



<http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3905.3.5>

<http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:6345CB5A-F4CE-4791-BE92-E77206BDDE0F>

A new species of *Equinoxiodus* (Dipnoi: ?Neoceratodontidae) from the Late Cretaceous of Brazil

ELIANE PINHEIRO DE SOUSA¹, MANUEL ALFREDO MEDEIROS²,
CARLOS EDUARDO VIEIRA TOLEDO³, REINALDO J. BERTINI⁴,
AGOSTINHA ARAÚJO PEREIRA⁵ & RAFAEL MATOS LINDOSO⁶

¹Departamento de Biologia, Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, CEP: 65055-970 São Luís, MA, Brazil. E-mail: elianepsousa@yahoo.com.br

²Departamento de Química e Biologia, Universidade Federal do Maranhão, Campus do Bacanga, CEP: 65.085-580, São Luís, Maranhão, Brazil. E-mail: manuel.alfredo@ufma.br

³USP/IGC/GSA, Rua do Lago / 562, Cidade Universitária, Butantã, CEP: 05.508-080, São Paulo, Brasil. E-mail: caetoleto@hotmail.com

⁴UNESP/IGCE/DGA/NEPV, Av. 24 A, 1515, Campus Rio Claro, Bairro Bela Vista, CP 178, CEP: 13.506-900, Rio Claro, São Paulo, Brazil. E-mail: rbertini@rs.unesp.br

⁵Centro de Pesquisa de História Natural e Arqueologia do Maranhão, Rua do Giz, 59, Centro, CEP: 65010-680, São Luís, Maranhão, Brazil. E-mail: agostinhap@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, RJ 21.949-900, Cidade Universitária-Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, Brazil. E-mail: rlindoso@ufrj.br

Correspondence should be sent to E.S. PINHEIRO: Departamento de Química e Biologia, Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, CEP: 65055-970 São Luís, MA, Brazil. E-mail: elianepsousa@yahoo.com.br

Abstract

A noteworthy diversity of Dipnoi tooth plates has been collected in the fossiliferous conglomerates of the Alcântara Formation, early Cenomanian (Cretaceous) of Brazil. This sequence was deposited under transitional (estuarine) conditions, gathering reworked dissociated fossils represented by plants, fishes, crocodylomorphs, pterosaurs and dinosaurs. A new species of Dipnoi is reported in this work, *Equinoxiodus schultzei* sp. nov. whose genus is endemic of northern South America and lived probably in fresh water. The presence of several species of dipnoan in the mid-Cretaceous of north/northeastern Brazil indicates that the environmental conditions were very suitable to this group, confirming the well-marked seasonality of the climate, with frequent prolonged droughts, as interpreted in previous publications.

Key words: Dipnoiformes, Neoceratodontids, *Equinoxiodus schultzei*, Cretaceous

Introduction

The Cretaceous sequences of the Itapecuru Group extends over northern Maranhão State, covering an extensive area inland and on the shore along the region of the Maranhão Gulf, northeastern Brazil (Fig. 1A,B). Dating using palynomorphs biozones revealed that Albian and early Cenomanian deposits are well represented in these sedimentary sequences (Pedrão *et al.* 1993a, b, c). Numerous continental fossils have been recovered yielding much information about northeastern South American environment, climate, and faunas when western Gondwana was breaking apart. The Alcântara Formation is a Cenomanian sequence of the Itapecuru Group and crops out in the costal cliffs of the São Marcos Bay, exposing sandstones, mudstones, limestones and conglomerates deposited under an estuarine and shallow marine environment (Rossetti & Truckenbrodt 1997).

Thus far the most important information regarding the continental Cenomanian northern/northeastern Brazil comes from the fossil assemblage collected at the Laje do Coringa site, Cajual Island, Alcântara Formation, northern Maranhão State (Fig. 1B).

