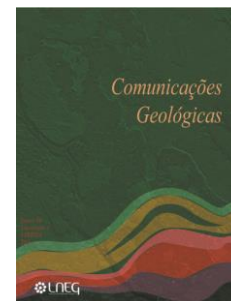


## *Paleodictyon maximum*: forma típica da Icnofácies de *Nereites* em ambiente de rampa carbonatada do Jurássico Médio da Praia da Mareta (Bacia do Algarve, Portugal)

## *Paleodictyon maximum*: typical trace fossil of the *Nereites* ichnofacies in carbonate ramp environment from the Middle Jurassic of Mareta beach (Algarve Basin, Portugal)



C. Neto de Carvalho<sup>1\*</sup>, P. Fernandes<sup>2</sup>, J. T. Oliveira<sup>3</sup>, J. A. M. Anacleto<sup>4</sup>

Recebido em 05/04/2020 / Aceite em 23/10/2020

Publicado online em novembro de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original  
Original article

**Resumo:** O presente trabalho descreve a ocorrência de um exemplar de *Paleodictyon maximum* proveniente de ambientes de rampa carbonatada do Jurássico Médio (Bajociano superior) da Bacia do Algarve e discute as suas implicações para a compreensão do ambiente deposicional da sequência da Praia da Mareta, bem como para o comportamento do organismo produtor. Forma arquetípica da Icnosubfacies de *Paleodictyon* de ambientes marinhos profundos turbidíticos, mostra no Mesozoico, pelo menos, ser uma relíquia ecofenotípica do Paleozoico e ocorre, com uma relativamente ampla distribuição paleogeográfica, em ambientes de plataforma associados a eventos de sedimentação (tempestíticos, turbidíticos). Níveis de sedimentação elevados terão possibilitado a preservação deste *Paleodictyon* ao limitar a bioturbação subsequente. O exemplo de *P. maximum* da Praia da Mareta serve ainda para mostrar que, para a identificação das icnofácies e correspondentes interpretações paleoambientais e batimétricas, é fundamental identificar associações de icnofósseis ou icnocenoses recorrentes e não apenas icnofósseis individuais, integrando a informação sedimentológica e icnológica, para além de enquadrá-las no contexto paleoecológico evolutivo para o período cronoestratigráfico que representam.

**Palavras-chave:** *Paleodictyon maximum*, icnoassociação, ambientes deposicionais, rampa média, Jurássico Médio, Bacia do Algarve.

**Abstract:** This work describes the occurrence of one specimen of *Paleodictyon maximum* from the Middle Jurassic (upper Bajocian) carbonate succession of Mareta Beach, Algarve Basin. It discusses its implications for the carbonate ramp environments of the Mareta Beach sequence, as well as the behaviour of its producer. Archetypal trace fossils from the *Paleodictyon* Ichnosubfacies, associated with deep-sea turbidite environments that occur in the Mesozoic, are interpreted to be an ecofenotypical relict from the Paleozoic Evolutionary Fauna. It occurs with relatively wide paleogeographical distribution in shelfal environments associated with event beds (tempestites, prodelta turbidites). High sedimentation rates may have allowed the preservation of this *Paleodictyon*, by limiting subsequent bioturbation. The example of *P. maximum* from Mareta Beach section helps to show that, for the determination of ichnofacies and correspondent paleoenvironmental and bathymetric interpretations, the best method is to identify recurring ichnocenoses and not relying only in individual trace fossils. The integration of sedimentological and icnological information, together with the inclusion of this data within the evolutionary paleoecology of trace fossils for the chronostratigraphic time under analysis proved to be a powerful tool in basin analysis.

**Keywords:** *Paleodictyon maximum*, icnoassemblage, depositional environments, mid-ramp, Middle Jurassic, Algarve Basin.

<sup>1</sup> Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO. Serviço de Geologia do Município de Idanha-a-Nova. Centro Cultural Raiano, Av. Joaquim Morão 6060-101 Idanha-a-Nova; Colaborador do Instituto D. Luiz – Universidade de Lisboa, Portugal.

<sup>2</sup> CIMA, Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal. Associação para a Defesa e Divulgação do Património Geológico do Alentejo e Algarve (DPGA), Rua das Escolas, 8200-126 Albufeira, Portugal.

<sup>3</sup> Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG), Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Alfragide, Apdo 7586, 2610-999 Amadora, Portugal.

