

Novos registros e aspectos paleoambientais dos icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí, Brasil

Rafael Costa da Silva

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil, Departamento de Geologia/Divisão de Paleontologia. Av. Pasteur, 404, Urca, 22290-240, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. paleoicno@yahoo.com.br

Victor Hugo Dominato

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências. Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Bloco G, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. victordominato@hotmail.com

Antônio Carlos Sequeira Fernandes

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Museu Nacional, Departamento de Geologia e Paleontologia. Quinta da Boa Vista, s/n, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. fernande@acd.ufrj.br

RESUMO

Tipos inéditos de icnofósseis são aqui comunicados para as camadas arenopelíticas da Formação Pimenteira a partir da prospecção de novas exposições. A análise permitiu ainda o reconhecimento, pela primeira vez, do icnogênero *Protovirgularia* Gumbel em níveis desta unidade. Foram identificadas oito novas icnoespécies: *Bergaueria* cf. *B. prantli*, *Lockeia siliquaria*, *Protopalaeodictyon spinata*, *Protovirgularia* aff. *P. rugosa*, *Protovirgularia dichotoma*, *Rusophycus biloba*, *Scolicia prisca* e *Skolithos linearis*. No conjunto, enquadram-se nas icnofácies Cruziana e Zoophycos, sugerindo um paleoambiente marinho, variando entre uma zona de plataforma rasa e a de planícies de maré de baixa energia.

Palavras-chave: icnofósseis, *Protovirgularia*, Formação Pimenteira, Devoniano.

ABSTRACT

NEW ICHNOLOGICAL RECORDS AND PALEOENVIRONMENT TO THE PIMENTEIRA FORMATION, DEVONIAN OF PARNAÍBA BASIN, PIAUÍ, BRAZIL. An ichnological study in a sandy-silt interval of Pimenteira Formation allowed the recognition of new expositions and trace fossil occurrences. The ichnogenus *Protovirgularia* Gumbel is for the first time recorded and described to this unit and eight other ichnospecies were recognized: *Bergaueria* cf. *B. prantli*, *Lockeiasiliquaria*, *Protopalaeodictyon spinata*, *Protovirgularia* aff. *P. rugosa*, *Protovirgularia dichotoma*, *Rusophycus biloba*, *Scolicia prisca* and *Skolithos linearis*. The trace fossil assemblage fits the Cruziana and Zoophycos ichnofacies and allows inferring a marine paleoenvironment ranging from shallow continental shelf waters to tidal flats with low energy.

Key words: ichnofossils, *Protovirgularia*, Pimenteira Formation, Devonian.

INTRODUÇÃO

O estudo dos icnofósseis é de grande importância para a Paleontologia, principalmente por registrar organismos sem partes duras, cuja potencialidade de preservação é reduzida (Buatois *et al.*, 2002; Fernandes *et al.*, 2002, 2007). Nos últimos anos, a Ic-

nologia, originalmente voltada para a abordagem taxonômica da atividade biológica dos organismos pretéritos (icnotaxas), tem demonstrado ser importante ferramenta para estudos faciológicos (icnofácies de Buatois e Encinas, 2006; Lockley, 2007; MacEachern *et al.*, 2007) e bioestratigráficos (Bromley e Asgaard, 1991).

O conceito de icnofácies, gerado a partir de observações de caráter mais empírico, permite atribuir um significado paleoambiental para determinadas icnocenoses (Bromley e Asgaard, 1991; Seilacher, 2007). As icnofácies podem ser definidas por suas associações icnofossilíferas distintas com recorrência ao longo do espaço e do tempo e onde os distintos

grupos de icnofósseis refletem combinações etológicas específicas influenciadas pelas condições ambientais (Buatois *et al.*, 2002; Buatois e Mángano, 2003).

Os primeiros estudos icnológicos realizados na Bacia do Parnaíba foram conduzidos por Wilhelm Kegel entre 1953 a 1966 e atribuídos às formações Pimenteira, Cabeças e Longá (Kegel, 1953, 1957, 1961, 1965a, 1965b, 1966). Esses trabalhos foram fundamentais para o reconhecimento da geologia e da paleontologia da Bacia do Parnaíba e auxiliaram no posicionamento estratigráfico de suas unidades geológicas. Embora os fósseis corpóreos sejam menos expressivos na Formação Pimenteira em relação às outras formações devonianas, essa unidade é rica no registro de icnofósseis de invertebrados (Fernandes *et al.*, 2002; Agostinho *et al.*, 2004; Agostinho, 2005; Gracioso, 2011; Agostinho *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2012). Apesar disso, estudos icnofaciológicos e paleoambientais relativos à Formação Pimenteiras carecem de informações mais precisas nos trabalhos prévios sobre sua procedência, a localização das ocorrências icnofossilíferas e sua designação taxonômica em parte pela antiguidade dos registros e pela falta de uma localização geográfica mais precisa das exposições.

Estudos recentes têm tentado resgatar essas primeiras ocorrências e prospectar novos locais e icnofósseis (Gracioso, 2011; Agostinho *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2012), visando a sua inserção estratigráfica e ao detalhamento das interpretações icnofaciológicas.

O presente estudo é baseado em um levantamento de campo realizado em 2009, cujos dados foram preliminarmente reportados em um relatório interno da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (Silva, 2009). As identificações icnotaxonômicas desse relatório foram listadas por Silva *et al.* (2011) e posteriormente por Ponciano *et al.* (2012), sendo agora detalhadamente analisadas. Nesse sentido, o objetivo aqui é a identificação icnotaxonômica mais formal das ocorrências de icnofósseis e sua localização georreferenciada, bem como

a comparação com ocorrências similares. Busca ainda analisar os aspectos icnofaciológicos envolvidos e as consequentes inferências paleoambientais, contribuindo assim para futuros estudos de caráter mais regional com a sucessão da Formação Pimenteiras.

MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento de campo foi realizado em cinco municípios do estado do Piauí: Coronel José Dias, João Costa, Picos, Itainópolis e Pimenteiras. A maior parte dos afloramentos ocorre em cortes de estrada ou em áreas erosivas cujo acesso pode ser feito através de rodovias e estradas vicinais. Foram visitadas e georreferenciadas 19 localidades, das quais 10 apresentaram ocorrências icnofossilíferas (Figura 1; Tabela 1). Nessas localidades, foram levantados os fósseis encontrados, aspectos litológicos, o paleoambiente proposto, dados de localização e suas coordenadas geográficas, além de outras observações úteis.

