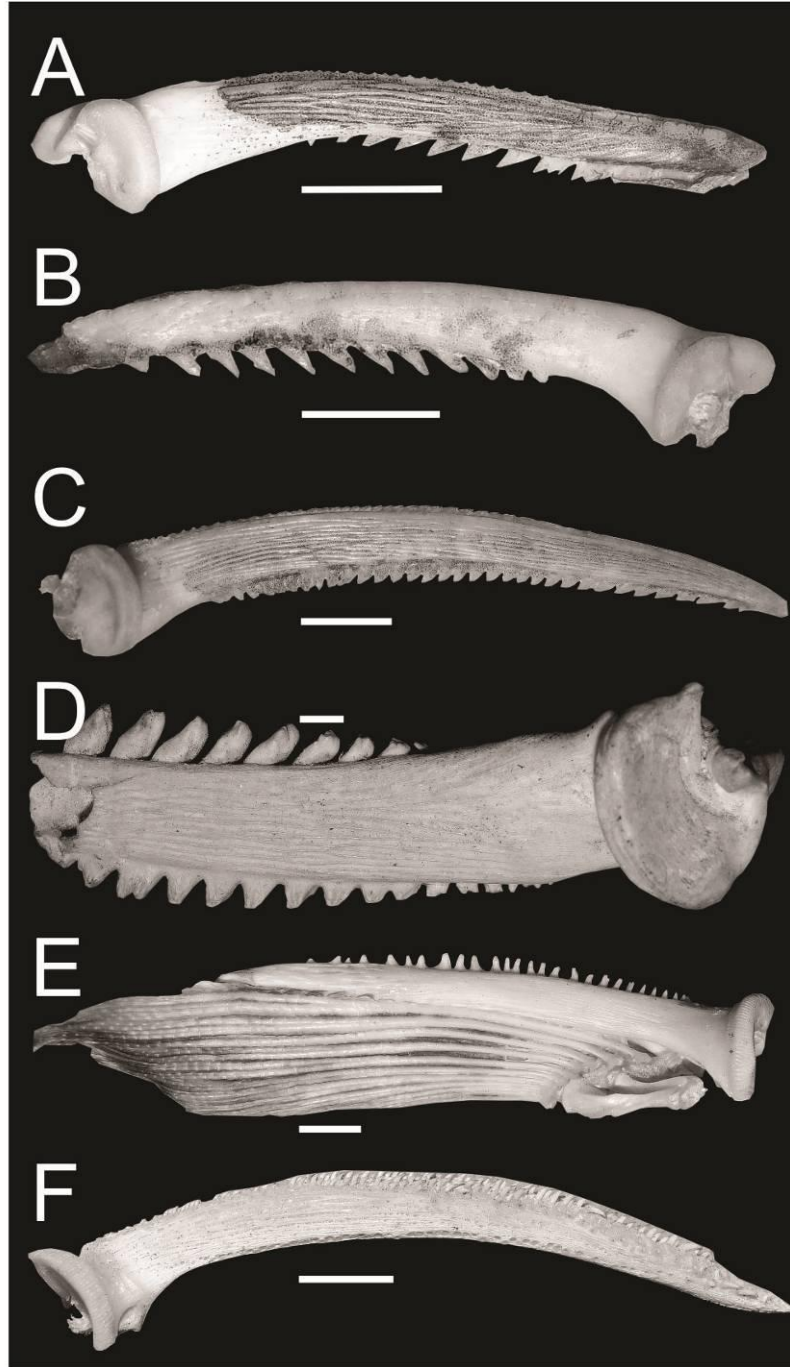


Figure 5. Extant catfishes pectoral spines for comparison in lateral view (dorsal process side) (scale bar 5 mm): A. *Ictalurus punctatus* (MZUSP 103256); B. *Diplomystes camposensis* (MZUSP 88533); C. *Pimelodus cf. blochii* (MZUSP 91663); D. *Opsodoras humeralis* (MZUSP 19306); E. *Clarias sp.* (MZUSP 91656); F. *Hypostomus cochlodon* (MZUSP 96327).

