

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 15/03/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” -

FACULDADE DE CIÊNCIAS - CAMPUS BAURU

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO

**Morfometria linear e esclerocronologia como ferramentas
paleoambientais aplicadas nos braquiópodes devonianos da Bacia
do Paraná**

BAURU /SP

2024

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO

**Morfometria linear e esclerocronologia como ferramentas
paleoambientais aplicadas nos braquiópodes devonianos da Bacia
do Paraná**

Documento de Defesa apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru, para a obtenção do título de Doutor em Biociências (Área de Conhecimento: Caracterização e Aplicação da Diversidade Biológica)

Orientador: Dr. Renato Pirani Ghilardi

Co-Orientadora: Dra. Silane Aparecida Ferreira da Silva Caminha

Bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 88887.485579/2020-00

BAURU

2024

R484m Ribeiro, Victor Rodrigues
Morfometria linear e esclerocronologia como ferramentas
paleoambientais aplicadas nos braquiópodes devonianos da
Bacia do Paraná / Victor Rodrigues Ribeiro. -- Bauru, 2024
125 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências, Bauru
Orientador: Renato Pirani Ghilardi
Coorientadora: Silane Aparecida Ferreira da Silva Caminha

1. Devoniano. 2. Bacia do Paraná. 3. Morfometria Linear. 4.
Esclerocronologia. 5. Braquiópode. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Bauru. Dados
fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE VICTOR RODRIGUES RIBEIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 15 dias do mês de março do ano de 2024, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de VICTOR RODRIGUES RIBEIRO, intitulada **Morfometria linear e esclerocronologia como ferramentas paleoambientais aplicadas nos braquiópodes devonianos da Bacia do Paraná**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. RENATO PIRANI GHILARDI (Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências - Unesp Bauru, Prof. Dr. DANIEL SEDORKO (Participação Virtual) do(a) Museu Nacional / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Profa. Dra. CAROLINA ZABINI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Geologia e Recursos Naturais / Universidade Estadual de Campinas, Profa. Dra. JULIANA DE MORAES LEME BASSO (Participação Virtual) do(a) Instituto de Geociências / Universidade de São Paulo, Prof. Dr. SANDRO MARCELO SCHEFFLER (Participação Virtual) do(a) Museu Nacional / Universidade Federal do Rio de Janeiro. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. RENATO PIRANI GHILARDI



Documento assinado digitalmente

RENATO PIRANI GHILARDI

Data: 11/04/2024 15:35:40-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dedico este trabalho à minha mãe, Ivani
Maria Rodrigues; meu avô Elídio Rodrigues
da Costa e aos meus irmãos, Rafael
Rodrigues Ribeiro e Gustavo Rodrigues
Ribeiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Zambi, aos Orixás e aos Guias que me conduzem nesta vida.

Agradeço a minha mãe, meu avô, meus irmãos, meus sobrinhos, Rafaela Soares e Erik Soares, que foram minha força diária neste processo de construção.

Aos meus amigos de longa data Igor Soares, Fernanda Bretas, Carla Tavares, Maria Nunes, Gabriela Villani, Tiago Braga, Káh Dâmaso, Rafael Marçal, Pedro Sávio Vaz, Matheus Apolinário e Yohan Kohnert que compreenderam minha ausência durante esses anos.

Aos amigos que fiz em Bauru, Alinie Souza, Renato Figueiredo, Rogério Taconha, Felipe Dahora, Douglas Moreira e Alisson Gogoi que fizeram desta caminhada mais suavidade. Aos amigos do Crossfit, Gabriela Deus, Guilherme Vidotte, Letícia Furtado, Bárbara Peres, Danilo Henrique de Oliveira Santos e Guilherme Mogione de Assis pela parceria, descontração e por me impedir de surtar. Aos Drs. Caio Nogueira, Dr. Rafael de Carvalho e Ma. Milena Jaconis, irmãos nestes anos, compartilhando histórias e me apresentando outras áreas da ciência.

Agradeço ao Governo Federal Brasileiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – pelo financiamento da minha bolsa de pesquisa (88887.483986/2020-00). Igualmente, ao estado de São Paulo e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento do projeto proposto pelo meu orientador (2020/12409-4).

Também agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências - Campus Bauru, Universidade Estadual de Ponta Grossa - Campus Uvaranas, Universidade Vale do Rio dos Sinos - Campus São Leopoldo, Universidade Federal de Mato Grosso - Faculdade de Geociências - Campus Cuiabá, por terem disponibilizado suas coleções científicas.

Aos amigos do LAPALMA (Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados), Gabriel Silvério, Silvio Limeira Júnior, Paulo Kano, Débora Baumann e Maurício da Silva pelo companheirismo. Em especial ao Me. Felipe Sousa, que foi muito mais que um amigo durante esse processo, se transformou num irmão. Felps, obrigado pela força nesses anos, escutando minhas histórias, lamurias, frustrações e alegrias, certamente com você a caminhada ficou muito mais leve.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Pirani Ghilardi, que confiou em mim durante esses anos, me mostrou uma ciência de qualidade e abriu diversas portas. Devo agradecer também por todos os campos que me convidou, se não fosse isso eu não teria conhecido o Devoniano de quase todas as bacias sedimentares brasileiras. Professor, muito obrigado pelos dias intensos de trabalho, café e risadas, conviver com o senhor desde 2018 foi uma honra.

Aos demais professores e pesquisadores que contribuíram nesta caminhada, Dr. Daniel Sedorko, Me. Geovanne Gaia, Dr. Rodrigo Horodsyki, Dr. Fábio Carbonaro, Dr. Willian Matsumura, Dra. Jeanninny Carla Comniskey, Dra. Elizabeth Dowding, Dra. Silane Caminha, Dr. Carlos D'Apólito e ao Dr. Hermínio Ismael de Araújo Júnior, meu muito obrigado.

Por fim, agradeço à Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP), a qual eu tive o prazer de compor a Diretoria de 2018 a 2023, me apresentando pessoas e auxiliando na luta pela manutenção do patrimônio fóssil brasileiro.

“Não existe presente sem passado”

Caboclo Sete Flechas

RESUMO

Durante o Devoniano, a Gondwana ocupava regiões próximas do pólo sul geográfico, onde as condições climáticas oscilavam entre as localidades. As correntes marítimas eram distintas, contando com uma zona de ressurgência na costa oeste sul-americana que conduzia águas frias para as regiões equatoriais do oceano Paleo-Tethys, isolando assim os mares epicontinentais da Gondwana. O uso cronoestratigráfico de conodontes, quitinozoários, peixes placodermos, palinórmorfos, graptólitos e dacrioconarídeos ajudam no estabelecimento de eventos evolutivos e paleoclimáticos na América do Norte, na Europa e na China. Porém na América do Sul, principalmente nas bacias interiores brasileiras, esses registros paleontológicos são dificilmente reconhecidos no Devoniano. Assim, este trabalho utiliza da morfometria linear e esclerocronologia para averiguar como a fauna de braquiópodes (*Australocoelia* e *Orbiculoidea*) se comportou à medida que as condições paleoambientais ocorriam durante o Devoniano. No norte da Bacia do Paraná podemos inferir que os processos transgressivos e regressivos do Pragian-Eifelian impactaram diretamente no crescimento dos braquiópodes (*Australocoelia palmata*). Os animais que viviam num ambiente marinho transgressivo possuíam tamanhos variados, contudo aqueles que viviam num contexto regressivo apresentavam tamanhos corporais reduzidos. As mudanças paleoambientais do Devoniano também impactaram a fauna de *Orbiculoidea* (*Orbiculoidea baini*, *O. bodenbenderi*, *O. excentrica*). Com a morfometria linear (comprimento e largura) e averiguando os padrões de crescimento das conchas foi possível concluir que esta fauna não apresentou diferenças morfométricas durante o Pragian-Eoefelian. Na passagem do Eopragian-Neoemian os braquiópodes possuíam boas condições vitais, os animais atingiram as mais diversas dimensões já a redução das conchas pode estar associada à transgressão mundial do Kačák. Os animais que sobreviveram à passagem Eifelian-Givetiana não encontraram as mesmas condições paleoambientais após a crise biótica. Os braquiópodes encontrados no norte da Bacia do Paraná apresentaram um padrão de crescimento distinto daqueles que viviam no sul. Isto pode estar relacionado às condições de estresse na borda da bacia associadas à entrada de águas quentes provenientes da Bacia do Parnaíba.

Palavras-chave: Gondwana, Bacia do Paraná, Evento Kačák, Evento Choteč, *Australocoelia palmata*, *Orbiculoidea*.

ABSTRACT

During the Devonian, Gondwana occupied areas close to the geographic south pole, where climatic conditions fluctuated between the localities. The ocean currents were distinct, with an upwelling zone on the South American west coast that carried cold waters to the equatorial regions of the Paleo-Tethys Ocean, thus isolating the epicontinental seas of Gondwana. The chronostratigraphic use of conodonts, chitinozoans, placoderm fish, palynomorphs, graptolites and dactyloconarids help to establish evolutionary and paleoclimatic events in North America, Europe and China. However, in South America, especially in the Brazilian interior basins, these paleontological records are difficult to recognize in the Devonian. Therefore, this work uses linear morphometry and sclerochronology to investigate how the brachiopod fauna (*Australocoelia* and *Orbiculoidea*) behaved as paleoenvironmental conditions occurred during the Devonian. In the north of the Paraná Basin we can infer that the transgressive and regressive processes of the Pragian-Eifelian had a direct impact on the growth of brachiopods (*Australocoelia palmata*). Animals that lived in a transgressive marine environment had varying sizes, however those that lived in a regressive context had reduced body sizes. Devonian paleoenvironmental changes also impacted the *Orbiculoidea* fauna (*Orbiculoidea bairdi*, *O. bodenbenderi*, *O. excentrica*). Using linear morphometry (length and width) and investigating the growth patterns of the shells, it was possible to conclude that this fauna did not show morphometric differences during the Pragian-Eoefelian. During the Eopragian-Neoemilian period, brachiopods had good vital conditions, the animals reached the most diverse dimensions, and the reduction of shells may be associated with the worldwide transgression of the Kačák. Animals that survived the Eifelian-Givetian passage did not encounter the same paleoenvironmental conditions after the biotic crisis. The brachiopods found in the north of the Paraná Basin showed a growth pattern distinct from those that lived in the south. This may be related to the stress conditions at the edge of the basin associated with the entry of hot waters from the Parnaíba Basin.