Os icnofósseis foram fotografados e preliminarmente identificados em campo (Silva, 2009). As poucas amostras coletadas, visando à preservação das ocorrências, encontram-se depositadas na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, RJ. Posteriormente, os icnotaxons foram analisados e descritos taxonomicamente de acordo com a literatura especializada (Häntzschel, 1975; Chamberlain, 1977; Fillion e Pickerill, 1990; Seilacher e Seilacher, 1994; Mikuláš e Uchman, 1996; Uchman, 1998; Fernandes *et al.*, 2002; Agostinho *et al.*, 2004; Agostinho, 2005; MacEachern *et al.*, 2007). Em muitos casos, restringiu-se, por falta de maiores elementos, a sua determinação apenas a nível de icnogênero.

GEOLOGIA E ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Parnaíba ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km² e distribui-se por parte dos estados do Piauí, do Maranhão, do Tocantins, do

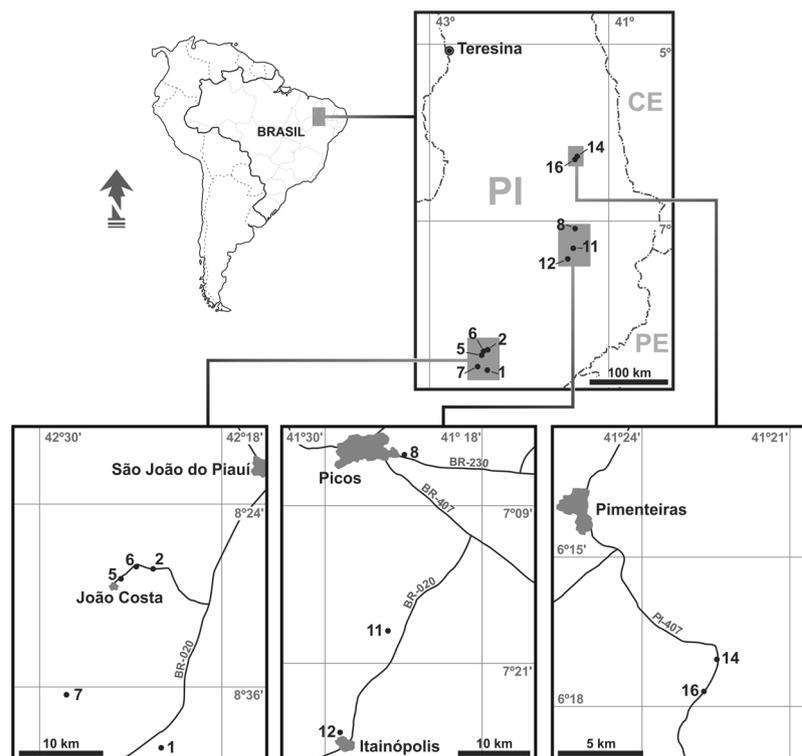


Figura 1. Mapa de localização dos pontos estudados no Estado do Piauí, Brasil.
Figure 1. Location map of studied outcrops in the State of Piauí, northeast Brazil.

Tabela 1. Localização dos afloramentos e pontos de ocorrência de icnofósseis para as áreas que expõem níveis da Formação Pimenteira no Estado do Piauí.**Table 1.** Location of the outcrops and sites related with Pimenteiras Formation, where the ichnological assemblages were detected.

Ponto (site)	localização (location)	Município (county)	coordenadas geográficas (geographic coordinates)
1	Localidade Capelinha, corte da rodovia BR 020, km 114	Coronel José Dias	08°39'55,3"S/42°22'02,2"O
2	Localidade Mucambo, corte da rodovia PI 466, km 12	João Costa	08°28'18,3"S/42°22'40,8"O
5	Corte da rodovia PI 466 além do km 12, a cerca de 1 km da cidade de João Costa	João Costa	08°28'18,7"S/42°24'44,8"O
6	Localidade Casa do seu Formiga, corte da rodovia PI 466, a cerca de 3 km da cidade de João Costa	João Costa	08°28'13,8"S/42°23'47,4"O
7	Localidade próxima a São João Vermelho, acesso a partir de estrada saído do Parque Nacional da Serra da Capivara	João Costa	08°36'30,5"S/42°28'19,6"O
8	Corte de estrada na saída de Picos em direção à Recife, BR 316, km 318	Picos	07°05'17,9"S/41°23'59,5"O
11	Corte da estrada Picos-Itainópolis, BR 020, 27 km após Picos	Itainópolis	07°18'38,1"S/41°25'14,3"O
12	Localidade na saída de Itainópolis pela rodovia "Frank Aguiar", BR 020, sentido Picos	Itainópolis	07°26'21,3"S/41°28'51,8"O
14	Localidade no entroncamento para Bocaina a partir de Pimenteiras, beira de estrada de terra	Pimenteiras	06°17'02,4"S/41°22'28,8"O
16	Localidade no entroncamento para Bocaina a partir de Pimenteiras, beira de estrada de terra	Pimenteiras	06°17'41,9"S/41°22'45,1"O

Pará, do Ceará e da Bahia, correspondendo à Província Estrutural Parnaíba (Brito, 1981; Góes e Feijó, 1994).

A Formação Pimenteira, juntamente com as formações Cabeças e Itaim, com as quais possui contatos concordantes e gradacionais (Vaz *et al.*, 2007), está inserida no grupo Canindé e corresponde à sequência mesodevoniana da Bacia do Parnaíba (Santos e Carvalho, 2009). As litologias são representadas principalmente por folhelhos cinza-esverdeados a pretos, com intercalações de siltitos e arenitos (Young, 2006). Os folhelhos são ricos em matéria orgânica, bioturbados, radioativos e marcam a ingressão marinha mais importante na bacia (Góes e Feijó, 1994). As associações de fácies indicam que a Formação Pimenteira foi depositada em ambientes marinhos plataformais rasos, dominados por tempestades (Borghini e Young, 2003).