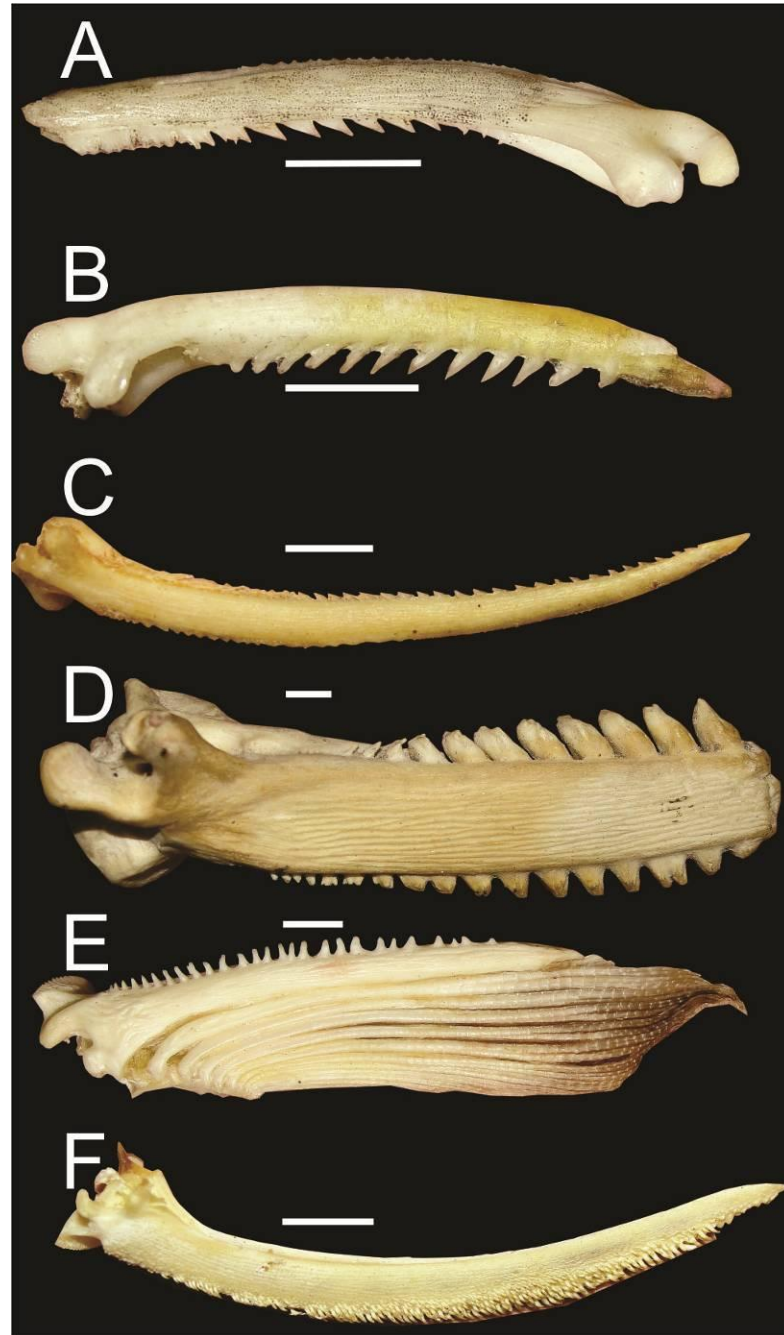


Figure 6. Extant catfishes pectoral spines for comparison in lateral view (anterior and posterior processes side) (scale bar 5 mm): A. *Ictalurus punctatus* (MZUSP 103256); B. *Diplomystes camposensis* (MZUSP 88533); C. *Pimelodus cf. blochii* (MZUSP 91663); D. *Opsodoras humeralis* (MZUSP 19306); E. *Clarias sp.* (MZUSP 91656); F. *Hypostomus cochliodon* (MZUSP 96327).

Table 1. List of the catfishes studied.

SPECIMEN	IDENTIFICATION	MATERIALS	LOCALITY
UERJ-PMB 09	morphotype one	dorsal spine	Uberaba outcrop
UERJ-PMB 12	morphotype two	dorsal spine	Santo Anastacio outcrop
UERJ-PMB 13	morphotype three	dorsal spine	Santo Anastacio outcrop
UERJ-PMB 10	morphotype one	pectoral spine	Uberaba outcrop
UERJ-PMB 14	morphotype two	pectoral spine	Santo Anastacio outcrop
UERJ-PMB 11	morphotype two?	pectoral spine	Uberaba outcrop
UERJ-PMB 15	Siluriformes indet.	pectoral spine	Santo Anastacio outcrop

Table 2. List of principal catfish families interrelating presence or absence of pectoral and dorsal spines.
 *absence of both pectoral and dorsal spines; **presence of only pectoral spines; Pangasiidae and Plotosidae present two dorsal spines.