Keywords: Gondwana, Paraná Basin, Kačák Event, Choteč Event, *Australocoelia*, *Orbiculoidea*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa paleogeográfico da Gondwana durante o Devoniano.	14
Figura 2: Brasil com as principais bacias sedimentares intracratônicas com rochas devonianas.	15
Figura 3: Correlações estratigráficas das bacias intracratônicas brasileiras.	21
Figura 4: Morfologia geral de braquiópodes (A) Rhynchonelliformea e (B) DISCINIDAE.	25
Figura 5: Sudoeste da Gondwana com as principais ocorrências de <i>Australocoelia</i> e <i>Orbiculoidea</i> durante o Devoniano.	27
Figura 6: Mapa de localização dos pontos visitados na porção norte da Bacia do Paraná.	33
Figura 7: Mapa de localização dos pontos visitados na Bacia do Alto Tapajós (A) e Parecis (B).	34

CAPÍTULO I

Figure 1: Location map of the Paraná Basin in Brazil (A) , locations visited in the northern region of the basin (B) and the lithostratigraphic units from the south and north-northwest areas (C) (adapted from Grahn <i>et al.</i> , 2013).	46
Figure 2: Scheme of measurements (length and width) taken on fossils (<i>Australocoelia palmata</i>).	48
Figure 3: Rondonópolis section, with facies, locations, fossils found and collection grip.	50
Figure 4: Fossils collected in Rondonópolis section, state of Mato Grosso. (A) cluster sample containing a- <i>Australocoelia palmata</i> , d- <i>Derbyina</i> sp. and t- <i>Tentaculites</i> sp. (CCLP-1365); (B) cluster sample containing a- <i>Australocoelia palmata</i> and d- <i>Bivalvia</i> (CCLP-1361); (C) pedicle valve of <i>Australocoelia palmata</i> (CCLP-1372); (D) brachial valve of <i>Australocoelia palmata</i> (CCLP-1375). Scale bar = 1 cm.	51
Figure 5: Jaciara section, with facies, locations, fossils found and grip. (adapted from Ribeiro <i>et al.</i> , 2019)	54
Figure 6: Morphometric data of <i>Australocoelia palmata</i> from Rondonópolis (QR) and Jaciara (QJ1 and QJ2). (A) and (B) Variation of height and width among individuals from QR, QJ1, and QJ2, respectively. The black line within each jittered boxplot represents the mean value. (C) Data of the size ratio between height and width of individuals from QR, QJ1, and QJ2. (D) PCA highlighting a pattern of separation between QR and QJ1 individuals compared to QJ2 individuals	55

Figura 7: Lithostratigraphic correlation of the locations studied (Jaciera and Rondonópolis) with the positioning of collected grid and MFS (Maximum flooding surface) proposed by Ribeiro *et al.* (2019) 57

CAPÍTULO II

Figura 1: (A) Área de abrangência da Bacia do Paraná com os locais de coleta dos braquiópodes (*Orbiculoidea* sp.) nos estados de Goiás (I), Mato Grosso (II) e Paraná (III). (B) Cronoestratigrafia das rochas Devonianas das porções norte e sul da bacia (adaptado de Grahn *et al.*, 2013). 72

Figura 2: Morfologia de um discinídeo hipotético contendo os três transectos mensurados ('a', 'b' e 'c') 74

Figura 3: Comprimento e largura dos braquiópodes estudados do Devoniano da Bacia do Paraná. *O. baini* nas porções dorsais (A) e ventrais (B); *O. bodendenderi* nas porções dorsais (C) e ventrais (D) e a porção dorsal de *O. excentrica* (E) (todas as medidas em milímetros). 79

Figure 3: Figura 4: Principais eventos do Devoniano Inferior e Médio, contendo os intervalos estudados Neopragiano-Eoemsiano (T1), Neoemsiano (T2) e Neoeifeliano-Eogivetiano (T3). (*curvas de 2ª e 3ª ordem propostas por Vargas *et al.*, 2020 para a Bacia do Paraná e curva global proposta por Walliser, 1996; **Distribuição temporal da fauna devoniana segundo Penn-Clarke & Harper, 2021) 81

CAPÍTULO III

Figure 1: Coverage area of the Paraná Basin (A) with the locations where the brachiopods (*Orbiculoidea* sp.) were collected in the states of Mato Grosso, Goiás and Paraná (B) 94

Figure 2: Morphology of a hypothetical brachiopod (*Orbiculoidea baini* and *O. excentrica*) with the three measured transects ('a', 'b' and 'c') 95

Figure 3: Some of the brachiopods studied in this paper. *Orbiculoidea excentrica* from Unit 2 (A: CCLP-1369, scale bar 5mm) and Unit 4 (B: CCLP-905, scale bar 5mm); *O. baini* from Unit 4 (C: CCLP-886, scale bar 1mm), Unit 2 (D: CCLP-1352.A, scale bar 5mm), São Domingos Formation (E: MPI-5291, scale bar 10mm; G: MPI-5289, scale bar 10mm; J: MPI-6053, scale bar 2,5mm; K: MPI-6058.A, scale bar 2,5mm; L: MPI-3672.B, scale bar 1,25mm) and Ponta Grossa Formation (F: MPI-5688.F10, scale bar 5mm; H: MPI-6041, scale bar 10mm; I: MPI-13667, scale bar 10mm). 98

Figure 4: Graph containing the dimensions (height and width) of the dorsal (A) and ventral (B) valves of brachiopods (*Orbiculoidea baini* and *O. excentrica*) before and after the Kačák biotic crisis. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Locais visitados durante os trabalhos de campo nos estados do Mato Grosso e Pará.	32
Tabela 2: Exemplares de <i>Australocoelia palmata</i> utilizados durante a elaboração desta tese, contendo seus números de tombo, tipo da valva, localidade, cidade e estado onde foram coletados, bem como sua idade e unidade geológica.	35
Tabela 3: Exemplares de <i>Orbiculoidea baini</i> utilizados durante a elaboração desta tese, contendo seus números de tombo, tipo da valva, localidade, cidade e estado onde foram coletados, bem como sua idade e unidade geológica.	36
Tabela 4: Exemplares de <i>Orbiculoidea bodenbenderi</i> utilizados durante a elaboração desta tese, contendo seus números de tombo, tipo da valva, localidade, cidade e estado onde foram coletados, bem como sua idade e unidade geológica.	38
Tabela 5: Exemplares de <i>Orbiculoidea excentrica</i> utilizados durante a elaboração desta tese, contendo seus números de tombo, tipo da valva, localidade, cidade e estado onde foram coletados, bem como sua idade e unidade geológica.	40

CAPÍTULO I

Table 1: Visited outcrops, geographic coordinates and nearby cities	47
Table 2: Sedimentary facies analyzed around Jaciara, Juscimeira, and Rondonópolis in the state of Mato Grosso.	49
Table 3: Dunn's test results regarding the comparisons of <i>Australocoelia palmata</i> from Rondonópolis (QR) and Jaciara (QJ1 and QJ2). *Statistical differences.	53

CAPÍTULO II

Tabela 1: Origem dos fósseis coletados no estudo.	73
Tabela 2: Dimensões (em milímetros) de <i>Orbiculoidea baini</i> , <i>O. bodenbenderi</i> e <i>O. excentrica</i> . C: comprimento; L: largura; M.T.: média total; T1: Neopragiano-Eoemsiano; T2: Neoemsiano; T3: Neoeifeliano-Eogivetiano.	76

CAPÍTULO III

Table 1: Valves Dimensions (height and width) from before and after Kačák (all measurements in millimeters).	96
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Base teórica	19
3.1.1. Contexto geológico das bacias intracratônicas brasileiras....	19
3.1.2. Braquiópodes devonianos das bacias Gondwânicas.....	24
3.1.3. Esclerocronologia como ferramenta paleoambiental.....	27
3.1.4. Paleobiogeografia.....	29
3.1.5. Base estatística.....	30
3.2. Trabalhos de campo	31
3.2. Local de depósito dos fósseis coletados	33
CAPÍTULO I: Morphometric reduction in <i>Australocoelia palmata</i> associated with the Devonian marine transgression.....	41
CAPÍTULO II: Aplicação da morfometria e esclerocronologia nos braquiópodes (Discinidae: <i>Orbiculoidea</i>) do Devoniano Inferior-Médio da Bacia do Paraná.....	68
CAPÍTULO III: Linear morphometry and sclerochronology as paleoclimatic tools through Middle Devonian Kačák Event (Paraná Basin, Brazil).....	90
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
5. ANEXOS	108
5.1. Paleontologia: o que é e onde encontrar fósseis no estado de Mato Grosso?.....	108
5.2. Registros paleontológicos do Paleozóico.....	109
5.3. Record of <i>Lingulapholis</i> (Craniopsidae, Brachiopoda) in the Pimenteira Formation (Devonian, Parnaíba Basin)	110
5.4. Paleobiogeography of Lower-Middle Devonian Conulariids from wouthwest Gondwana.....	111
5.5. Macroevolution and adaptive processes of the Leptocoeliidae family (Brachiopoda) throughout the Silurian and Devonian.....	112
5.6. Scientific societies have a part to play in repatriating fossils.....	113
5.7. Designation as cultural heritage best protects Brazilian fossil.....	114
6. REFERÊNCIAS	115

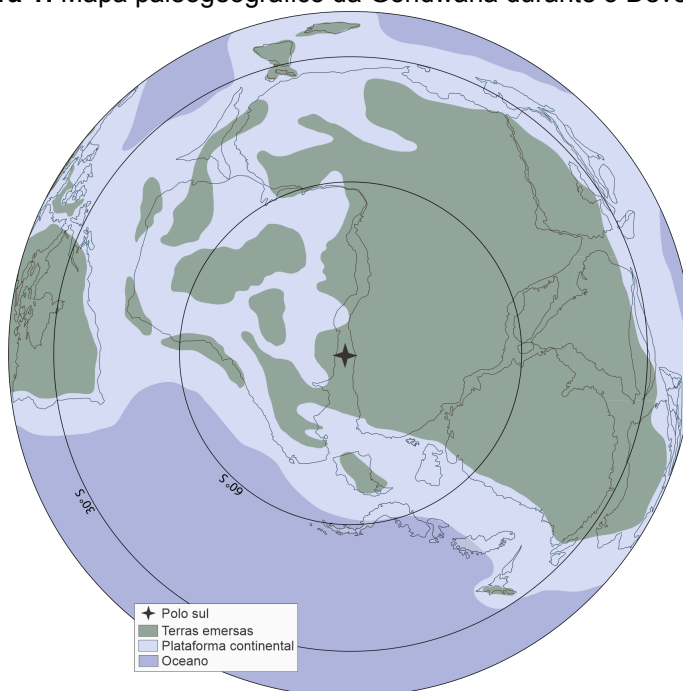
1. INTRODUÇÃO

Durante o Devoniano, o supercontinente Gondwana (América do Sul, África, Antártida, Índia, Península Arábica e outros blocos continentais menores) ocupava latitudes que iam desde os 60° S até próximo do pólo sul geográfico. Paralelamente, os blocos continentais que compunham a Euro-américa (América do Norte, Eurásia Oriental e Ocidental) estavam majoritariamente no hemisfério norte, nas proximidades das latitudes 60°N até o Equador (Figura 1). Influenciados pela continentalidade e maritimidade ocasionada por esse vasto bloco continental, os climas variavam nas mais diversas localidades. Evidências geológicas indicam climas quentes e temperados ao norte da Austrália, noroeste da África, Sibéria, Cazaquistão, noroeste da América do Sul e na Europa central. Já nas regiões de altas latitudes sul, os climas eram majoritariamente mais frios (HABICHT, 1979; ROWLEY *et al.*, 1985; RAYMOND, 1987; GOLONKA, 1994; SCOTese *et al.*, 1999). As correntes marítimas eram distintas, sendo que uma zona de ressurgência surgia na costa oeste sul-americana e conduzia águas frias para as regiões equatoriais do oceano Paleo-Tethys, isolando assim os mares epicontinentais da Gondwana. Já no hemisfério norte, as correntes possuíam temperaturas variadas e eram multidirecionais (OCZLON, 1990; CRASQUIN & HORNE, 2018; HÜNEKE *et al.*, 2023).