O conteúdo fóssilífero da Formação Pimenteira inclui trilobitas, ostracodes, braquiópodes, moluscos bivalvíos, gastrópodes, tentaculídeos, hiolitídeos, escolocodontes, peixes e restos vegetais, presentes principalmente no lado leste da bacia (Agostinho *et al.*, 2004; Fernandes e Fonseca, 2005; Ponciano *et al.*, 2012). Os fósseis frequentemente são encontrados nos conglomerados basais e teriam sido remobilizados durante os eventos de tempestade (Santos e Carvalho, 2009).

As dez localidades estudadas, sua localização e número do ponto em campo são listados na Tabela 1 e, em geral, expõem rochas siliciclásticas com predominância de arenitos e siltitos.

O ponto 1 é um afloramento com cerca de 8 metros de altura, caracterizado por arenitos finos, siltitos e argilitos avermelhados a acinzentados, com estratificação plano-paralela. O ponto 2 expõe conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos finos tabulares, siltitos e argilitos avermelhados a acinzentados, com estratificação plano-paralela, marcas de ondulação e camadas em ângulo truncado. O ponto 5 apresenta arenitos finos tabulares, siltitos e argilitos avermelhados a acinzentados com estratificação plano-paralela. O ponto 6 mostra uma sucessão com granocrescência ascendente, composta por arenitos conglomeráticos, arenitos finos a médios e siltitos avermelhados a acinzentados com estratificação plano-paralela. O ponto 7 expõe arenitos siltosos finos a médios, tabulares e siltitos e argilitos avermelhados a acinzentados com estratificação plano-paralela, marcas de ondulação e concreções ferruginosas. No ponto 8, afloram arenitos finos a médios e siltitos esbranquiçados, cinza, e amarelados a avermelhados, com estratificação plano-paralela e cruzada do tipo *hummocky*, marcas onduladas e granodecrescência ascendente. O ponto 11 expõe conglomerados, arenitos con-

glomeráticos, arenitos finos a médios esbranquiçados a amarelados, siltitos acinzentados e azulados e é rico em concreções fossilíferas. O ponto 12 mostra conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos finos a médios esbranquiçados a amarelados e avermelhados, siltitos acinzentados a azulados, camadas tabulares e marcas onduladas. O ponto 14 expõe siltitos e arenitos finos a médios, tabulares, esbranquiçados a amarelados ou avermelhados. Finalmente, o ponto 16 é composto por arenitos finos a médios tabulares, esbranquiçados a amarelados e avermelhados, siltitos acinzentados a amarelados, e concreções limoníticas.

PALEONTOLOGIA SISTEMÁTICA

Arenicolites Salter, 1857

Arenicolites isp.
(Figura 2A)

Descrição: escavações em forma de U, simples, sem *spreite* ou intercruzamento, orientadas perpendicularmente à estratificação. O preenchimento das escavações é geralmente maciço, semelhante à rocha matriz.

Bergaueria Prantl, 1945

Bergaueria cf. *B. prantli* Ksiazkiewicz, 1977
(Figura 2B)

Descrição: escavações convexas semiesféricas preservadas como estruturas em hiporrelevo com preenchimento maciço, tipicamente inclinadas em uma direção, característica que diferencia esta icnoespécie. A parede das estruturas é lisa e podem ocorrer depressões centrais na base.

Bifungites Desio, 1940

Bifungites piauensis Agostinho, Viana e Fernandes, 2004
(Figura 2C)

Descrição: escavações constituídas por corpos terminais e eixo central. Os corpos terminais apresentam-se frequentemente em forma de seta. Podem preservar-se como epiorrelevo ou hiporrelevo convexo.

Bifungites munizii Agostinho, Viana e Fernandes, 2004
(Figura 2D)

Descrição: escavações constituídas por corpos terminais e eixo central. Os corpos terminais apresentam diferenças morfológicas e de dimensões entre si, sendo o maior em forma de âncora e o menor de contorno circular. O eixo central é retilíneo, subcilíndrico, sem variação de largura ao longo de seu comprimento. Podem preservar-se como epiorrelevo ou hiporrelevo convexo.

Cruziana d'Orbigny, 1842
Cruziana problematica (Schindewolf, 1921)
(Figura 2E)

Descrição: pistas alongadas, bilobadas, preservadas em hiporrelevo convexo. Apresentam cristas ou estrias transversais bem marcadas e oblíquas ao eixo principal, além de uma marca externa pouco acentuada. Os lobos são semicirculares e bem definidos.

Diplichnites Dawson, 1873
Diplichnites isp.
(Figura 2F)

Descrição: pistas simples constituídas por duas séries paralelas semelhantes,

embotadas a alongadas, com espaçamento próximo e regular, aproximadamente normais ao eixo da pista. São geralmente curtas e preservadas como hiporrelevo convexo.

Isopodichnus Bornemann, 1889
Isopodichnus isp.

Descrição: pistas bilobadas estreitas, retas ou curvas, com finas estriações transversais levemente oblíquas em relação ao eixo central, geralmente preservadas como hiporrelevo convexo.

Lockeia James, 1879
Lockeia siliquaria James, 1879
(Figura 2G)

Descrição: pequenas escavações horizontais oblongas, arredondadas ou apontando para ambos os lados, geralmente preservadas como hiporrelevo convexo. A superfície pode ser lisa, mas alguns exemplares apresentam uma crista longitudinal.

Lophoctenium Richer, 1850
Lophoctenium isp.
(Figura 2H)

Descrição: escavações em forma de feixes de ramificações muito pouco espaçadas, semelhantes a pentes e encurvadas para dentro, unindo-se para formar um eixo principal.

Neoskolithos Kegel, 1966
Neoskolithos picosensis Kegel, 1966
(Figura 3A)

Descrição: escavações verticais a levemente inclinadas, curtas e irregulares, de base geralmente arredondada, ocorrendo em grande abundância.

Palaeophycus Hall, 1847
Palaeophycus tubularis (Hall, 1847)

Descrição: escavações intraestratais retas a levemente curvas, ligeiramente onduladas a flexuosas, de superfícies lisas ou ornamentadas, geralmente cilíndricas e dispostas horizontalmente em relação à

estratificação. O preenchimento das escavações é tipicamente maciço, semelhante à rocha matriz. Podem ocorrer bifurcações sem dilatações nos pontos de ramificação.