<sup>4</sup> Museu Geológico de Lisboa. LNEG – R. da Academia das Ciências, 19-2º, 1249-280 Lisboa, Portugal.

Autor correspondente/Corresponding author: carlos.praedichnia@gmail.com

### 1. Introdução

A análise de bacias sedimentares conta com vários métodos que permitem a definição dos ambientes deposicionais existentes. O modelo de Icnofácies foi introduzido inicialmente por Adolf Seilacher na década de 60 do séc. XX e define-se como associações de icnofósseis recorrentes em largos intervalos de tempo geológico e que são características de um conjunto bem definido de condições ambientais (e.g., Frey e Pemberton, 1984; MacEachern *et al.*, 2007, 2012; De, 2019). Os icnofósseis são estruturas sedimentares biogénicas primárias produzidas por organismos com comportamentos previsíveis, em resposta a variações ambientais, incluindo: variações de energia do meio, taxas de sedimentação, tipo e qualidade dos recursos alimentares, consistência e quantidade de água do substrato, salinidade e oxigenação, tempo de exposição, entre outros (MacEachern *et al.*, 2007). Como as litofácies, também as icnofácies respeitam a Lei de Walther, mostrando continuidade lateral e uma sucessão vertical previsível, permitindo construções cartográficas, como qualquer outro tipo de análise de fácies. Essencial ao conceito de icnofácies é a sua natureza arquetípica: o modelo de icnofácies funciona como modelo de fácies para icnocenoses recorrentes (Pemberton *et al.*, 1992). Estas associações de icnofósseis fortemente controladas por fácies de longo espectro temporal e geograficamente recorrentes refletem combinações específicas de comportamentos que definem as respostas animal-sedimento a condições ambientais ótimas (MacEachern *et al.*, 2007, 2012). Os

icnofósseis, como outras estruturas sedimentares, são reconhecíveis facilmente em afloramento ou em testemunhos de sondagens e a integração destes dados icnológicos e sedimentológicos constitui uma ferramenta poderosa na interpretação dos ambientes deposicionais do passado (*e.g.*, Olivero, 1996; Bayet-Goll *et al.*, 2020).

Os animais que exploram ambientes batiais inferiores e abissais enfrentam uma menor distribuição de recursos alimentares em comparação com os ambientes de plataforma continental, assim como uma sucessiva perturbação dos habitats por fortes correntes de turbidez oriundas de canhões submarinos, por exemplo. A Icnofácies de *Nereites* caracteriza-se pela grande diversidade, mas baixa abundância de icnofósseis constituídos, essencialmente, por estruturas horizontais complexas de alimentação e formas altamente padronizadas de domicílio/alimentação, incluindo numerosas pistas superficiais e sinuosas atribuíveis a depositívoros, necrófagos e a possíveis cultivadores de bactérias. *Paleodictyon* é um icnofóssil considerado diagnóstico da Icnofácies de *Nereites*. Pela sua malha hexagonal regular de galerias, *Paleodictyon* é o icnofóssil mais reconhecido do registo estratigráfico de ambientes deposicionais marinhos profundos, pelo menos desde os estudos pioneiros de Leonardo da Vinci (Baucon, 2010). Foi considerado um icnofóssil típico de fácies *flysch* por Seilacher (1974), sobretudo em formações turbidíticas do Cretácico Superior-Cenozoico alpino e pirinaico (Seilacher, 1977; Uchman, 1995; Monaco, 2008). Estas redes de galerias muito regulares tipificam fácies turbidíticas distais de maior energia, mais arenosas (Icnosubfacies de *Paleodictyon* de Seilacher, 1974). Assim, uma sucessão de Icnosubfacies de *Nereites-Paleodictyon-Ophiomorpha rudis* exprime uma tendência batimétrica, desde as partes mais distais às zonas mais proximais dos leques turbidíticos (Uchman, 2007).