Diversas mudanças climáticas ocorreram durante o Devoniano em todo o planeta. No Hemisfério Norte essas mudanças climáticas, bem como esses processos de extinções são facilmente identificados nos registros fósseis. O uso cronoestratigráfico de conodontes (MURPHY, 2005; WEYANT *et al.*, 2010; MAVRINSKAYA & ARTYUSHKOVA, 2017), quitinozoários (WINCHESTER-SEETO, 1993), peixes placodermos (DUPRET & BLIECK, 2009; BURRETT *et al.*, 1990), palinórmorfos (RICHARDSON *et al.*, 1981), graptólitos e dacioconarídeos (SUTTNER & KIDO, 2016) ajudam no estabelecimento de eventos evolutivos e paleoclimáticos na América do Norte e na Europa (CHLUPÁČ & KUKAL, 1986; CHLUPÁČ & OLIVER, 1989; FEIST *et al.*, 1997). Porém no Hemisfério Sul, principalmente nas bacias interiores brasileiras, esses registros paleontológicos são dificilmente reconhecidos (MCGHEE, 1990; THOMPSON & NEWTON, 1988; ELRICK *et al.*, 2009).

Os mares epicontinentais da Gondwana hospedavam uma fauna de invertebrados singular, com elevado grau de endemismo genérico e baixa diversidade específica, denominada fauna Malvinocáfrica, ou Malvinoxhosan segundo Penn-Clarke & Harper (2021). Tal fauna é representada, principalmente, por trilobitas (pertencentes à Família Calmoniidae, *Pennaia*, *Phacopina* e *Tibagya*), braquiópodes (*Australocoelia*, *Australospirifer*, *Australostrophia*, *Meristelloides*, *Derbyina*, linguliforme, *Gigadiscina* e *Orbiculoidea*), moluscos bivalves (*Nuculites*, *Pleurodapis*, *Palaeoneilo*), gastrópodes belerofontídeos além de *Tentaculites* e crinóides em menor quantidade (BOUCOT *et al.*, 1971; BOUCOT, 1975; ANDRADE & CAMARÇO, 1980; MELO, 1988; PENN-CLARKE & HARPER, 2021).

Figura 1: Mapa paleogeográfico da Gondwana durante o Devoniano.



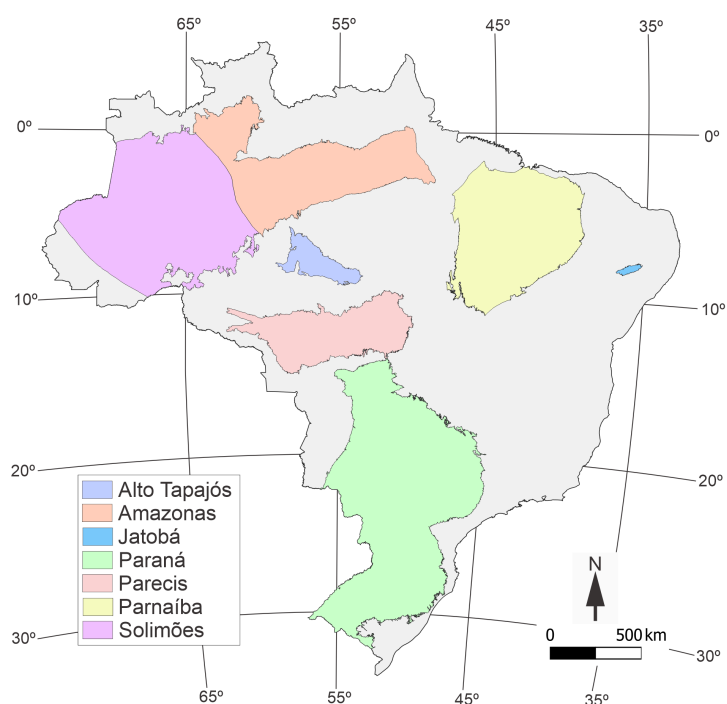
Fonte: adaptado de Penn Clarke & Harper (2021)

Segundo Boucot (1975) essa singularidade faunística teria iniciado ainda no Siluriano, num âmbito pós-glacial acarretando em uma diversidade geral limitada de braquiópodes. Ao longo do Devoniano Inferior, às mudanças do nível do mar e as variações climáticas aumentaram a diversidade de alguns táxons, permitindo que a fauna Malvinoxhosana atingisse seu apogeu no Pragiano-Emsiano, ocupando vários mares do sul de Gondwana (BOUCOT, 1990; CHLUPÁČ, 1994; SEDORKO *et al.*, 2021). O endemismo foi reduzindo gradativamente durante o Devoniano Médio,

chegando ao completo desaparecimento de quase todos os táxons de braquiópodes no Frasniano (CLARKE, 1913, BOUCOT, 1975; MELO, 1988; BOSETTI *et al.*, 2011).

Os braquiópodes típicos da fauna Malvinoxhosan podem ser encontrados nas bacias de Tarija (Argentina), Paraná, Parecis, Amazonas, Parnaíba (Brasil), Tarija, Madre de Dios (Bolívia), Chaco (Uruguai), Cabo (África do Sul), além das Ilhas Falklands (CLARKE, 1913; MELO, 1988; PENN-CLARKE *et al.*, 2018; PENN-CLARKE, 2019; DOWDING & EBACH, 2019). No Brasil, esses fósseis são descritos em várias bacias intracratônicas, sendo elas a bacia do Alto-Tapajós, Amazonas, Jatobá, Paraná, Parecis, Parnaíba e Solimões (MELO, 1988; MILANI *et al.*, 2007) (Figura 2).

Figura 2: Brasil com as principais bacias sedimentares intracratônicas com rochas devonianas.



Fonte: o autor

Os braquiópodes que caracterizam a fauna Malvinoxhosan são costumeiramente encontrados nas bacias interiores do Brasil. Porém algumas localidades necessitam de um trabalho mais acurado, como são os casos das bacias do Alto-Tapajós e Solimões, onde as informações fossilíferas são escassas ou inexistentes. Já nas bacias do Amazonas, Jatobá e Parecis as informações estão desatualizadas, visto que os trabalhos nestas regiões foram feitos ainda no século passado e carecem de atualizações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o proposto, até no presente momento pode-se concluir que:

- Os processos transgressivos e regressivos do Pragiano-Eifeliano no norte da bacia do Paraná influenciaram diretamente nos tamanhos dos braquiópodes;
- Exemplares de *Australocoelia palmata* que viviam num ambiente marinho transgressivo possuíam tamanhos variados, porém aqueles que viviam num contexto regressivo apresentaram tamanhos corporais 25% menores;
- Esta redução da fauna pode acontecer quando há alterações na composição das águas marinhas e na salinidade, resultantes de uma fase regressiva;
- Aplicando a morfometria linear nos braquiópodes (*Orbiculoidea baini*, *O. bodenbenderi* e *O. excentrica*) não foi possível identificar diferenças morfométricas ao longo de todo o Devoniano;
- Porém, quando comparamos os animais do Pragiano-Eoefeliano com aqueles do Neoeifeliano-Eogivetiano podemos verificar uma redução significativa nas dimensões das conchas;
- Essa alteração pode estar associada à transgressão do Neoeifeliano-Eogivetiano, também reconhecida mundialmente como crise biótica do Kačák;
- Braquiópodes (*Orbiculoidea baini*, *O. bodenbenderi* e *O. excentrica*) do Eopragiano-Neoemiano possuíam boas condições vitais, os dados morfométricos indicam que neste momento os animais atingiram as mais diversas dimensões;
- Os braquiópodes (*Orbiculoidea baini*, *O. bodenbenderi* e *O. excentrica*) do Neoemiano viveram em paleoambientes estressados devido às constantes oscilações do nível do mar, correlacionável à crise biótica do Choteč;
- O Evento global Kačák foi identificado e estatisticamente mensurado em toda a abrangência da Bacia do Paraná. Reforçando ainda mais a hipótese anóxica da transgressão do Neoeifeliano-Eogivetiano.
- Os animais que sobreviveram à passagem Eifeliano-Givetiano não encontraram as mesmas condições paleoambientais após a crise biótica. Os braquiópodes encontrados no norte da Bacia do Paraná apresentaram um padrão de crescimento distinto daqueles que viviam no sul.

5. ANEXOS

5.1. Paleontologia: o que é e onde encontrar fósseis no estado de Mato Grosso?

PALEONTOLOGIA: O QUE É E ONDE ENCONTRAR FÓSSEIS NO ESTADO DE MATO GROSSO?

VICTOR RODRIGUES RIBEIRO • SILANE A. F. DA SILVA CAMINHA • LIDIANE ASEVEDO • CARLOS D'APOLITO • RENATO PIRANI GHILARDI
MARIA LUIZA BARROS PITA ROCHA SALA • ANA CAROLINA DA SILVA RODRIGUES • SUZANA SHISUCO HIROOKA • RAQUEL QUADROS

INTRODUÇÃO

A Paleontologia é uma ciência antiga, que se desenvolveu, principalmente, nos séculos XVII e XVIII. O termo deriva do grego, no qual “palaios” significa velho, antigo; “ontos” remete ao ser vivo, e “logos” é o ato de estudar, ou seja, Paleontologia é o estudo da vida antiga. A Paleontologia busca compreender a evolução da vida no planeta Terra, ao longo do tempo. Tem como objeto de estudo os fósseis ou vestígios de suas atividades, que carregam informações importantes sobre o passado (CARVALHO, 2010a). Trata-se de uma ciência dinâmica e interdisciplinar, possuindo relações com outras áreas de conhecimento, como Biologia, Física, Geologia e Oceanografia, por exemplo.