Phycosiphon Fischer-Ooster, 1858
Phycosiphon incertum
(von Fischer-Ooster, 1858)
(Figura 3B)

Descrição: icnofósseis extensos, com *spreite* de pequena escala compreendendo lobos estreitos repetidos e em forma de U, encerrando um *spreite* de escala milimétrica a centimétrica, ramificando-se regularmente ou irregularmente a partir de um *spreite* axial de largura semelhante. Os lobos são protrusivos e paralelos ao acamamento.

Planolites Nicholson, 1873
Planolites beverleyensis (Billings, 1862)

Descrição: escavações de paredes definidas, raramente ramificadas, retas a sinuosas, lisas a irregularmente ornamentadas, horizontais e levemente inclinadas, com seção circular a elíptica, e de dimensões e configurações variáveis. Preenchimento biogênico, essencialmente maciço, diferindo da rocha matriz.

Protopalaeodictyon Ksiazkiewicz, 1970
Protopalaeodictyon spinata (Geinitz 1867)
(Figura 3C)

Descrição: o icnogênero é reconhecido pela presença de meandros hipicniais largos de primeira ordem e meandros de segunda ordem mais ou menos regulares, com um ou dois apêndices, geralmente originando-se da extremidade dos meandros de segunda ordem. Esta icnoespécie é diferenciada das demais por apresentar escavação com meandros de segunda ordem em forma de zigue-zague e um apêndice por ondulação.

Protovirgularia McCoy, 1850

Diagnose genérica: icnofósseis horizontais ou sub-horizontais cilíndricos, trapezoidais, triangulares em secção transversal, distinta ou indistintamente bilobados.

A estrutura interna pode ser preservada, sendo formada por sucessivas almofadas de sedimentos que podem ser expressos no exterior como costelas. As costelas estão dispostas no padrão de chevron bisserial ao longo da parte externa ou interna dorsal. Um manto exterior suave que cobre a estrutura e/ou terminações monticulares ovais podem estar presentes.

Protovirgularia aff. *P. rugosa*
(Miller & Dyer 1878)
(Figura 2I)

Descrição: escavações cilíndricas horizontais ou sub-horizontais, comumente curtas, terminadas em uma estrutura lisa ovalada e semelhante ao icnogênero *Lockeia*. Apresenta costelas fortemente marcadas. O eixo central é pouco evidente, aparecendo apenas em algumas

porções da escavação. Não se exclui a possibilidade desse exemplar corresponder a um novo icnotáxon, porém, o material é pouco representativo para tal. Discussão: esse material foi anteriormente referido como *Muensteria?* por Silva (2009), Silva *et al.* (2011) e Ponciano *et al.* (2012) sem uma descrição formal, porém, essa designação não é recomendada após as revisões de D’Alessandro e Bromley (1987), Mikuláš e Uchman (1996) e Uchman (1998). São preservadas como hiporrelevo convexo.

Protovirgulariadichotoma McCoy, 1850
(Figura 3D)

Descrição: escavações horizontais ou sub-horizontais preservadas como um eixo central e curtos apêndices cuneiformes pareados e laterais ou uma série

de cálices invaginados afinando ao longo de seu comprimento.

Rusophycus Hall, 1852
Rusophycus biloba (Vanuxem, 1842)
(Figura 3E)

Descrição: escavações bilobadas de orientação horizontal, com grossas estriações transversais bifidas e levemente oblíquas ao eixo principal. Não ocorrem impressões da *caxae*. Os lobos apresentam forma oval. Geralmente encontram-se preservadas como hiporrelevo convexo.

Scolicia De Quatrefages, 1849
Scolicia prisca De Quatrefages, 1849
(Figura 3F)

Descrição: pista meandrante, tripartite, em forma de U em seção transversal, preservada em epiorrelevo côncavo ou relevocheio com base e paredes laterais. A base é côncava e estreita, ou achatada e larga, apresentando lâminas transversais aproximadamente bisseriais. Paredes laterais com lâminas curvas diferenciadas, separadas da base por dois sulcos ou por dois “colares” de sedimento, discretos e lisos.

Discussão: esta icnoespécie difere das demais do icnogênero por apresentar sulco trilobado epicinial com fundo levemente côncavo e semicircular, preenchimento em lâminas oblíquas com finas estriações transversais, densamente empacotadas na parte inferior, e costelas assimétricas mais grossas nas lâminas.

Skolithos Haldeman, 1840
Skolithos linearis Haldeman, 1840

Descrição: escavações tubulares simples, cilíndricas, orientadas verticalmente em relação à estratificação com comprimento sempre maior que a largura.

Zoophycos Massalongo, 1855
Zoophycos isp.
(Figura 3G)

Descrição: escavações de orientação horizontal à oblíqua que apresentam uma estrutura helicoidal como resultado da sobreposição de galerias em U com *spreite*.