The site at Cajual Island has yielded thousands of bones and teeth of dinosaurs, crocodiles, pterosaurs, and

References

- Agnolin, F. (2010) Novas espécies do gênero *Atlantoceratodus* (Dipnoi: Ceratodontoidei) do Neocretáceo da Patagônica com uma breve revisão dos fósseis de dipnoicos do Cretáceo e Paleógeno da América do Sul. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium*, 1, 162–210.
- Ameghino, F. (1899) Censo Nacional de la Republica Argentina. *Sinopsis Geológica-Paleontológica de La Argentina*, 1–13. [La Plata]
- Ameghino, F. (1906) Las formaciones sedimentarias del Cretacé Superior et du Tertiaire du Patagonie, avec un parallèle entre leur faunes mammalogiques et celles de l'ancien continent. *Anales del Museo Nacional de Historia Natural de Buenos Aires* 15, 1–568.
- Amiot, R., Wang, X., Lécuyer, C., Buffetaut, E., Boudad, L., Cavin, L., Ding, Z., Fluteau, F., Kellner, A.W.A., Tong, H. & Zhang, F. (2010) Oxygen and carbon isotope compositions of middle Cretaceous vertebrates from North Africa and Brazil: Ecological and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 297, 439–451. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.08.027>
- Apesteguía, S., Agnolin, F. & Claeson, K. (2007) Review of Cretaceous dipnoans from Argentina (Sarcopterygii: Dipnoi) with descriptions of new species. *Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 9, 27–40.
- Aranha, L.G., Lima, H.P., Souza, J.M.P. & Makino, R.K. (1990) Origem e evolução das bacias de Bragança Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: Gabaglia, G.P.R. & Milani, E.J. (Eds.), *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. PETROBRAS, Rio de Janeiro, pp. 221–233.
- Araújo, K.C.O., Sommer, M.G., Medeiros, M.A.A., Girnos, E.C. & Schimdt, I.D. (2011) Lenhos de Coníferas do Mesocretáceo do Norte do Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 14, 29–38. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2011.1.03>
- Bertini, R.J., Marshall, L.G., Gayet, M. & Brito, P. (1993) Vertebrate faunas from the Adamantian and Marília formations (Upper Bauru Group, Late Cretaceous, Brazil) in their stratigraphic and paleobiogeographic context. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 188, 71–101.
- Castro, D.F., Toledo, C.E.V., Sousa, E.P. & Medeiros, M.A. (2004) Novas ocorrências de *Asiatoceratodus* (Osteichthyes, Dipnoiformes) na Formação Alcântara, Eocenomaniano da bacia de São Luís, MA, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7, 245–248. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2004.2.18>
- Cavin, L. & Dutheil, D.B. (1999) A new Cenomanian ichthyofauna from southeastern Morocco and its relationships with other early Late Cretaceous Moroccan faunas. *Geologie en Mijnbouw*, 78, 261–266.
- Cavin, L., Suteethorn, 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. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1096-3642.2007.00238.x>
- Cavin, L., Tong, H., Boudad, L., Meister, C., Piuze, A., Tabouelle, J., Aarab, M., Amiot, R., Buffetaut, E., Dyke, G., Hua, S. & Le Loeuff, J. (2010) Vertebrate assemblages from the early Late Cretaceous of southeastern Morocco: An overview. *Journal of African Earth Sciences*, 57, 391–412. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.12.007>
- Churcher, C.S. (1999) A note on the Late Cretaceous vertebrate fauna of the Dakhleh Oasis. In: Churcher, C. S. & Mills, A. J. (Eds.), *The Dakhleh Oasis Project: Reports from the Survey of Dakhleh Oasis, western desert of Egypt, 1977-1987*. Oxbow Books, Oxford, pp. 55–67.
- 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. *Palaeontology*, 44, 305–323. <http://dx.doi.org/10.1111/1475-4983.00181>
- Churcher, C.S., De Iuliis, G. & Kleindienst, M.R. (2006) A new genus for the dipnoan species *Ceratodus tuberculatus* Tabaste, 1963. *Geodiversitas*, 28, 635–647.
- Cione, A.L., Gouirie, 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*, 10, 1–12.
- Corrêa-Martins, F.J. (1997) A Laje do Coringa: um bone-bed da Formação Itapecuru (Cretáceo Superior da Bacia de São Luís – MA). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 63, 436–437.
- Cunha, F.L.S. & Ferreira, C.S. (1980) *Um dipnoi na Formação Itapecuru (Cenomaniano), Maranhão, Brasil*. Congresso Argentino de Paleontologia y Bioestratigrafía, 2. Buenos Aires, pp. 1–9.
- Dutra, M.F.A. & Malabarba, M.C. (2001) Peixes do Albiano-Cenomaniano do Grupo Itapecuru no Estado do Maranhão, Brasil. In: Rossetti, D.F., Góes, A.M. & Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo da Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, Belém, pp. 191–208.
- Gayet, M. & Brito, P.M. (1989) Ichthyofaune nouvelle du Crétacé Supérieur du Groupe Bauru (états de São Paulo et Minas Gerais, Brésil). *Geobios*, 22, 841–847. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-6995\(89\)80075-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-6995(89)80075-0)
- Góes, A.M. & Feijó, F.J. (1994) A Bacia do Parnaíba. *Boletim Geociências Petrobras*, 8, 57–67.
- Góes, A.M. & Rossetti, D.F. (2001) Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio Norte do Brasil. In: Rossetti, D.F., Góes, A.M.

- & Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, Belém, pp. 15–29.
- Holz, M. (2003) Sequence stratigraphy as a tool for vertebrate taphonomy – an example from a Late Cretaceous dinosaur taphocenosis from São Luís basin, Northern Brazil. *Latin-American Congress of Sedimentology*, 3 (2003), 213–214. [Abstracts. Museu Emílio Goeldi, Belém]
- Kemp, A. (1998) Skull structure in post-Paleozoic lungfish. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18, 43–63. <http://dx.doi.org/10.1080/02724634.1998.10011033>
- Klein, V.C. & Ferreira, C.S. (1979) Paleontologia e Estratigrafia de uma fácies estuarina da Formação Itapecuru, Estado do Maranhão. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 51, 523–533.
- Martin, M. (1979) *Arganodus atlantis* et *Ceratodus arganensis*, deux nouveaux Dipneustes du Trias supérieur continental marocain. *Comptes Rendus de l'Académie des Science Paris, Series D*, 289, 89–92.
- Martin, M. (1981) Les Ceratodontiformes (Dipnoi) de Gadoufaoua (Aptien supérieur, Niger). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle* 4^e Sér, 267–283.
- Martin, M. (1984a) Deux Lepidosirenidae (Dipnoi) crétacés du Sahara, *Protopterus humei* (Priem) et *Protopterus protopteroideus* (Tabaste). *Paläontologische Zeitschrift*, 58, 265–277. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02986065>
- Martin, M. (1984b) Révision des Arganodontidés et des Néocératodontidés (Dipnoi, Ceratodontiformes) du Crétacé africain. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 169, 225–260.
- Medeiros, M.A., Lindoso, R.M., Mendes, I.D. & Carvalho, I.D.S. (2014) The Cretaceous (Cenomanian) continental record of the Laje do Coringa flagstone (Alcântara Formation), northeastern South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 53, 50–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2014.04.002>
- Medeiros, M.A. & Schultz, C.L. (2001) Uma paleocomunidade de vertebrados do Cretáceo médio, bacia de São Luís. In: Rossetti, D.F., Góes, A.M. & Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, Belém, Brasil, pp. 209–221.
- Medeiros, M.A. & Schultz, C.L. (2002) A fauna dinossauriana da Laje do Coringa, Cretáceo Médio do Nordeste do Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, 60, 155–162.
- Miles, R.S. (1977) Dipnoan (lungfish) skulls and the relationships of the group: a study based on new species from the Devonian of Australia. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 61, 1–328. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1096-3642.1977.tb01031.x>
- Müller, J. (1845) Über den Bau und die Grenzen der Ganoiden und das natürliche System der Fische. *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1845, 117–216. [for 1844]
- Pascual, R. & Bondesio, P. (1976) Notas sobre vertebrados de la frontera cretácica-terciaria. III: Ceratodontidae (Peces Osteichthyes, Dipnoi) de la Formación Coli-Toro y de otras unidades del Cretácico Tardío de Patagonia y sur de Mendoza. Sus implicancias paleobiogeográficas. *Actas del VI Congreso Geológico Argentino*, 565–577.
- Pedraza, E., Arai, M., Barrilari, I.M.R. & Carvalho, I.S. (1993a) *Análise palinológica de uma amostra de superfície de Querru (Formação Itapecuru), Município de Itapecuru Mirim-MA*. Petrobras, Relatório Técnico, Rio de Janeiro, 11 pp.
- Pedraza, E., Arai, M., Carvalho, I.S. & Ferreira, C.S. (1993b) *Palinómorfos de sedimentos albianos (Formação Itapecuru) da Bacia do Parnaíba*. Petrobras, Relatório Técnico, Rio de Janeiro, 13 pp.
- Pedraza, E., Arai, M., Carvalho, I.S. & Santos, M.H.B. (1993c) *Palinómorfos da Formação Itapecuru - análise palinológica de uma amostra de superfície da Ponta do Farol, São Luís - MA*. Petrobras, Relatório Técnico1, Rio de Janeiro, 10 pp.
- Pereira, A.A. & Medeiros, M.A. (2008) A new sclerorhynchiform (Elasmobranchii) from the middle Cretaceous of Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11, 207–212. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2008.3.07>
- Peyer, B. (1925) Die Ceratodus-Funde. In: *Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltier-Reste der Baharije-Stufe (unterstes Cenoman)*. - *Abhandlungen Bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse*, pp. 1–23.
- 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. *Geological Society London Special Publications*, 295, 43–54. <http://dx.doi.org/10.1144/sp295.4>
- Romer, A.S. (1955) Herpetichthyes, Amphibioidei, Choanichthys or Sarcopterygii. *Nature*, 176, 126. <http://dx.doi.org/10.1038/176126a0>
- Rossetti, D.F. (2001) Arquitetura deposicional da Bacia de São Luís-Grajaú. In: Rossetti, D.F., Góes, A.M., & Truckenbrodt, W. (Eds.), *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, Belém, Brasil, pp. 31–46.
- Rossetti, D.F. & Toledo, P.M. (1996) Cenomanian climate in northern Brazil: evidences from sedimentary features in the Upper Itapecuru Formation. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 68, 139–147.
- Rossetti, D.F. & Truckenbrodt, W. (1997) Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário Inferior(?) na Bacia de São Luís (MA), norte do Brasil. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)*, 9, 29–41.
- Schultze, H.P. (1991) Lungfish from the El Molino (Late Cretaceous) and Santa Lucia (Early Paleocene) formations in southcentral Bolivia. *Revista Técnica YPPFB*, 12, 441–448.