Os limites batimétricos da Icnofácies de *Nereites* podem, no entanto, ser desafiados. Koriba e Miki (1939) descreveram *Paleodictyon* no Paleogénico em ambientes estuarinos de Kurisugawa-Mura, no Japão, incluindo a icnoespécie *P. majus*. Na Bacia de Sinop-Boyabat, na Turquia, a Icnosubfacies de *Paleodictyon* sobrepõe-se a calcários neríticos, numa sucessão do tipo plataforma externa (Uchman *et al.*, 2004). Esta Icnosubfacies chega mesmo a ocorrer em sequências tempestíticas intra-plataforma do Cretácico Superior da Tanzânia (Gierlowski-Kordesh e Ernst, 1987; Ernst e Zander, 1993). A Icnofácies de *Nereites* é ainda descrita por Olivero *et al.* (2010) em turbiditos pró-deltaicos, pouco profundos. Hatzpergue e Branger (1992) descreveram a presença de *Paleodictyon* na base de uma camada bioclástica nas *Marnes à Spongiaires* do Oxfordiano superior depositadas a uma profundidade deduzida como sendo inferior a 100 m. Fürsich *et al.* (2007) encontrou formas de *Paleodictyon* no Triássico Superior e no Jurássico Inferior e Médio do Irão, em níveis tempestíticos depositados em zona média a distal da plataforma continental. O mesmo acontece com as formas descritas por Zhou e Yuan (1992) no Devónico Superior da Província de Guizhou, na China. *Paleodictyon* foi ainda descrito em fácies neríticas do Cretácico Superior da Baviera (Schmidt *et al.* 2001) e do Pérmico Médio de Mungadan Sandstone na Bacia de Carnarvon, Austrália (Land e Chen, 2010). As formas de *Paleodictyon* foram ainda descritas em contextos lacustres, associados a turbiditos profundos (Yuan *et al.*, 2007) mas também a ambientes margino-lacustres (Yang *et al.*, 2003).

O presente trabalho descreve a ocorrência de um exemplar de *Paleodictyon* proveniente de ambientes de rampa carbonatada do Jurássico Médio da Bacia do Algarve e discute as suas implicações para a compreensão do ambiente deposicional. As associações paleontológicas presentes e, sobretudo, as

icnológicas, com esta forma de *Paleodictyon*, são características de ambientes marinhos relativamente pouco profundos.

## 2. Enquadramento estratigráfico

A Bacia do Algarve teve origem nas sucessivas fases de riftogénese do Oceano Atlântico Norte e Central, após a fragmentação do Pangeia. Durante o Jurássico estabeleceu-se nesta bacia um regime de rampas carbonatadas com um predomínio de calcários marinhos de baixa profundidade e de ciclos de calcários/margas de fácies hemipelágicas (Rocha, 1976; Manuppella *et al.*, 1988; Azerêdo *et al.*, 2003). A sequência tipo do Jurássico Médio, que preenche a sub-bacia de Sagres (Manuppella *et al.*, 1988; Terrinha *et al.*, 2006), aflora na Praia da Mareta (Figs. 1 e 2). Esta apresenta na base pequenas estruturas recifais estudadas por Rocha *et al.* (1972), as quais foram sujeitas a paleocarsificação e bioerosão algues durante o Aaleniano-Bajociano inferior (Rocha, 1976; Fig. 3a). Sobre estas sucedem-se calcários bioclásticos, calcários oolíticos e uma camada de brecha calcária, de maior desenvolvimento para oeste. Esta parte da sequência apresenta fauna peri-recifal e de talude recifal, cuja superfície superior se encontra bioerosionada. Em continuidade, ocorre uma sequência com cerca de 10 m de espessura de calcarenitos finos alternantes com margas. Aqui foram identificadas amonites, bivalves (entre os quais *Posidonia buchi* (Römer)), gastrópodes, equinodermes e foraminíferos (Rocha, 1976). A presença de amonites da zona de Subfurcatum, sub-zona de Aplous (Rocha, 1976) indicam uma idade Bajociano superior para esta parte da sequência. A identificação dos dinoflagelados *Ctenodinium cornigerum* e *Korystocysta pachyderma* é consistente com o intervalo Bajociano superior, pois nenhuma espécie de dinoflagelados típica do Batoniano foi encontrada, corroborando a idade obtida pelas faunas de amonites, para esta parte da sucessão (Borges *et al.*, 2011). Uma associação de foraminíferos bentónicos, dominada pela espécie *Spirillina tenuissima*, caracteriza esta parte da sucessão, sugerindo deposição nas regiões de rampa proximal/média com profundidades não superiores a 50 m (Gibling e Stuart, 1988). Esta parte da sucessão caracteriza-se, também, pela intensa bioturbação, incluindo grande abundância de icnofósseis do tipo *Zoophycos* (Fig. 3d), que se sobrepõem imediatamente ao nível de brecha calcária. *Zoophycos brianteus* Massalonge ocorre numa sequência de icnofábricas particularmente densos (icnofábricas índices 3 a 5: Neto de Carvalho e Rodrigues, 2002, 2003; Figs. 3b, c). A associação de superfícies bioerosionadas, o predomínio de uma fauna bentónica infratidal (incluindo *Posidonia buchi* e equinodermes), atividade de bioturbação abundante composta por galerias na sua maioria sub-horizontais a oblíquas (*Ancorichmus*, *Planolites*, *Thalassinoides*), bem como sistemas complexos do tipo *Zoophycos*, de grandes diâmetros, produzidas pela busca sistemática de alimento de organismos detritívoros e/ou depositívoros, apontam para ambientes marinhos trans-recifais, com longos períodos de paragem de sedimentação e outros de fornecimento alimentar abundante e condições tendencialmente disóxicas do substrato (presença de *Chondrites* e de fósseis piritizados nos níveis margosos intensamente bioturbados por *Zoophycos*). Para além da fauna pelágica, mas móvel, constituída por amonitese belemnites, não existem indicadores sedimentares, paleontológicos e, particularmente, paleoicnológicos, que permitam interpretar a deposição desta sequência como tendo sido realizada em ambiente marinho profundo, sendo atribuível a zona de rampa média (Neto de Carvalho e Rodrigues, 2003). O exemplar de *Paleodictyon* foi encontrado nesta parte da sucessão, nas camadas com *Zoophycos* (Fig. 2). No topo da sucessão anterior desenvolve-se uma sequência com 30 m de espessura, consistindo em alternâncias de