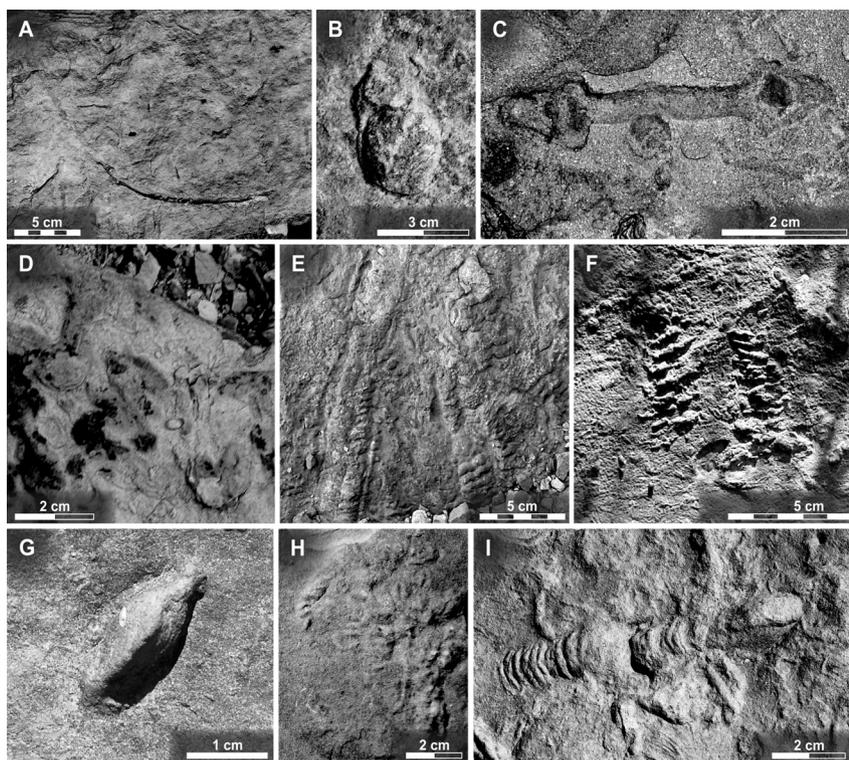


Figura 2. Icnofósseis registrados para os distintos afloramentos da Formação Pimenteiras. A. *Arenicolites* isp.; B. *Bergaueria* cf. *B. prantli*; C. *Bifungites piauiensis*; D. *Bifungites munizi*; E. *Cruziana problematica*; F. *Diplichnites* isp.; G. *Lockeia siliquaria*; H. *Lophoctenium* isp.; I. *Protovirgularia* aff. *P. rugosa*.

Figure 2. Distinct ichnofossils registered to the outcrops of Pimenteira Formation. A. *Arenicolites* isp.; B. *Bergaueria* cf. *B. prantli*; C. *Bifungites piauiensis*; D. *Bifungites munizi*; E. *Cruziana problematica*; F. *Diplichnites* isp.; G. *Lockeia siliquaria*; H. *Lophoctenium* isp.; I. *Protovirgularia* aff. *P. rugosa*.

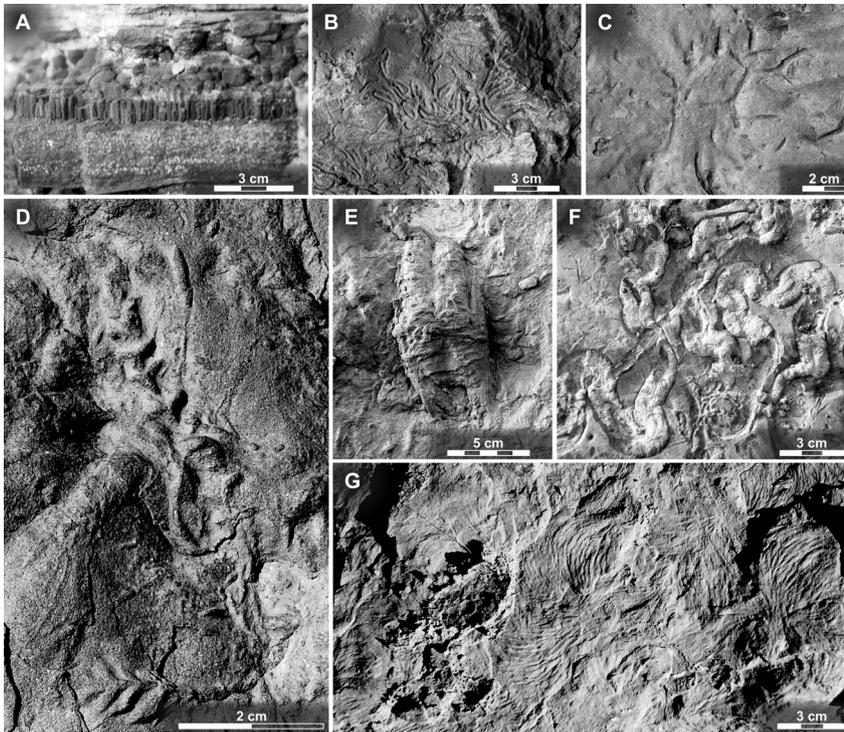


Figura 3. Icnofósseis registrados para os afloramentos da Formação Pimenteira. **A.** *Neoskolithos picosensis*; **B.** *Phycosiphon incertum*; **C.** *Protopalaeodictyon spinata*; **D.** *Protovirgularia dichotoma*; **E.** *Rusophycus biloba*; **F.** *Scolicia prisca*; **G.** *Zoophycos* isp. **Figure 3.** Distinct ichnofossils registered to the outcrops of Pimenteira Formation. **A.** *Neoskolithos picosensis*; **B.** *Phycosiphon incertum*; **C.** *Protopalaeodictyon spinata*; **D.** *Protovirgularia dichotoma*; **E.** *Rusophycus biloba*; **F.** *Scolicia prisca*; **G.** *Zoophycos* isp.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cerca de 30 icnogêneros haviam sido previamente reconhecidos na literatura para a Formação Pimenteira (Agostinho, 2005; Agostinho *et al.*, 2004; Agostinho *et al.*, 2012; Fernandes *et al.*, 2002; Fernandes *et al.*, 2012; Gracioso, 2011; Silva, 2009; Silva *et al.*, 2011), sendo 13 deles em nível icnoespecífico, num total de 17 icnoespécies conhecidas. Com a revisão feita, 34 icnotáxons foram considerados válidos, incluindo os previamente descritos: *Arenicolites* isp., *Asteriacites lumbricalis*, *A. stelliforme*, *Bergaueria hemispherica*, *Bifungites pianiensis*, *B. fezzanensis*, *B. munizi*, *Cruziana problematica*, *Diplichnites* isp., *Diplocraterion* isp., *Granularia* isp., *Helminthopsis* isp., *Isopodichnus* isp., *Lockeia* isp., *Lophoctenium* isp., *Merostomichnites pianiensis*, *Monomorphichnus* isp., *Neoskolithos picosensis*, *Nereites* cf. *N. missouriensis*, *Palaeohelminthoida* isp.,

Palaeophycus tubularis, *Phycosiphon incertum*, *Planolites beverleyensis*, *Protopalaeodictyon* isp., *Protovirgularia*?, *Rhizocorallium jenense*, *Rusophycus dispar*, *R. polonica*, *Scolicia* isp., *Skolithos* isp., *Spirophyton* isp., *Thalassinoides horizontalis*, *Trichophycus* isp. e *Zoophycos* isp. Além disso, são fornecidos e/ou confirmados os dados de localização das ocorrências por suas coordenadas geográficas, disponíveis apenas em parte dos trabalhos prévios feitos (e.g. Agostinho, 2005; Silva, 2009; Gracioso, 2011; Silva *et al.*, 2011; Agostinho *et al.*, 2012).