FAMILY	SPINES	
	DORSAL	PECTORAL
Ankysidae	Present	present
Amplyptidae	Present	present
Amphioliidae*	Absent	absent
Andinichthyidae	Unknown	present
Ariidae	Present	present
Aspredinidae**	Absent	present
Astroblepidae	Present	present
Auchenipteridae	Present	present
Austroglanididae	Present	present
Bagridae	Present	present
Callichthyidae	Present	Present
Cetopsidae*	Absent	absent*
Chacidae	Present	Present
Clariidae**	Absent	Present
Claroteidae	Present	Present
Clanoglanididae	Present	Present
Diplomystidae	Present	Present
Doradidae	Present	Present
Erethistidae	present*	Present
Heteropneustidae**	Absent	Present

Hypsidoridae	Present	Present
Ictaluridae	Present	Present
Loricariidae	Present	Present
Malapteruridae **	Absent	Absent
Mochokidae	Present	Present
Nematogenyidae **	Absent	Present
Pangasiidae	present**	Present
Pimelodidae	Present	Present
Plotosidae	present**	Present
Schilbidae	Present	Present
Scoloplacidae	Present	Present
Siluridae	Present	Present
Sisoridae	Present	Present
Trichomycteridae*	Absence	Absence

Table 3. Comparative table of diagnostic features among pectoral spines of several families of catfishes.

Features		Bauru pectoral spine	Diplomystidae	Ictaluridae	Pimelodidae
Anterior edge		well definite rigde without dentations	well definite rigde without dentations	denticles on definite rigde	dentations antrorse on definite rigde
Posterior edge	Posterior dentations	Present	Present	Present	present
	posterior groove	Present	Absent	Present	absent
	direction of dentations	Retrorse	Retrorse	Retrorse	retrorse
	shape of dentations	hocked with spaced U-like	hocked and well near	hocked with spaced U-like	hocked and well near
	lenght of dentations	Enlarged	Enlarged	Enlarged	enlarged
basal recess		elipsoidal deep	elipsoidal deep	elipsoidal deep	elipsoidal shallow
Lateral edge	Dorsal process	edge transverselly	narrowed and rounded transversely	narrowed and rounded transversely	little deep furrows transversely
		radial striae	present like little punctations uniform	present like little punctations uniform	Absent

Continue Table 3. Comparative table features among pectoral spines of several families of catfishes.

Features		Bagridae	Aspredinidae	Auchenipteridae
Anterior edge		lateral denticles on edge of longituginal groove	dentations retrorse inside on longituginal groove	dentations antrorse inside on longituginal groove
Posterior edge	Posterior dentations	Present	Present	present
	posterior groove	Present	Present	present
	direction of dentations	Retrorse	retrorse and antrorse	retrorse
	shape of dentations and proximity	hocked with spaced U-like	hocked with very spaced between them	hocked and well near
	lenght of dentations	Enlarged	Enlarged	enlarged
	basal recess	elipsoidal shallow	elipsoidal shallow	like-pore foramen
Lateral edge	Dorsal process	Edge transverselly	Little deep furrows transverselly	Narrowed and rounde transversely
		Radial striae	Present like little punctations uniform	Absent

Continue Table 3. Comparative table of diagnostic features among pectoral spines of several families of catfishes.

Features			Clariidae	Loricariidae	Doradidae
Anterior edge			dentations erect inside on longitudinal groove	several dentation without a pattern definite	rounded claw-like and with spaced between them
Posterior edge	Posterior dentations		Present	Present	present
	posterior groove		Absent	Absent	present
	direction of dentations		Retrorse	Erect	retorse
	shape of dentations and proximity		knee-like very well spaced between them	several conicle dentation without a pattern definite	rounded claw-like and with spaced between them
	length of dentations		Enlarged	Normal	robust
	basal recess		like-pore forâmen	elipsoidal deep	like-pore foramen
Lateral edge	dorsal process	edge transverselly	flat band transverselly	flat band transverselly	flat band transverselly
		radial striae	present like bracket laminations parallel to the border	present like bracket laminations parallel to the border	Absent