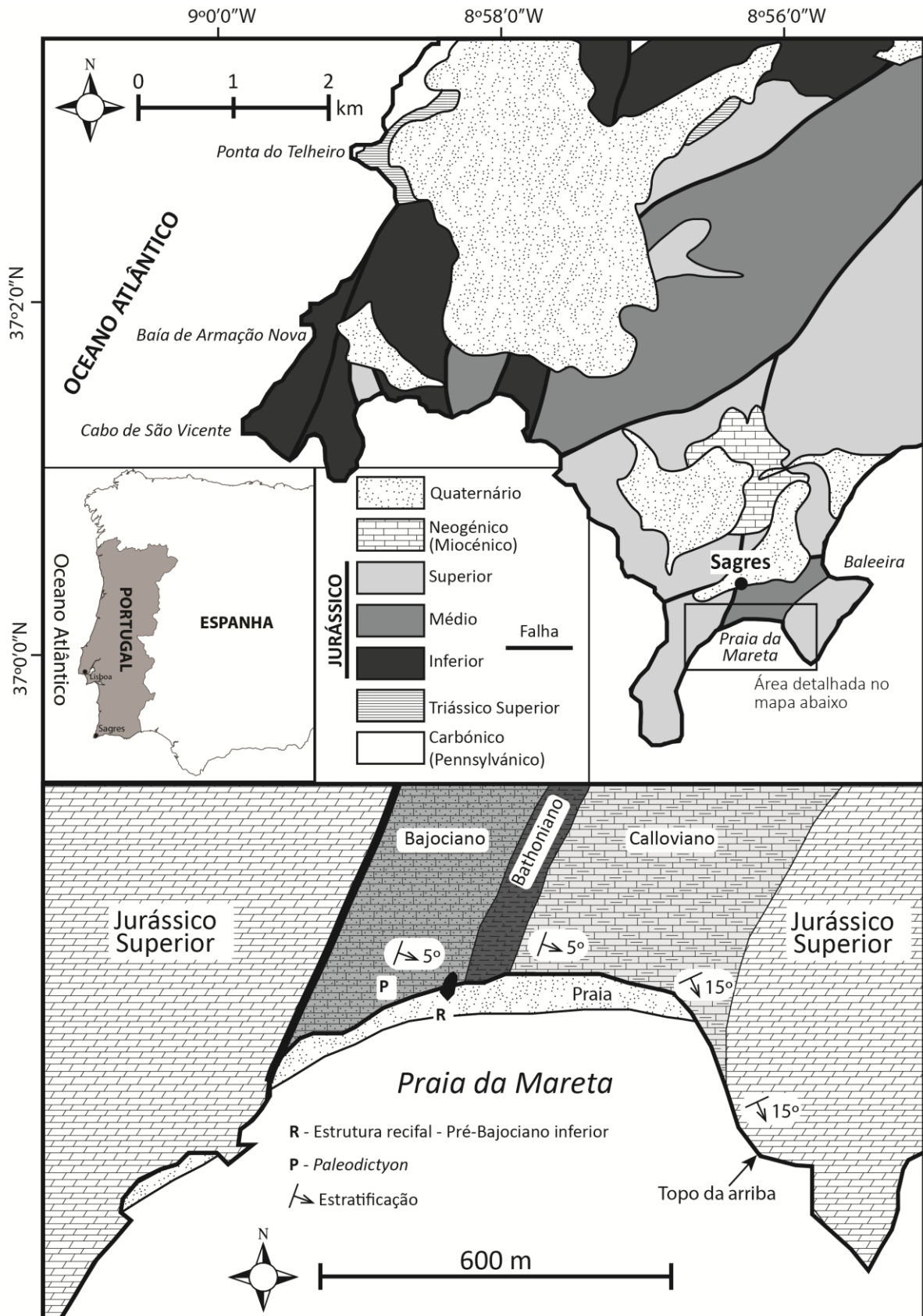


Figura 1. Mapas geológicos simplificados da região de Sagres e da Praia da Mareta (adaptado de Manuppella *et al.*, 1972; Borges *et al.*, 2011). As unidades estratigráficas remetem-se à Tabela Cronoestratigráfica Internacional da Comissão Internacional de Estratigrafia cuja última revisão em “Português Ibérico” data de 2017.

Figure 1. Simplified geological maps of Sagres and the Mareta beach (adapted from Manuppella *et al.*, 1972; Borges *et al.*, 2011).

margas e calcários margosos progressivamente mais finos, em que a bioturbação se torna cada vez menos intensa, composta sobretudo por *Thalassinoides* isp. e *Ancorichnus ancorichnus* Heinberg (Fig. 3e).

A estratificação ecológica (*tiering*) é semelhante às observadas no Jurássico Médio e no Cretáceo Inferior do sudeste de França, descritas por Olivero e Gaillard (1996) e Savary *et al.* (2004), com bioturbação em níveis relativamente superficiais (com *Zoophycos* e *Chondrites* como últimas estratégias de busca de alimento a serem desenvolvidas; Fig. 3f) de um substrato progressivamente mais coeso. A identificação de faunas de amonites das zonas Zig-Zag, Subcontractus e da sub-zona Retrocostatum, indicam que todo o Batoniano está representado nesta parte da sequência. Os quistos de dinoflagelados são relativamente abundantes nesta sucessão. A identificação da associação constituída por *Adnatosphaeridium*