Para as localidades aqui estudadas, foram identificados 20 icnotáxons, além de estruturas de escape (Tabela 2). A maior parte dos icnogêneros identificados já havia sido reconhecida para a Formação Pimenteira. O icnogênero *Protovirgularia*, contudo, atribuído à locomoção de moluscos bivalvíos (Lucas e Lerner, 2005; Uchman e Gazdzicki, 2006), embora preliminarmente reconhecido em rela-

tório interno da CPRM (Silva, 2009) e citado em Silva *et al.* (2011) e Ponciano *et al.* (2012), é, pela primeira vez, formalmente descrito para a formação, confirmando sua ocorrência. A revisão dos dados de Silva (2009) permitiu também a identificação inédita de oito icnoespécies, a saber, *Bergaueria* cf. *B. prantli*, *Lockeia siliquaria*, *Protopalaeodictyon spinata*, *Protovirgularia* aff. *P. rugosa*, *P. dichotoma*, *Rusophycus biloba*, *Scolicia prisca* e *Skolithos linearis*. *Neoskolithos*, forma típica da Formação Pimenteira, já registrada na maior parte dos estudos prévios para a Bacia do Parnaíba (Kegel, 1966; Agostinho, 2005; Gracioso, 2011), foi recentemente reinterpretado. Estudos recentes de microbialitos mostraram que a associação entre cianobactérias e determinados processos geológicos podem formar estruturas semelhantes àquelas atribuídas a este icnogênero (Noffke *et al.*, 2001). Dessa forma, novos estudos são necessários para verificar a validade desse táxon.

Dentre as exposições analisadas neste trabalho, duas coincidem com localidades estudadas por Agostinho (2005). Contudo, há diferenças na composição icnofaunística observada, com o registro, no ponto 8, de *Skolithos*, *Lophoctenium* e *Rusophycus*, icnogêneros não reconhecidos anteriormente. No ponto 7, foram registrados *Skolithos*, *Bergaueria* e *Protovirgularia*, distintos dos reconhecidos por Agostinho (2005), que havia registrado *Lockeia* e *Phycosiphon* para esta localidade, e não foram observados neste estudo.

Recentemente, Gracioso (2011) realizou um estudo da icnofauna em três localidades da Formação Pimenteira no estado do Piauí. Dentre as icnoespécies encontradas, registrou *Asteriacites lumbricalis*, *Helminthopsis* isp., *Monomorphichnus* isp., *Nereites?* isp., *Rhizocorallium jenense* e *Thalassinoides horizontalis*, formas não identificadas no presente estudo. Apenas um dos três pontos analisados por Gracioso (2011) localiza-se próximo ao descrito previamente por Agostinho (2005) e neste trabalho. A região comum aos três estudos envolve o ponto 1 descrito por Gracioso (2011), o ponto 8 de Agostinho (2005) e o ponto 7 deste trabalho.

Tabela 2. Os diferentes tipos de icnofósseis registrados para os locais de exposição da Formação Pimenteira nos distintos pontos estudados.
Table 2. Distinct ichnofossils described to each site of the prospected area from the Pimenteiras Formation.

Ponto/ (site)	Icnofósseis identificados (<i>ichnofossils</i>)
1	<i>Neoskolithos picosensis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Lockeia siliquaria</i> , <i>Rusophycus biloba</i>
2	<i>Skolithos linearis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Lockeia siliquaria</i> , <i>Rusophycus biloba</i> , <i>Isopodichnus</i> isp., <i>Cruziana problematica</i> , <i>Scolicia prisca</i> , <i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Bergaueria</i> cf. <i>prantli</i> , <i>Lophoctenium</i> isp., <i>Phycosiphon incertum</i> , <i>Diplichnites</i> isp., <i>Protopalaeodictyon spinata</i> , <i>Bifungites piauiensis</i>
5	<i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Lophoctenium</i> isp.
6	<i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Lockeia siliquaria</i> , <i>Rusophycus biloba</i> , <i>Isopodichnus</i> isp., <i>Cruziana problematica</i> , <i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Lophoctenium</i> isp., <i>Phycosiphon</i> , <i>Diplichnites</i> isp., <i>Bifungites piauiensis</i> , <i>Protovirgularia dichotoma</i>
7	<i>Skolithos linearis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Bergaueria</i> cf. <i>prantli</i> , <i>Bifungites piauiensis</i> , <i>Protovirgularia</i> aff. <i>rugosa</i>
8	<i>Skolithos linearis</i> , <i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Lophoctenium</i> isp., <i>Rusophycus biloba</i>
11	<i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Lockeia siliquaria</i> , <i>Bifungites piauiensis</i> , <i>Bifungites munizi</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Rusophycus biloba</i>
12	<i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Zoophycos</i> isp., estruturas de escape, <i>Arenicolites</i> isp., <i>Rusophycus biloba</i> , <i>Neoskolithos picosensis</i>
14	<i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Arenicolites</i> isp., <i>Skolithos linearis</i>
16	<i>Planolites beverleyensis</i> , <i>Palaeophycus tubularis</i> , <i>Lophoctenium</i> isp., <i>Skolithos linearis</i> , <i>Bifungites munizi</i>

Esses pontos apresentam uma diversidade icnológica distinta, com formas comuns se restringindo aos icnogêneros *Bifungites* e *Palaeophycus*. Além disso, icnitos reconhecidos por Gracioso (2011) como *Thalassinoides* foram determinados como *Protopalaeodictyon* por Agostinho (2005) e confirmados no presente trabalho. Os afloramentos estudados por Agostinho (2005) são geograficamente mais próximos daqueles aqui abordados, o que pode explicar a maior semelhança entre as assembleias de icnofósseis. Entre as formas reconhecidas por esse autor, o único não encontrado no presente estudo é *Asteriacites*.