Assim, fósseis são restos ou vestígios de animais, plantas e de outros microorganismos (algas, bactérias, fungos etc.), ou seja, todo registro de vida do passado que tenha sobrevivido a intempéries climáticas e do tempo. Assim, os fósseis também ajudam a compreender como eram as paisagens, biomas e climas do planeta, auxiliando na reconstrução dos paleoambientes (VEGA et al., 2015). Os fósseis são encontrados em rochas sedimentares, as quais são de ocorrência comum em Mato Grosso, assim como há registros fossilíferos em várias localidades do estado.

Devido a sua ampla aplicabilidade, a Paleontologia pode ser subdividida em três grandes áreas: a Paleozoologia, a Paleobotânica e a Micropaleontologia.

A Paleozoologia foca no estudo de animais fósseis, invertebrados ou vertebrados, procu-

rando compreender suas interações ecológicas, biológicas, além de sua função no ecossistema (Figura 1).



Figura 1 – Fósseis de vertebrados coletados na Gruta do Curupira, em Rosário Oeste, MT. Foto: Pedro Ivo de Lima Almeida Prado

REGISTROS PALEONTOLÓGICOS DO PALEOZÓICO

SILANE APARECIDA FERREIRA DA SILVA CAMINHA; VÍCTOR RODRIGUES RIBEIRO; DIEGO RUAN RODRIGUES CRUZ; RENATO PIRANI GHILARDI; ALLIF VINÍCIUS DA SILVA NEVES; CARLOS D'APOLITO.

6.1 - APRESENTAÇÃO

A Chapada já foi mar, mas isso aconteceu há muito tempo, durante um período geológico chamado de Devoniano, que ocorreu há aproximadamente 420 milhões de anos. Foi nesse tempo distante que surgiram os primeiros tubarões, os primeiros anfíbios e artrópodes terrestres, os peixes dominavam os mares e as plantas haviam invadido também os continentes. Falando em continentes, a configuração deles era diferente da que conhecemos atualmente.

Durante este período havia três grandes massas de terras emersas: Euramérica (formada por parte da Europa e América do Norte), Sibéria (que era isolada naquela época) e Gondwana (localizada nas regiões próximas ao Polo Sul, formadas pelas massas de terra que, atualmente, representam América do Sul, África, Antártida, Índia e Península Arábica) (SCOTSE et al., 1999, KEAREY et al., 2014).

O estudo de mudanças ocorridas no Devoniano é de grande importância, pois houve intensas transformações nos ecossistemas terrestres e marinhos. Contudo, o evento mais famoso deste período é, sem dúvida, a grande extinção que ocorreu próximo ao intervalo Devoniano/Carbonífero. Acredita-se que esta extinção tenha atingido 60% das espécies e que foi causada por mudanças climáticas, vulcanismo, e/ou impacto de asteroides (MCGHEE, 1996; MCGHEE, 2005).

Ainda durante o Devoniano, a região em que hoje está localizada a Chapada dos Guimarães estava submersa em um vasto mar com águas frias próximo ao Hemisfério Sul. Nesse mar viviam organismos, a maioria deles já extinta, mas semelhantes aos que habitam mares atuais, como animais com conchas, peixes e corais. No entanto, devido a temperatura da água ser fria, somente algumas espécies conseguiam viver naquele ambiente, e ao conjunto de espécies que viviam lá chamamos de fauna malvinocáfrica.

A fauna malvinocáfrica era composta por braquiópodes (um grupo de animais que possuíam conchas) e trilobitas grupo já extinto de artrópodes, além de outros invertebrados, sendo que restos e vestígios fossilizados destes animais são facilmente encontrados em localidades de Chapada dos Guimarães. Basta caminhar atento no mirante da cidade para achá-los e a foto no início do capítulo mostra alguns exemplares.

6.2 - A EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE OS FÓSSEIS DE ANIMAIS MARINHOS DE CHAPADA DOS GUIMARÃES E OUTROS REGISTROS

A Chapada dos Guimarães é um planalto que se estende, em Mato Grosso, desde as cabeceiras do rio das Mortes para oeste, em busca do Cuiabá. Região pouco habitada hoje, já teve seus dias de fausto com grande atividade mineradora de ouro no tempo colonial. Entrou para a geologia brasileira, como uma

5.3. Record of *Lingulapholis* (Craniopsidae, Brachiopoda) in the Pimenteira Formation (Devonian, Parnaíba Basin)

OCURRENCE OF *LINGULAPHOLIS* (CRANIOPSIDAE, BRACHIOPODA) IN THE PIMENTEIRA FORMATION (DEVONIAN, PARNAÍBA BASIN)

REGISTRO DE *LINGULAPHOLIS* (CRANIOPSIDAE, BRACHIOPODA) NA FORMAÇÃO PIMENTEIRA (DEVONIANO, BACIA DE PARNAÍBA)

Victor Rodrigues RIBEIRO¹, Felipe Nascimento SOUSA¹, Daniel SEDORKO², Willian Mikio Kurita MATSUMURA³, Renato Pirani GHILARDI¹

¹Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados - LAPALMA; São Paulo State University (UNESP), School of Sciences, Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01; Vargem Limpa - Bauru, São Paulo, Brazil.
E-mails: victor18lapalma@gmail.com; fn.sousa@unesp.br; renato.ghilardi@unesp.br

²National Museum; Federal University of Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista, São Cristóvão - Rio de Janeiro - Brazil. E-mail: dsedorko@gmail.com

³Department of Biology, Center for Natural Sciences, Federal University of Piauí; University Campus Minister Petronio Portella - Ininga - Teresina, Piauí - Brazil. E-mail: willian.matsumura@ufpi.edu.br

Introduction
Geological and historical context
Collection site
Results
Discussion
Conclusions
Acknowledgments
References

RESUMO - O gênero *Lingulapholis* teve restrições temporais e espaciais durante o Devoniano, sendo encontrado apenas na Colômbia e nos Estados Unidos. No Brasil, seu táxon relacionado *Craniops* é comum nas bacias do Amazonas, Paraná e Parnaíba. Novos dados das cidades de Picos e Itainópolis, flanco leste da Bacia do Parnaíba, levaram à descoberta de um gênero de braquiópode ainda não descrito para esta região do Gondwana. O braquiópode *Lingulapholis* foi encontrado associado a fragmentos de plantas em condições de moderada a baixa energia hidrodinâmica, conforme indicado pela assembleia icnológica, em expressões próximas de icnofácies *Cruziana* alternadas a icnofácies *Skolithos*. A presença de *Lingulapholis* sugere que a Bacia do Parnaíba esteve inserida na zona de mistura faunística difusa durante o Devoniano Médio.

Palavras-chave: *Lingulapholis*. Craniopsidae. Devoniano. Gondwana. Icnologia.

ABSTRACT - The genus *Lingulapholis* had temporal and spatial restrictions during the Devonian, being found only in Colombia and the United States. In Brazil, its related taxa *Craniops* is common in the Amazonas, Paraná, and Parnaíba basins. New data from the cities of Picos and Itainópolis, east flank of Parnaíba Basin, led to the discovery of a yet previously undescribed brachiopod genus for this region of Gondwana. The *Lingulapholis* brachiopod was found associated with plant fragments under conditions of moderate to low hydrodynamic energy as indicated by ichnological assemblage, in proximal expressions of *Cruziana* ichnofacies alternated to *Skolithos* ichnofacies. The presence of *Lingulapholis* suggests that the Parnaíba Basin was inserted in the zone of diffuse faunal mixing during the Middle Devonian.

Keywords: *Lingulapholis*. Craniopsidae. Devonian. Gondwana. Ichnology.

INTRODUCTION

The genus *Lingulapholis* Schuchert, 1913 is inserted in the family Craniopsidae Williams, 1963, which also includes *Craniops* Hall & Clarke, 1892, *Discinopsis* Hall & Clarke, 1892, *Heliomedusa* Sun & Hou, 1987, *Paracraniops* Williams, 1963, *Pseudopholidops* Bekker, 1921, and *Wrightiops* Popov & Cocks, 2014. The family occurs from the Lower Cambrian (Epoch 2) to the Lower Carboniferous (Tournaisian) in many localities around the world. (Raasch, 1958; Skovsted & Holmer, 2005; Popov & Holmer, 2009).

During the Devonian, the family was represented just by two genera: *Craniops*, with records in Argentina, Australia, Brazil, Canada, China, Colombia, and the United States; and

Lingulapholis, from Colombia and the United States. In Brazil, the family was only represented by *Craniops* in Amazonas (Grahn, 1992), Paraná (Quadros, 1987) and Parnaíba (Melo, 1988) basins. This study aims to present new paleontological data from the Parnaíba Basin confirming the occurrence of the genus *Lingulapholis* in the Brazilian Devonian.

Geological and historical context

The Parnaíba Basin comprises an area of approximately 600,000 km² in the north/northeast of Brazil, encompassing the states of Bahia, Ceará, Maranhão, Pará, Piauí and Tocantins (Figure 1.A). On the eastern flank (state of Piauí) and on the western flank (state of Tocantins), crops

5.4. Paleobiogeography of Lower-Middle Devonian Conulariids from southwest Gondwana

Journal of South American Earth Sciences 131 (2023) 104618



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/james



Paleobiogeography of Lower-Middle Devonian Conulariids from southwest Gondwana

Victor Rodrigues Ribeiro^{a,*}, Elizabeth M. Dowding^b, Felipe Nascimento Sousa^a,
Fábio Augusto Carbonaro^a, Renato Pirani Ghilardi^a

^a Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, 17033360, Bauru, São Paulo, Brazil

^b Friedrich-Alexander-University of Erlangen-Nürnberg, Bavaria, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:
South America
Clustering
Bioregion
Diversity
Paleontology

ABSTRACT

The bioregionalization of the Devonian fauna in southwest Gondwana has been extensively studied, focusing on the occurrences of brachiopods and trilobites, however, little attention has been given to Conulariids. The main goal of this paper is to propose a bioregionalization for the Conulariids (*Conularia albertensis*, *C. quichua*, *C. sp.*, *Paraconularia africana*, *P. ulrichana*, and *Reticulaconularia baini*) from the Lower-Middle Devonian in southwest Gondwana. After a clustering analysis and diversity tests we have identified two distinct bioregions for Conulariids: the Amazon and southwest Gondwana, in the Amazon region the diversity is low, and can be attributed to scarcity of palaeontological data on the area. On the other hand, in the southwest Gondwana bioregion, diversity ranges from moderate to relatively high, which helps define a second-order bioregion, the Andeo-South Africa and Interior Gondwana. The first includes areas where diversity has higher values bordering southwest Gondwana (Bolivian Chaco-Peru, Zorritas-NOA-South Bolivia, South Africa and Malvinas areas). Further, in the Interior Gondwana bioregion are the Parnaíba (Parnaíba Basin), Alto Garças (north and northwest of Paraná Basin), Paraná (south of Paraná Basin, Uruguay and Paraguay) areas, where the diversity is slightly lower when compared to the Andeo-South Africa bioregion.