*caulleryi*, *Ctenidodinium cornigerum*, *C. sellwoodii*, *C. spp.*, o grupo *Ellipsoidictyum/Valensiella*, *Gonyaulacysta jurassica* subsp. *adecta*, *Korystocysta* spp. e *Valensiella ovulum*, é típica do Batoniano (Borges *et al.*, 2011), corroborando a idade obtida pela fauna de amonites. A abundância de foraminíferos aglutinados nesta parte da sequência sugere a deposição a profundidades de 200 m ou superiores (Gibbling e Stuart, 1988), correspondente às zonas de rampa carbonatada distal (*outer ramp*).

A sequência do Jurássico Médio da Praia da Mareta termina com uma sucessão, com cerca de 70 m de espessura, que se inicia na base por margas, passando a topo para alternâncias de calcários e margas. Uma das características mais notáveis desta parte da sucessão são os inúmeros episódios de *slumps* que afectam, principalmente, as camadas de calcários margosos. O estudo das estruturas de *slumps* sugere a presença, durante o Jurássico Médio, de um paleodeclive inclinado para Sul (coordenadas actuais), e são interpretadas como o resultado de escorregamentos gravíticos ao longo deste paleodeclive, iniciados por sismos cuja origem estava, provavelmente, na atividade da dorsal do jovem Atlântico Norte (Gibbling e Stuart, 1988). Faunas de amonites indicam que a parte inferior, mais margosa, desta sucessão depositou-se no Calloviano inferior (zona da Herveyi), enquanto que a parte dominada pelos ciclos calcários – margas é do Calloviano médio a superior (zonas da Coronatum e Athleta, respectivamente).

### 3. Icnologia sistemática

Ícnogénero *Paleodictyon* Meneghini in Murchinson, 1850

Diagnóstico: Sistemas de galerias tridimensionais compostos por uma rede horizontal de malha regular a irregular, e por condutas verticais só ocasionalmente preservadas (Uchman, 1995).