Os depósitos da Formação Pimenteira têm sido interpretados como antigos sistemas deposicionais marinhos de águas plataformais rasas, infraneríticas a litorâneas, e planícies de maré de baixa energia (Agostinho, 2005; Vaz *et al.*, 2007), com ocasionais exposições subaéreas devidas às oscilações do nível do mar. A presença das icnofácies *Cruziana* e *Zoophycos* apoia essas interpretações.

A icnofácies *Cruziana* é típica de ambientes marinhos rasos e marca as zonas situadas entre os níveis de base da ação das ondas de tempestade e os das ondas normais, na transição entre o

shoreface inferior e *offshore* inferior, onde as condições de energia são moderadas a baixas. Compreende estruturas horizontais, inclinadas e verticais de uma ampla gama de categorias etológicas, incluindo pistas de locomoção epiestratais e endoestratais, pistas de descanso, estruturas de habitação e de alimentação, produzidas por organismos de hábitos distintos, entre predadores, suspensívoros, depositívoros ou detritívoros. Embora tenham sido observados domicílios permanentes, a maioria das estruturas representa ocupação temporária, evidenciando a grande mobilidade dos elementos da fauna bentônica (Buatois *et al.*, 2002; Bromley, 1996; MacEachern *et al.*, 2007).

Entre os icnogêneros mais típicos desta icnofácies, de diversidade e abundância caracteristicamente altas, *Cruziana*, *Diplichnites*, *Rusophycus*, *Lockeia* e *Scolicia* estão presentes na Formação Pimenteira, tendo sido reconhecidos nas localidades 1, 2, 6, 7 e 11.

A icnofácies *Zoophycos* é caracterizada pela dominância de estruturas de alimentação relativamente complexas, geralmente com estruturas de acúmulo conhecidas como *spreite*, e por sua icnodiversidade tipicamente baixa (Buatois *et al.*, 2002; MacEachern *et al.*, 2007). Essa

icnofácies é característica de ambientes rasos durante o Paleozóico, passando a caracterizar ambientes mais profundos a partir do Mesozóico. Elementos representativos desta icnofácies ocorrem mais comumente em ambientes marinhos, desde abaixo do nível de base das ondas de tempestade até águas mais profundas sob condições de baixa oxigenação e alto aporte de nutrientes (Buatois *et al.*, 2002; Bromley, 1996; MacEachern *et al.*, 2007). Os icnogêneros mais típicos dessa icnofácies na Formação Pimenteira são *Zoophycos*, *Lophoctenium* e *Phycosiphon*, o que reflete a atividade de uma fauna majoritariamente depositívora. Essa icnofácies foi reconhecida na localidade 12 e, possivelmente, nas localidades 5, 8 e 16.

CONCLUSÃO

A análise feita para os icnofósseis da Formação Pimenteira no estado do Piauí permitiu o reconhecimento de 20 icnotáxons em dez localidades georreferenciadas e o registro inédito e formalizado do icnogênero *Protovirgularia* e de mais oito icnoespécies.

A análise dos icnofósseis e suas associações icnofaciológicas, além de ampliar o conhecimento acerca da distribuição

das icnofaunas devonianas da Bacia do Parnaíba, demonstrou se tratar de uma eficiente ferramenta para a interpretação paleoambiental da região. O reconhecimento das icnofácies Cruziana e Zoophycos corrobora as informações prévias existentes de uma deposição para esta unidade, ocorrida em um contexto marinho de plataforma rasa e/ou planícies de maré de baixa energia.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao CPRM – Serviço Geológico do Brasil pelo apoio financeiro. A Vera Maria Medina da Fonseca (Museu Nacional/UFRJ), Sandro Marcelo Scheffler (UNIFESP), Luiza Corral Martins de Oliveira Ponciano (UFRJ) e Luciano Gandin Machado (UFRJ) pelo auxílio durante a pesquisa de campo. Ao Dr. Alfred Uchman (Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Cracóvia, Polônia) pelo auxílio nas questões icnotaxonômicas.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, S. 2005. *Revisão sistemática de icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da bacia do Parnaíba, no Estado do Piauí*. Rio de Janeiro, RJ. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 123 p.

AGOSTINHO, S.; VIANA, M.S.S.; FERNANDES, A.C.S. 2004. Duas novas icnoespécies de *Bifungites* Desio, 1940 na Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **62**(4):519-530.

AGOSTINHO, S.; BATISTA, Z.B.; BARROS, C.L.; GOMES, C.R.; SANTOS, C.A. 2012. Icnofósseis devonianos da Formação Pimenteira, Estado do Piauí, e suas aplicações paleoambientais e paleogeográficas. *Estudos Geológicos*, **22**(1):117-130.

BORGHI, L.; YOUNG, C.G.K. 2003. Winnowed boulder lag: a tsunamite in the Devonian of Parnaíba Basin. In: LATINAMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3, Belém, 2003. *Abstracts*. Belém, p. 158-160.

BRITO, I.M. 1981. Estratigrafia da Bacia do Parnaíba II – As seqüências Sedimentares Superiores. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **9**:529-549.

BROMLEY, R.G. 1996. *Trace fossils. Biology, taphonomy and applications*. 2ª ed., London, Chapman & Hall, 361 p.

BROMLEY, R.G.; ASGAARD, U. 1991. Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies. *Letbaia*, **24**:153-163.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1502-3931.1991.tb01463.x>

BUATOIS, L.A.; ENCINAS, A. 2006. La icnofacies de Glossifungites en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, Plioceno de la Cordillera de la Costa, Chile: su significado estratigráfico-secuencial. *Ameghiniana*, **43**:3-9.

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. 2003. Sedimentary facies and depositional evolution of the Upper Cambrian to Lower Ordovician Santa Rosita Formation in northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, **16**:343-363.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00097-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00097-X)

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G.; ACEÑO-LAZA, F.G. 2002. *Trazas fósiles: señales de comportamiento en el registro estratigráfico*. Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew, 382 p.

CHAMBERLAIN, C.K. 1977. Ordovician and Devonian Trace Fossils from Nevada. *Nevada Bureau of Mines and Geology*, **90**:1-24.