1. Introduction

The provincialism of Devonian marine fauna in southwest Gondwana is already very well explored in the literature (e.g. Richter, 1941; Boucot et al., 1969; Boucot, 1975; Boucot and Racheboeuf, 1993; Anderson et al., 1999). This fauna had a high degree of generic endemism and low specific diversity; and it was represented by trilobites (*Pennaia* Clarke, 1913, *Phacopina* Clarke, 1913 and *Tibagya* Struve, 1958), brachiopods (*Australocoelia* Boucot and Gill, 1956; *Australospirifer* Caster, 1939; *Australostrophia* Caster, 1939; *Derbyina* Clarke, 1913, Lingulidae Gray, 1840; *Meristelloides* Waagen, 1883 and *Orbiculoidea* d'Orbigny, 1847), bivalve molluscs (*Nuculites* Conrad, 1841; *Palaeoneilo* Hall and Witfield, 1869 and *Pleurodopsis* Clarke, 1913), additional to Bellerophonitidae McCoy, 1852 gastropods, Tentaculitida Lyashenko, 1955, Conulariidae Walcott, 1886; Crinoidea Miller, 1821 in a small amount (Boucot, 1971, 1975; Melo, 1988; Bosetti et al., 2011; Penn-Clarke and Harper, 2021). Previously, the bioregionalization of Gondwana was proposed using

brachiopods (Boucot et al., 1969), gastropods (Blodgett et al., 1990) and trilobites (Kobayashi and Hamada, 1975). However, the determination of bioregional using the Conulariids has not been made yet.

Conulariids are medusozoan cnidarians with an apatitic test, in life they were fixed to a solid substrate with the adaperatural region facing upwards (Van Iten et al., 2013; Vinn et al., 2019; Vinn, 2022). They inhabited mostly shallow marine platforms (Collins et al., 2000; Marques and Collins, 2004; Rodrigues et al., 2006; Leme et al., 2004, 2008a, 2008b; Van Iten et al., 2006, 2013) and its fossil record ranges from the terminal Ediacaran to the Late Triassic (Ivantsov and Fedonkin, 2002; Van Iten et al., 2006; Lucas, 2012; Leme et al., 2022).

These organisms were common in the Devonian faunistic provinces of South America, being most abundant in Argentina, Bolivia, Brazil, Chile, Malvinas Islands, Paraguay, Peru and Uruguay (Thomas, 1905; Clarke, 1913; Méndez-Alzola and Sprechmann, 1973; Babcock et al., 1987; Babcock, 1993; Velasco, 2012; Leme et al., 2004, 2015; Ribeiro et al., 2021). Historically, the Devonian provinces were proposed using

* Corresponding author.

E-mail addresses: victor18lapalma@gmail.com (V. Rodrigues Ribeiro), dowding.e.m@gmail.com (E.M. Dowding), fn.sousa@unesp.br (F. Nascimento Sousa), fabiocarbonaro@gmail.com (F. Augusto Carbonaro), renato.ghilardi@unesp.br (R. Pirani Ghilardi).

<https://doi.org/10.1016/j.james.2023.104618>

Received 5 September 2023; Received in revised form 20 September 2023; Accepted 20 September 2023

Available online 21 September 2023

0895-9811/© 2023 Elsevier Ltd. All rights reserved.

5.5. Macroevolution and adaptive processes of the Leptocoeliidae family (Brachiopoda) throughout the Silurian and Devonian

DOI: 10.5212/TerraPlural.v.17.2321742.005

Macroevolution and adaptive processes of the Leptocoeliidae family (Brachiopoda) throughout the Silurian and Devonian

Macroevolução e processos adaptativos da família Leptocoeliidae (Brachiopoda) ao longo do Siluriano e Devoniano

Macroevolución y procesos adaptativos de la familia Leptocoeliidae (Brachiopoda) a lo largo del Silúrico y Devónico

Victor Rodrigues Ribeiro

<https://orcid.org/0000-0002-6290-5599>

victor18lapalma@gmail.com

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Bauru, SP, Brasil

Renato Pirani Ghilardi

<https://orcid.org/0000-0003-0410-8011>

renato.ghilardi@unesp.br

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Bauru, SP, Brasil

Abstract: The Leptocoeliidae family (genera *Anabaia*, *Australocoelia*, *Eocoelia*, *Leptocoelia*, *Leptocoelina* and *Pacificocoelia*) has an important place in the global paleobiogeography, during the Silurian and Devonian. During these periods, global climate changes impacted a lot of invertebrate faunas in the epicontinental seas of Gondwana. In the Silurian, the genus *Eocoelia* reached a cosmopolitan behavior, while *Leptocoelia* emerged by adaptive sympatric processes and *Anabaia* became extinct. After that, during the Devonian, the genus *Australocoelia* emerged and reached cosmopolitan levels while *Leptocoelina* and *Pacificocoelia* emerged by sympatries in the equatorial regions. *Australocoelia*, during the Devonian, occupied the same ecological niches that were previously occupied by *Anabaia* in the Silurian. It can be said that the same occurred with *Pacificocoelia* and *Eocoelia* in the seas of Laurentia, configuring a process of succession of faunas.

Keywords: succession of faunas, paleobiogeography, Gondwana, climate change

Resumo: A família Leptocoeliidae (gêneros *Anabaia*, *Australocoelia*, *Eocoelia*, *Leptocoelia*, *Leptocoelina* e *Pacificocoelia*) ocupa um lugar importante na paleobiogeografia global, durante o Siluriano e Devoniano. Durante esses períodos, as mudanças climáticas globais impactaram muitas faunas de invertebrados nos mares epicontinentais de Gondwana. No Siluriano, o gênero *Eocoelia* atingiu um comportamento cosmopolita, enquanto *Leptocoelia* emergiu por processos simpátricos adaptativos e *Anabaia* foi extinto. Depois disso, durante o Devoniano, o gênero *Australocoelia* emergiu e atingiu níveis cosmopolitas enquanto *Leptocoelina* e *Pacificocoelia* surgiram por simpatrias nas regiões equatoriais. *Australocoelia*, durante o Devoniano, ocupou os mesmos nichos ecológicos que antes eram ocupados por *Anabaia* no Siluriano. Pode-se dizer que o

5.6. Scientific societies have a part to play in repatriating fossils.

Comment

<https://doi.org/10.1038/s41559-023-02296-2>

Scientific societies have a part to play in repatriating fossils

Herminio Ismael de Araújo-Júnior, Renato Pirani Ghilardi, Victor Rodrigues Ribeiro, Ana Maria Ribeiro, Fernando Henrique de Souza Barbosa, Francisco Ricardo Negri & Sandro Marcelo Scheffler

 Check for updates

The Brazilian Society of Palaeontology (BSP) has recently taken steps to become more involved in the repatriation of fossil specimens – a central issue in the global palaeontological community, as interest in combating scientific colonialism grows – both through collaboration with researchers and other Latin American scientific associations. We discuss our experience, including the challenges we have faced and how we have overcome them, in the hope of inspiring other scientific societies to play their part.

Scientific societies have a vital role in advancing scientific knowledge and fostering collaboration among researchers. In the case of palaeontological societies (among others), in addition to fostering discussion, the protection of natural heritage is also a key concern. Given their status as a forum motivated by interest in and concern for fossils, it is fitting that Latin American palaeontological associations

– including those from [Argentina](#), [Brazil](#), [Chile](#), [Mexico](#) and [Peru](#) – should be actively engaged in discussions and participation related to repatriation processes.

Repatriation refers to the act of returning cultural, natural or scientific artefacts (including fossils) to their countries of origin. Given the colonial origins of palaeontology (as is the case with other ecology and evolutionary fields), we find ourselves in a situation in which much of the natural heritage of former European colonies is held in collections outside of those countries. The historical colonization process that occurred in Latin America was one of the main factors in the removal of fossil specimens and their allocation in foreign institutions (especially in Europe). However, although the colonial process has ended in most of Latin America, the improper removal of fossil specimens in these nations continues. Illicit trafficking and illegal commercialization of fossils constitute the main mechanisms for removing specimens from their nations of origin. There has been growing recognition of the injustice of this and of the inequalities that this perpetuates, both inside and outside of the academy; we know that both the fossil record itself and those who get to work on it have been distorted by this process¹, and that there are impacts on the national sovereignty of the country from which the cultural item originates, diminishing the potential for its people to better understand their heritage and culture². This situation has led to global calls for the repatriation of heritage³.