- Silva, V.G. & Azevedo, S.A.K. (1996) Um dipnóico da Formação Brejo Santo, Jurássico da Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, 64, 419–420.
- Soto, M. & Perea, D. (2010) Late Jurassic lungfishes (Dipnoi) from Uruguay, with comments on the systematics of Gondwanan ceratodontiforms. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30, 1049–1058.
<http://dx.doi.org/10.1080/02724634.2010.483540>
- Sousa, E.P., Medeiros, M.A., Toledo, C.E.V. & Bertini, R.J. (2009) *The paradise of the Brazilian Cretaceous Dipnoiformes*. XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia, pp. 220.
- Tabaste, N. (1963) Études de restes de poissons du Cretacé saharien. *Mémoire de l'Institut Français d' Afrique Noire (Unpublished)*, *Mélanges Ichthyologiques*, 68, 436–485.
- Toledo, C.E.V., Bertini, R.J., Sousa, E.P. & Medeiros, M.A. (2005) First occurrence of *Protopterus humei* (Dipnoiformes) in South America. *Congresso Latino-Americano de Paleontologia de Vertebrados*, 2, pp. 262–263. [Museu Nacional, Rio de Janeiro]
- Toledo, C.E.V., Sousa, E.P., Medeiros, M.A. & Bertini, R.J. (2011) A new genus of Dipnoiformes from the Cretaceous of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83, 1181–1192.
<http://dx.doi.org/10.1590/s0001-37652011000400006>
- Vorobyeva, E.I. & Obruchev, D.V. (1964) Subclass Sarcopterygii. In: Orlov, Y.A. (Ed.) *Osnovy paleontologii. Vol. XI Agnatha, Pisces*. Doklady Akademii Nauk SSSR, Moscow, Russia, pp. 268–322.