D'ALESSANDRO, A.; BROMLEY, R.G. 1987. Meniscate trace fossils and the *Muensteria-Taenidium* problem. *Palaentologia*, **39**(4):743-763.

FERNANDES, A.C.S.; FONSECA, V.M.M. 2005. A contribuição de Ignácio Aureliano Machado Brito à icnologia brasileira. *Arquivos do Museu Nacional*, **63**(3):619-624.

FERNANDES, A.C.S.; BORGHI, L.; CARVALHO, I.S.; ABREU, C.J. 2002. *Guia dos icnofósseis de invertebrados do Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 260 p.

FERNANDES, A.C.S.; CARVALHO, I.S.; AGOSTINHO, S. 2007. Icnofósseis: conceitos gerais. In: I.S. CARVALHO; A.C.S. FERNANDES (eds.), *Icnologia*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 8-23. (Série Textos nº 3).

FERNANDES, A.C.S.; FONSECA, V.M.M.; PONCIANO, L.C.M.O. 2012. Icnofósseis da Bacia do Parnaíba: as contribuições de Wilhelm Kegel. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **15**(2):153-163.

<http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2012.2.04>

FILLION, D.; PICKERILL, R.K. 1990. Ichnology of the Upper Cambrian? to Lower Ordovician Bell Island and Wabanagroups of Eastern Newfoundland, Canada. *Palaentographica Canadiana*, **7**:1-83.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**:57-67.

GRACIOSO, D.E. 2011. *Icnofósseis de invertebrados da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro, RJ. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 49 p.

HÄNTZSCHEL, W. 1975. Trace fossils and problematica. In: C. TEICHERT (ed.), *Treatise of Invertebrate Paleontology*. 2ª ed., part W, Miscellaneous, Supp 1. Boulder/Lawrence, University of Kansas and Geological Society of America, p.W1-W269.

KEGEL, W. 1953. *Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia. *Boletim DNPMP*, **14**, 48 p.

KEGEL, W. 1957. Sobre vermes recentes e fósseis. *Notas Preliminares e Estudos DNPMP-DGM*, **100**:1-11.

KEGEL, W. 1961. Rasto de um trilobita (?*Homalonotus*) do Devoniano Inferior do Piauí. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **33**(2):163-167.

KEGEL, W. 1965a. *Rastos de Bilobites no Devoniano Médio do Piauí*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Avulso, vol. 40, p. 55-56.

KEGEL, W. 1965b. Rastos de Bilobites no Devoniano Médio do Piauí. *Notas Preliminares e Estudos DNPMP-DGM*, **122**:1-11.

KEGEL, W. 1966. Rastos do Devoniano da Bacia do Parnaíba. *Boletim DNPMP-DGM*, Rio de Janeiro, vol. 233, 32 p.

LOCKLEY, M.G. 2007. A tale of two ichnologies: the different goals and missions of invertebrate and vertebrate ichnotaxonomy and how they relate in ichnofacies analysis. *Ichnos*, **14**:39-57.

<http://dx.doi.org/10.1080/10420940601006818>

LUCAS, S.; LERNER, A.J. 2005. Lower Pennsylvanian Invertebrate Ichnofossils From The Union Chapelmine, Alabama: A Preliminary Assessment. In: R.J. BUTA; A.K. RINDSBERG; D.C. KOPASKA-MERKEL (eds.), *Pennsylvanian Footprints in the Black Warrior Basin of Alabama*. Alabama, Paleontological Society Monograph 1, p. 147-152.

MACEACHERN, J.A.; PEMBERTON, S.G.; GINGRAS, M.K.; BANN, K.L. 2007. The Ichnofacies Paradigm: a fifty-year retrospective. In: W.C. MILLER (ed.), *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. Amsterdam, Elsevier, p. 52-77.

<http://dx.doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50130-3>

MIKULÁS, R.; UCHMAN, A. 1996. Note on rediscovered type and figured material relating to *Muensteria* Sternberg 1833. *Ichnos*, **4**(4):305-309.

<http://dx.doi.org/10.1080/10420949609380138>

NOFFKE, N.; GERDES, G.; KLENKE, T.; KRUMBEIN, W. E. 2001. Microbially induced sedimentary structures - a new category within the classification of primary sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, **71**:649-656.

<http://dx.doi.org/10.1306/2DCC4095D-0E47-11D7-8643000102C1865D>

PONCIANO, L.C.M.O.; CASTRO, A.R.S.F.; FONSECA, V.M.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 UFRJ*, **35**(1):5-27.

http://dx.doi.org/10.11137/2012_1_05_27

SANTOS, M.E.; CARVALHO, M.S.S. 2009. *Paleontologia das Bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís: reconstruções paleobiológicas*. Rio de Janeiro, CPRM, 211 p.

SEILACHER, A. 2007. *Trace Fossil analysis*. Heidelberg, Springer, 226 p.

SEILACHER, A.; SEILACHER, E., 1994. Bivalvian trace fossils: a lesson from actinopaleontology. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **169**:5-15.

SILVA, R.C. 2009. *Viagem de campo ao Piauí (21 de agosto a 04 de setembro de 2009) em colaboração com pesquisadores do Museu Nacional e Instituto de Geociências (UFRJ), visando à obtenção de dados para inclusão na Base Pale e Geobank*. Rio de Janeiro, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Relatório Interno, 13 p.

- SILVA, R.C.; DOMINATO, V.H.; FERNANDES, A.C.S. 2011. Novas observações sobre icnofósseis devonianos da Formação Pimenteira, Bacia do Parnaíba, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 12, Natal, 2011. *Atas...* Natal, p. 483-485.
- UCHMAN, A. 1998. Taxonomy and ethology of flysch trace fossils: revision of the Marian Książkiewicz collection and studies of complementary material. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, **68**:105-218.
- UCHMAN, A.; GAZDZICKI, A. 2006. New trace fossils from the La Meseta Formation (Eocene) of Seymour Island, Antarctica. *Polish Polar Research*, **27**(2):153-170.
- VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; WANDERLEY-FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A.S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2):253-263.
- YOUNG, C.G.K. 2006. *Estratigrafia de alta-resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba)*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 170 p.

Submitted on March 8, 2012

Accepted on April 15, 2013