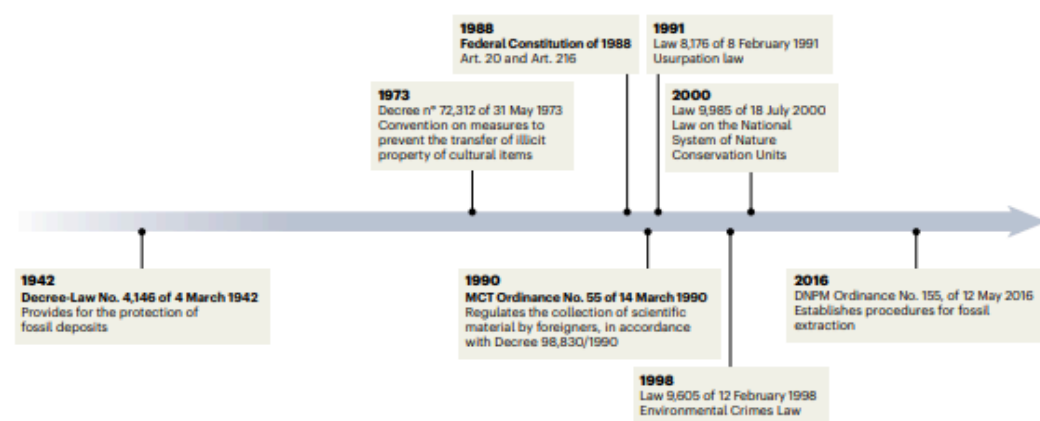


Fig. 1 | Timeline of the promulgation of laws related to Brazilian palaeontological heritage. Bold highlights the main laws on this topic.

nature ecology & evolution

6.7. Designation as cultural heritage best protects Brazilian fossils

Correspondence

<https://doi.org/10.1038/s41559-024-02397-6>

Designation as cultural heritage best protects Brazilian fossils

 Check for updates

Kuhn et al.¹ write that in our recent *Nature Ecology & Evolution* publication², we overlook Brazilian legislation that considers fossils as mineral or natural heritage in favour of legislation that considers fossils to be cultural heritage, and that fossils are more appropriately considered as mineral heritage. Given the constraints of format, we emphasize that the information in our Comment on Brazilian legislation was illustrative rather than exhaustive (a necessary condition given the complexity of Brazilian law on the subject of fossils). The laws that we discussed and presented in figure 1 of ref. 2 are those that are most important and that have served as the basis for decision-making regarding repatriations (especially with Brazilian and foreign ministries). Furthermore, the laws presented in figure 1 of ref. 2 do in fact cover laws on natural (=mineral) heritage (laws of 1942, 1990, 2000 and 2016), as well as cultural heritage (laws of 1973 and 1988) and environmental protection (law of 1998). Thus, we disagree that we have presented a biased portrayal of fossils under Brazilian law.

We also disagree with the idea that laws related to mineral and cultural heritage are conflicting.

In the case of Brazil, where there are still legal loopholes regarding palaeontological heritage (as described in ‘Laws are broken when fossils are removed’ in ref. 2), existing laws on natural and cultural heritage are complementary, as some cultural heritage laws fill gaps that were not foreseen in the laws of natural heritage, and vice versa. For example, Brazilian laws of natural heritage provide for the protection of ‘fossiliferous deposits’ but not of a ‘palaeontological site’ (something that is definitely larger than a fossiliferous deposit, as it includes not only the fossiliferous deposit but also the geomorphological, lithological and environmental setting, which is protected only by cultural heritage laws). In this sense, it is important that – once again – we highlight Brazil’s Federal Constitution of 1988, which states in Article 216 that³:

“Brazilian cultural heritage consists of the assets of a material and immaterial nature, taken individually or as a whole, which bear reference to the identity, action and memory of the various groups that form Brazilian society, therein included ...

V – urban complexes and sites of historical, natural, artistic, archaeological, paleontological, ecological and scientific value.”

That is to say, the fundamental set of principles and rules by which the country is organized recognizes that fossils are cultural heritage. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN; Institute of National Historical and Artistic Heritage, the body that oversees Brazil’s cultural heritage) does not act by executing actions or creating regulations, and does not override what is stated in the constitution. That is to say, the absence of action by a government body does not minimize or nullify the fact that fossils are cultural heritage. We pointed out in our Comment the intriguing nature of palaeontological heritage in the context of mineral heritage laws (“[...] fossils cannot be sold in Brazil, but rocks containing fossils can be extracted and sold”^{4,5}) – this is also a point highlighted by Kuhn et al. As such the Brazilian Society of Palaeontology (BSP) board considers the reformulation of Brazilian mineral heritage laws to be essential in order to clarify the importance of protecting palaeontological heritage based on measures that safeguard fossils and their associated context (as foreseen in the Brazilian Constitution), rather than moving towards a relaxation of mineral heritage laws with a view to a supposed controlled commercialization of fossils and rocks that contain fossils, as proposed by the Brazilian Federation of Geologists (FEBRAGEO)⁶.

Kuhn et al. call for international reconciliation of mineral extraction and heritage preservation. In fact, international bodies support the cultural nature of Brazilian palaeontological heritage. For example, the International Council of Museums includes Brazilian fossils in its Red List of cultural assets⁷. Simultaneously, and as discussed in our

Comment, the federal government of Brazil and the governments of other countries (those that held fossils from Brazil) are working on fossil repatriation processes that are primarily premised on the argument that fossils are Brazilian cultural heritage.

We appreciate the concerns of Kuhn and collaborators regarding Brazilian palaeontological heritage and, once again, we express that the BSP is open to discussing – together with FEBRAGEO and any other entity or institution – actions, regulations and discussions that can effectively contribute to the scientific and cultural progress of Brazil.

Hermínio Ismael de Araújo-Júnior^{1,2}✉, **Renato Pirani Ghilardi**^{1,3}, **Silane Aparecida Ferreira da Silva Caminha**^{1,4}, **Victor Rodrigues Ribeiro**^{1,3}, **Fernando Henrique de Souza Barbosa**^{1,2,5}, **Sandro Marcelo Scheffler**^{1,6} & **Ana Maria Ribeiro**^{1,7}

¹Board of the Brazilian Society of Palaeontology. ²Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. ³Laboratório de Paleontologia de Macroinvertebrados, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Bauru, Brazil.

⁴Laboratório de Paleontologia e Palinologia, Faculdade de Geociências, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brazil.

⁵Escola Normal Superior, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Brazil.

⁶Laboratório de Paleoinvertebrados, Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

⁷Museu de Ciências Naturais, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, Porto Alegre, Brazil.

✉e-mail: presidente@sbpbrasil.org

Published online: 29 March 2024

References

1. Kuhn, C. E. S. et al. *Nat. Ecol. Evol.* <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02396-7> (2024).
2. Araújo-Júnior, H. I. et al. *Nat. Ecol. Evol.* **8**, 355–358 (2024).

nature ecology & evolution

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. & NOGUEIRA, F. J. V. (1959). Reconhecimento Geológico do rio Aripuanã. DNPM, Rio de Janeiro, Boletim, 199: 1-43.
- ALMEIDA, M. E.; COSTA, U. A. P. (2014). Geologia e recursos minerais da Folha Sumaúma – SB.20- Z-D, Estado do Amazonas. Escala 1:250.000 – Manaus: CPRM.
- ALVES, C. L. & RIZZOTTO, G. J.; RIOS, F. S.; GONÇALVES, G. A. (2019) Áreas de relevante interesse mineral - Projeto evolução crustal e metalogenia da Província Mineral Juruena-Teles Pires. Cleber Ladeira Alves, Gilmar José Rizzotto, Francisco Sene Rios, Gabriel Freitas Gonçalves. Goiânia: CPRM,. 226 p.
- ANDRADE, S. M. & CAMARÇO, P. E. N. (1978). Mapeamento Geológico a Leste das Cidades de Iporá - Amorinópolis. Relatório Final da Nuclebrás. Goiânia. Brasil, p. 32.
- ANDRADE, S. M. & CAMARÇO, P. E. N. (1980). Estratigrafia dos sedimentos devonianos do flanco nordeste da Bacia do Paraná. Anais do 31º Congresso Brasileiro de Geologia. Santa Catarina, Balneário de Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 5, p. 2828 - 2834.
- ASSINE, M. L. (1996). Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. 1996. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), USP, São Paulo, SP. 207 p.
- ASSINE, M. L. (2001). O ciclo Devoniano na Bacia do Paraná e correlações com outras Bacias Gondwânicas. Ciência-Técnica-Petróleo, seção: Exploração de Petróleo. Rio de Janeiro, 20: 55-62.
- BAHIA, R. B. C., & REIS, N. J. (2010). Estratigrafia de sequência do grupo Alto Tapajós na porção ocidental da Bacia Alto Tapajós (paleozóico), estado do Amazonas-dados preliminares.
- BAHIA, R. B. C. (2007). Evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis-Amazônia. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Contribuições às Ciências da Terra. v. 18, n. 26, 149 p.
- BAHIA, R. B. C., MARTINS, M. A. N., BARBOSA, M. S. C., & PEDREIRA, A. J. (2016). Revisão estratigráfica da bacia dos Parecis–Amazônia. Revista Brasileira de Geociências, 36(4), 692-703.
- BARATA, C. F., & CAPUTO, M. V. (2007). Geologia do petróleo da Bacia do Solimões. O “estado da arte”. In 4 Congresso Brasileiro de Pesquisa e

Desenvolvimento em Petróleo e Gás. PDPETRO (Vol. 4, No. 1.1).

BARRETO, P. M. (1968). O Paleozóico da bacia de Jatobá, Pernambuco. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 17(1), 29-45.

BENEDETTO, J. L., RACHEBOEUF, P. R., HERRERA, Z., BRUSSA, E. D., & TORO, B. A. (1992). Brachiopodes et biostratigraphie de la formation de Los Espejos, Siluro-Dévonien de la Précordillère (NW Argentine). Geobios, 25(5), 599-637.

BERGAMASCHI, S. (1999). Análise estratigráfica do Siluro-Devoniano (Formações Furnas e Ponta Grossa) da sub-bacia de Apucarana, Bacia do Paraná, Brasil. 1999. 167 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BOSETTI, E. P.; GRAHN Y.; HORODYSKI R. S.; MAULLER P. M.; BREUER P.; ZABINI C. (2011). An earliest Givetian “Lilliput Effect” in the Parana Basin, and the collapse of the Malvinokaffric shelly fauna. Palaontologische Zeitschrift 85:49–65.

BOUCOT, A. J. (2005). Silurian and pre-Upper Devonian bio-events. In Extinction Events in Earth History: Proceedings of the Project 216: Global Biological Events in Earth History (pp. 125-132). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

BOUCOT, A. J. (1971). Malvinokaffric Devonian Marine Community Distribution and Implications for Gondwana. Anais da Academia Brasileira de Ciência, Supl., v. 43, p. 23 - 49, 1971.

BOUCOT, A. J. (1975). Evolution and Extinction Rate Controls. In Developments in Palaeontology and Stratigraphy. Oxford, New York. 1. Elsevier Scientific Publishing Company. 3- 394.

BOUCOT, A. J., & GILL, E. D. (1956). Australocoelia, a new Lower Devonian brachiopod from South Africa, South America, and Australia. Journal of Paleontology, 1173-1178.

BOUCOT, A.J., ROWELL, A.J., RACHEBOUEF, P., PEREIRA, E., & MELO, J.H.G. (2001). Position of the Malvinokaffric Realm's northern boundary (Early Devonian) based on newly discovered brachiopods from the Parecis Basin (Brazil). Journal of the Czech Geological Society, 46, 109-120.

BREMER, K. (1992). Ancestral areas: a cladistic reinterpretation of the center of origin concept. Systematic Biology, v. 41, n. 4, p. 436-445.

BURRETT, C., LONG, J., & STAIT, B. (1990). Early-Middle Palaeozoic biogeography of Asian terranes derived from Gondwana. Geological Society, London, Memoirs,

12(1), 163-174.

CABRERA, A.L.; WILLINK, A. (1973). Biogeografía de América Latina. Organización de los Estados Americanos (OEA), Serie de Biología, Monogr. Washington, D.C. n. 13, p. 117.

CAPUTO, M. V. & SILVA, O. B. (1990). Sedimentação e Tectônica da Bacia do Solimões. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, J.E. (Eds). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares, p. 169-193.

CARBONARO, F. A., COMNISKEY, J. C., CORRAL, H. S., & GHILARDI, R. P. (2018). *Orbiculoidea baini* and *Orbiculoidea excentrica* (Brachiopoda, Discinidae) from the Middle Devonian (Alto Garças Sub-basin, Paraná Basin) of Caiapônia, Goiás (Brazil). *Geologia USP. Série Científica*, 18(4), 11-20.

CARLSON, S. J. (2016). The evolution of Brachiopoda. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 44, 409-438.

CARVALHO, M. G. P., & EDGECOMBE, G. D. (1991). Lower-Early Middle Devonian calmonioid trilobites from Mato Grosso, Brazil, and related species from Paraná. *American Museum novitates*, 3022, 1-13.

CARVALHO, R. G. D. (1972). Braquiópodes devonianos da bacia do Amazonas (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

CARVALHO, R. R., NEUMANN, V. H., FAMBRINI, G. L., VIEIRA, M. M., & ROCHA, D. E. A. (2010). Origem e Proveniência das Sequência Siliciclástica Inferior da Bacia do Jatobá. *Estudos Geológicos*, 20(2), 113

CHLUPÁČ, I. (1994). Devonian trilobites—evolution and events. *Geobios*, 27(4), 487-505

CHLUPÁČ, I., & KUKAL, Z. (1986). Reflection of possible global Devonian events in the Barrandian area, CSSR. In *Global Bio-Events: A Critical Approach Proceedings of the First International Meeting of the IGCP Project 216: "Global Biological Events in Earth History"* (pp. 169-179). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

CHLUPÁČ, I., & OLIVER, W. A. (1989). Decision on the Lochkovian-Pragian boundary stratotype (Lower Devonian). *Episodes Journal of International Geoscience*, 12(2), 109-114.

CLARKE, J.M. (1913). Fósseis devonianos do Paraná. In: *Monographias do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, Rio de Janeiro, p. 1 - 353.

COMNISKEY, J.C. (2011). Paleontologia dos Discinidae (Brachiopoda: Linguliformea) da sucessão devoniana da Bacia do Paraná, Estado do Paraná, Brasil: Revisão Sistemática, distribuição geográfica e estratigráfica. Ponta Grossa, PR. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 182 p

CORRÊA, L. F. A., & RAMOS, M. I. F. (2021). Discinoids (Brachiopoda: Lingulata) from the upper Manacapuru Formation (Early Devonian), south border of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 105, 102960.

COSTA, S. A. G.; FRAGOMENI, P. R. P.; FRAGOMENI M. G. (1975). Projeto Serra do Roncador. Reconhecimento geológico. DNPM/CPRM, Goiânia, Relatório final, 3 v.

COSTA, I. P.; BUENO, G. V.; MILHOMEM, P. S.; SILVA, H. S. R. L.; KOSIN, M. D. (2007). Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15, 9.

CRASQUIN, S., & HORNE, D. J. (2018). The palaeopsychrosphere in the Devonian. *Lethaia*, 51(4), 547-563.

CRUZ N.M.da C. (2005). Palinologia e Palinofácies do Furo TPN-5. no rio Sucundurí, Estado do Amazonas (AM), Brasil. In/ SBP, Cong. Bras. Paleontol., 19, Cong. Latinoamer. Paleontol., 6, Aracajú, Anais, CD-ROM.

CRUZ, N. M. Da C. 1982. Palinoplancton de sedimentos paleozóicos do estado do Amazonas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54 (2): 355-363.

CUMMING, G. (2014). The new statistics: Why and how. *Psychological science*, 25(1), 7-29.

CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H. G.; SILVA, O. B. (2007). Bacia do Amazonas. In: *Bol. Geoc. Petrobras*, Rio de Janeiro. v.15, n. 2, p. 227-251.

DAEMON, R. F.; CONTREIRAS, C. J. A. (1971). Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRES- SO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3, p. 79-88.

DERBY, O. A. (1878a). Contribuições para a geologia da região do Baixo Amazonas. *Archivos do Museu Nacional*, 2: 77–104.

DERBY, O. A. (1878b). A Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil. *Archivos do Museu Nacional*, 3: 89-96.

DOUMANI, G. A.; BOARDMAN, R. S.; ROWELL, A. J.; BOUCOT, A. J.; JOHNSON, J. G.; MCALESTER, A. L. G.; ... & MILES, R. S. (1965). Lower Devonian Fauna of

the Horlick Formation, Ohio Range, Antarctica¹. *Geology and Paleontology of the Antarctic*, 6, 241-274

DOWDING, E. M. & EBACH, M. C. (2019). Evaluating Devonian bioregionalization: quantifying biogeographic areas. *Paleobiology* (1 - 16).

DUPRET, V., & BLIECK, A. (2009). The Lochkovian–Pragian boundary in Podolia (Lower Devonian, Ukraine) based upon placoderm vertebrates. *Comptes Rendus Geoscience*, 341(1), 63-70.

EBACH, M. C.; WILLIAMS, D. M. (2016). Dispersalism and neodispersalism. *The Future of Phylogenetic Systematics: The Legacy of Willi Hennig*, v. 86, p. 286.

ELRICK, M.; BERKYOVÁ, S.; KLAPPER, G.; SHARP, Z.; JOACHIMSKI, M.; FRYDA, J. (2009). Stratigraphic and oxygen isotope evidence for My-scale glaciation driving eustasy in the Early-Middle Devonian greenhouse world. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 276.

FEIST, R., IVANOV, K. S., SAPELNIKOV, V. P., ANCIGIN, N. Y., IVANOV, S. N., MIZENS, L. I., ... & LUBOV, L. V. (1997). Correlations between the evolution of benthic faunal communities and convergent movements of lithospheric blocks from the Silurian to the Late Devonian in the mid-Palaeozoic Uralian basin. *Tectonophysics*, 276(1-4), 301-311.

FILHO, J. R. W., EIRAS, J. F., & VAZ, P. T. (2007). Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15(2), 217-225.

GALLO, V. & FIGUEIREDO, F. (2010). Paleobiogeografia. In: CARVALHO, I. S. *Paleontologia, Conceitos e Métodos*. v. 1, ed. 3, p. 247 - 265.

GALLO, V., FIGUEIREDO, F. J., & ABSOLON, B. A. (2021). Uma Breve história da Biogeografia: De Linnaeus à Revolução Croizatiana. *Revista Sustinere*, 9(1), 297-322.

GAMA Jr., J. M. (2008). Braquiópodes da Formação Pimenteiras (Devoniano Médio/Superior), na região sudoeste da Bacia do Parnaíba, município de Palmas, Estado do Tocantins, Brasil. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal de Brasília, UFB, Brasília, Brasil

GHILARDI, R. P. (2004). Tafonomia comparada e paleoecologia dos macroinvertebrados (ênfase em trilobites), da Formação Ponta Grossa (Devoniano, Sub-bacia Apucarana), Estado do Paraná, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, SP. p. 125.

GOLONKA, J.; ROSS, M. I.; SCOTSESE, C. R. (1994). Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps. In: Pangea: Global Environments and Resources. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 17 (1 - 47).

GRAHN, Y; HORODYSKI, R. S.; MENDLOWICZ MAULLER, P.; BOSETTI, E. P.; GHILARDI, R. P.; CARBONARO, F. A. (2016). A marine connection between Parnaíba and Paraná basins during the Eifelian/ Givetian transition: Review and new data. *Revista Brasileira de Paleontologia* 19, 357–366.

GUZMÁN, J.; FAMBRINI, G. L.; OLIVEIRA, E.; USMA-CUERVO, C. (2015). Estratigrafia da Bacia de Jatobá: estado da arte. *Estudos Geológicos*, 25(1), 53-76.

HABICHT, J. K. A. (1979). Paleoclimate, Paleomagnetism, and Continental Drift. American Association of Petroleum Geologists. Studies in Geology No. 9. x 29 pp., 11.

HAMMER, Ø. & HARPER, D. A. (2001). Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 1.

HÜNEKE, H.; GIBB, M. A.; MAYER, O.; KNIEST, J. F.; MEHLHORN, P.; GIBB, L. M.; ABOUSSALAM S.; BECKER, R. T.; EL HASSANI, A.; BAIDDER, L. (2023). Bioclastic bottom-current deposits of a Devonian contourite terrace: Facies variability and depositional architecture (Tafilalt Platform, Morocco). *Sedimentology*.

MATSUDA, N. S.; WINTER, W. R.; WANDERLEY, J. R. F.; CACELA, A. S. M. (2010). O Paleozoico da borda sul da Bacia do Amazonas, Rio Tapajós - Estado do Pará. *Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro*. v. 18, n. 1, p. 123-152.

MAVRINSKAYA, T. M. & ARTYUSHKOVA, O. V. (2017). Conodont characteristic of the Lochkovian-Pragian boundary interval in the Mindigulovo section (western slope of the Southern Urals). *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 97(3), 391-404.

MCGHEE Jr, G. R. (1990). The Frasnian-Famennian mass extinction record in the eastern United States. In *Extinction Events in Earth History: Proceedings of the Project 216: Global Biological Events in Earth History* (pp. 161-168). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

MELO, J. H. G. (1985). A província malvinocáfrica no devoniano do Brasil: estado atual dos conhecimentos. *Anuário do Instituto de Geociências*, 16, 79-80.

MELO, J. H. G. (1988). The Malvinokaffric Realm in the Devonian of Brazil. In: McMillan, N.J.; Embry, A.F. & Glass, D.J. (Eds.). *Devonian of the World: Proceedings of the 2nd International Symposium on the Devonian System*. Canadian Society of Petroleum Geologists. v. 14, p. 669 - 703.

MELO, J. H. G. & LOBOZIAK, S. (2003). Devonian - Early Carboniferous miospore biostratigraphy of the Amazon Basin, Northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 124, 2003. p. 131-202.

MENDEZ, A. R. (1938). Fósiles Devónicos del Uruguay. *Inst. Geol. Uruguay Boi.* 24, Montevideo.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 15, n. 2, p. 265 - 287.

MORRONE, J. J. & CRISCI, J. V. (1990). Panbiogeografia: Fundamentos y Metodos. *Evolución Biológica*, v. 4, p. 119 - 140.

MORRONE, J. J. & CRISCI, J. V. (1995). Historical biogeography: introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26, 373–401.

MUNIZ, G. C. B. (1978). Braquiópodes Devonianos da Formação Inajá no Estado de Pernambuco. *Anais, XXX Congresso Brasileiro de Geologia*. Recife. 2: 975-985.

MURPHY, M. A. (2005). Pragian conodont zonal classification in Nevada, western North America. *Spanish Journal of Palaeontology*, 20(2), 177-206.

OCZLON, M. S. (1990). Ocean currents and unconformities: the north Gondwana Middle Devonian. *Geology*, 18(6), 509-512.

PARKER, R. E. & Parker, R. E. (1991). *Introductory statistics for biology* (Vol. 43). cambridge University press.

PEDREIRA, A. J. & BAHIA, R. B. C. (2004). Estratigrafia e evolução da bacia dos Parecis: região amazônica, Brasil. Brasília: CPRM.

PENN-CLARKE, C. R.; RUBIDGE, B. S.; JINNAH, Z. A. (2018). Two hundred years of palaeontological discovery: review of research on the Early to Middle Devonian Bokkeveld Group (Cape Super-group) of South Africa. *Journal of African Earth Sciences* 137 (157–178).

PENN-CLARKE, C. R. (2019). The Malvinokaffric Realm in the Early-Middle Devonian of South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103549.

PENN-CLARKE, C. R. & HARPER, D. A. (2021). Early–Middle Devonian brachiopod provincialism and bioregionalization at high latitudes: A case study from southwestern Gondwana. *Bulletin*, 133(3-4), 819-836.

PEREIRA, E.; CARNEIRO, C. D. R.; BERGAMASCHI, S. & ALMEIDA, F. D. (2012). Evolução das sinéclises paleozóicas: províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. *Geologia do Brasil*, 12, 21.

PEREIRA, P. A.; ALMEIDA, J. A. C.; BARRETO, A. M. F. (2012). Paleoecologia dos bivalves e braquiópodes da Formação Inajá (Devoniano), Bacia do Jatobá (PE), Brasil. *Estudos Geológicos*, v. 22, n. 1, p. 37-53.

PONCIANO, L. C. M. O.; CORRAL, L.; CASTRO, A. S. F.; FONSECA, V. M., & MACHADO, D. M. C. (2012). Tafocenoses da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí: mapeamento, inventário e relevância patrimonial. *Anuário do Instituto de Geociências*, 35(1).

POSADAS, P.; CRISCI, J. V.; KATINAS, L. (2006). Historical biogeography: a review of its basic concepts and critical issues. *Journal of Arid Environments*, v. 66, n. 3, p. 389-403.

QUADROS, L. P. (1988). Zoneamento bioestratigráfico do Paleozóico Inferior e Médio (Seção marinha) da Bacia do Solimões. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 95-109.

RAMOS, A. N. (1970). Aspecto paleo-estruturais da Bacia do Paraná e sua influência na sedimentação. *Boletim Técnico da Petrobrás*, v. 13, n. 3, p. 85 - 93.

RATHBUN, R. (1878). The Devonian Brachiopoda of the province of Para, Brazil. *Boston Society of Natural History, Proceedings*, 20: 14-39.

REIS, N. J.; BAHIA, R. B. C.; ALMEIDA, M. E.; COSTA, U. A. P.; BETIOLLO, L. M.; OLIVEIRA, A. C.; SPLENDOR, F. (2013). O supergrupo Sumaúma no contexto geológico da Folha SB. 20-ZD (SUMAÚMA), sudeste do Amazonas: modo de ocorrência, discussão de idades em zircões detríticos e correlações no SW do Cráton do Amazonas. *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte (SBG-NO), 8, 199-222.

REZENDE, J. M. P.; MACHADO, D. M. C.; PONCIANO, L. C. M. O. (2019). A taxonomic review of the brachiopod genus *Australocoelia* (Boucot & Gill, 1956) in the Devonian of Brazil. *Zootaxa*, 4683(4), 515-530.

RIBEIRO, V. R.; CARBONARO, F. A.; CAMINHA, S. A. F. S.; PICCOLI, A. D.; SOUSA, F. N.; GHILARDI, R. P. (2021). Trilobitas devonianos das bacias do Paraná e Parecis no estado de Mato Grosso, Brasil. *Terr@ Plural*, 15, 1-15.

RIBEIRO, V. R., GHILARDI, R. P., & CAMINHA, S. A. F. S. C. (2019). Fácies

deltaicas devonianas de Jaciara-Mato Grosso: o indício de uma nova proposta estratigráfica para a Sub-bacia de Alto Garças. *Geociências*. v. 38, n. 3. p. 687-698.

RIBEIRO, V. R.; SOUSA, F. N.; GAIA, G. A.; CARBONARO, F. A.; SCHEFFLER, S. M.; GHILARDI, R. P. (2021). Macroinvertebrados devonianos do estado de Tocantins: histórico de ocorrências e novos achados. *Terr@ Plural*, [S. l.], v. 15, p. 1–16.

RIBEIRO, V. R. & GHILARDI, R. P. (2020). *Paleobiogeografia. Aprendendo Ciência* (ISSN 2237-8766), v. 9, n. 1, p. 26-30.

RICHARDSON, J. B.; RASUL, S. M.; AL-AMERI, T. (1981). Acritarchs, miospores and correlation of the Ludlovian-Downtonian and Silurian-Devonian boundaries. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 34(2), 209-224.

RIKER, S. R. L. & OLIVEIRA, M. A. (2001). Enfoque Geológico-Geotectônico da Região do Domo do Sucunduri – estado do Amazonas. In: *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 6, Belém. Sessão Temática IX, SBG, pp. 15–18.

RODRIGUES, R. C.; SIMÕES, M. G.; LEME, J. M. (2003). Tafonomia comparada dos Conulatae (Cnidaria), Formação Ponta Grossa (Devoniano), Bacia do Paraná, Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(4):381-390.

ROHLF, F. J. & MARCUS, L. F. (1993). A revolution morphometrics. ***Trends in ecology & evolution***, v. 8, n. 4, p. 129-132.

ROWLEY, D. B.; RAYMOND, A.; PARRISH, J. T.; LOTTES, A. L.; SCOTese, C.; ZIEGLER, A. M. (1985). Carboniferous paleogeographic, phytogeographic, and paleoclimatic reconstructions. *International Journal of Coal Geology*. 5 (7 - 42).

SANTOS J. O. S.; HARTMANN L. A.; GAUDETTE H. E.; GROVES, D. I; MCNAUGHTON N. J.; FLETCHER I. R. (2000). A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, 3(4):453-488.

SANTOS, T. B; MANCINI, F; ROSTIROLLA, S. P; BARROS, C. E. M; SALAMUNI, E. (2011). Registro da deformação pós-paleozoica na Bacia do Amazonas, região de Itaituba (PA). *Revista Brasileira de Geociências*. v. 41, n. 1, p. 95-107.

SCOTese, C. R.; BOUCOT, A. J.; MCKERROW, W. S. (1999). Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology. *J. Afr. Earth Sci.* 28, 99 - 114.

SEDORKO, D., NETTO, R. G., SCHEFFLER, S. M., HORODYSKI, R. S., BOSETTI, E. P., GHILARDI, R. P., MAULLER, P. M.; VARGAS, M. R.; VIDEIRA-SANTOS, R.;

SILVA, R. C.; MYZYNSKI-JUNIOR, L. (2021). Paleoeologic trends of Devonian Malvinokaffric fauna from the Paraná Basin as evidenced by trace fossils. *Journal of South American Earth Sciences*, 109, 103200.

SILVA, A. J. P.; LOPES R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R.B.C. (2003). Bacias Sedimentares Paleozoicas e Meso-Cenozoicas Interiores. In L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, & J.H. Gonçalves (eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. (pp. 55-85). Brasília: CPRM.

SIMÕES, M. G. & GHILARDI, R. P. (2000). Protocolo Tafonômico/Paleoautoecológico com Ferramenta nas Análises Paleossinecológicas de Invertebrados: Exemplos de Alpicação em Concentrações Fossilíferas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 27(2), 3-13.

SUTTNER, T. J. & KIDO, E. (2016). Distinct sea-level fluctuations and deposition of a megaclast horizon in the neritic Rauchkofel Limestone (Wolayer area, Carnic Alps) correlate with the Lochkov–Prag Event. *Geological Society, London, Special Publications*, 423(1), 11-23.

TASSINARI C. G. C. & MACAMBIRA M. J. B. (1999). Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. *Episodes*, 22(3):174-182.

THOMPSON, J. B. & NEWTON, C. R. (1988). Late Devonian mass extinction: episodic climatic cooling or warming? 29-34.

TOCZEK, A.; SCHMITT, R. S.; BRAGA, M. A. S.; MIRANDA, F. P. (2019). Tectonic evolution of the Paleozoic Alto Tapajós intracratonic basin-A case study of a fossil rift in the Amazon Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 94, 102225.

VARGAS, M. R.; SILVEIRA, A. S.; BRESSANE, A.; D'AVILA, R. S. F.; FACCION, J. E.; PAIM, P. S. G. (2020). The Devonian of the Paraná Basin, Brazil: sequence stratigraphy, paleogeography, and SW Gondwana interregional correlations. *Sedimentary Geology*, 408, 105768.

WEYANT, M., BULTYNCK, P., PLUSQUELLEC, Y., & RACHEBOEUF, P. R. (2010). Reassessment of Lochkovian-Pragian conodont faunas from the Rade de Brest and the Presqu'île de Crozon (Massif Armoricaín, France). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 258(1), 73-88.

WILLIAMS, A.; CARLSON, S.J. & BRUNTON H.C. (2000). Brachiopoda. In: R .L. Kaesler (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part H, Brachiopoda, Revised, v.2*. The Geological Society of America e The University of Kansas Press, p.28-29

WINCHESTER-SEETO, T. (1993). Chitinozoa from the Early Devonian

(Lochkovian–Pragian) Garra Limestone, central New South Wales, Australia. *Journal of Paleontology*, 67(5), 738-758.

ZABINI, C.; BOSETTI, E. P.; HOLZ, M. (2010). Taphonomy and taphofacies analysis of lingulid brachiopods from Devonian sequences of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292: 44-56.

ZAR, J. H. (2010). Chapter 23: Contingency Tables. *Biostatistical Analysis, 5th ed.*; Prentice-Hall/Pearson: Upper Saddle River, NJ, USA, 490-517.