*Paleodictyon maximum* (d'Eichwald, 1868)

(Fig. 4)

Diagnóstico: Forma de média dimensão com galerias robustas; dimensão da malha até 14 mm e diâmetro das galerias de 1,6-2,8 mm (Uchman, 1995).

Descrição: A classificação das icnospécies de *Paleodictyon* segue o esquema de Uchman (1995) que se baseia na razão entre a dimensão da malha e no diâmetro médio do sistema de galerias. A malha é relativamente regular com uma dimensão média de 10 mm; o diâmetro das galerias é de 2 mm. Alguns elementos da malha mostram-se distorcidos e, nalguns casos, faltam elementos de ligação, ou são muito superficiais, aumentando para o dobro a dimensão aparente da malha. O sistema de galerias encontra-se incompleto, mas mostra claramente uma estrutura convexa, mais marcada na sua parte central e com menor relevo, até as galerias desaparecerem nas áreas marginais. O preenchimento do sistema de galerias é feito com sedimento semelhante à matriz. A estrutura é intersectada por uma galeria horizontal meniscada do tipo *Ancorichnus*.

Comentários: A ligação do sistema de galerias, nas suas áreas marginais, ao plano de estratificação através de galerias de baixa inclinação (considerado próximo da interface água-sedimento) mostra que este exemplar de *Paleodictyon* foi produzido num nível superficial do substrato. A maior definição da malha central face às margens atesta uma estruturação em escudo côncavo no sentido da interface água-sedimento. O preenchimento do sistema de galerias em relação à matriz é evidência de uma selagem passiva da estrutura.

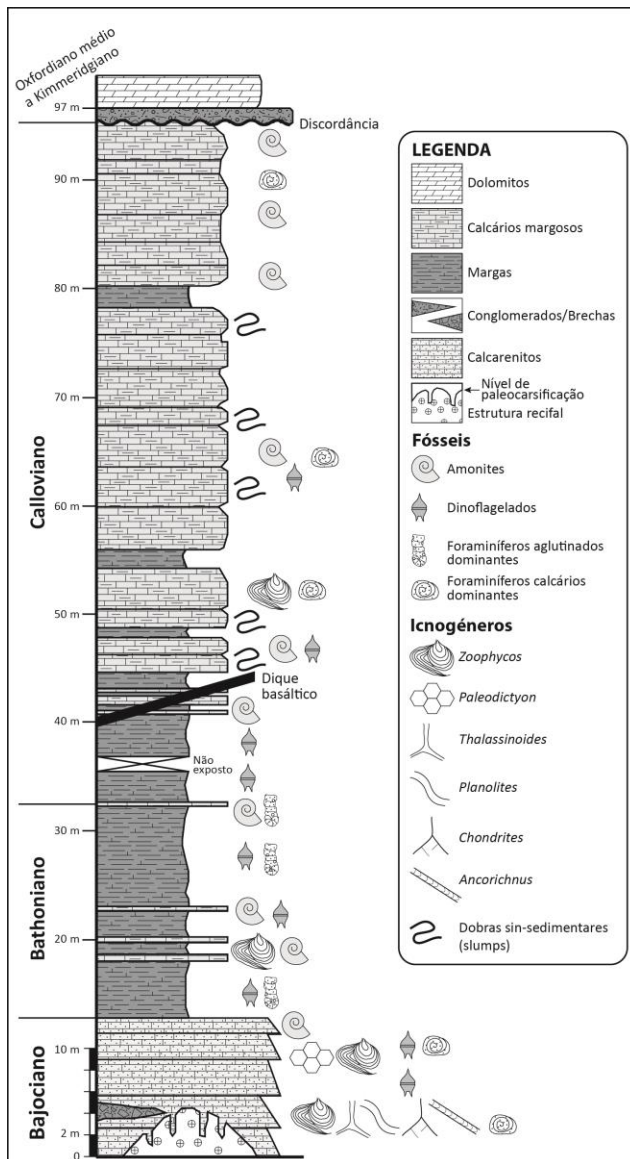


Figura 2. Coluna estratigráfica da sucessão do Jurássico Médio da Praia da Mareta, mostrando a posição do icnogénero *Paleodictyon*, assim como dos icnofósseis e dos principais grupos de microfósseis com interesse biostratigráfico associados (adaptado de Rocha, 1976; Borges *et al.*, 2011).

Figure 2. Stratigraphy of the Middle Jurassic succession of Mareta beach, showing the location where the *Paleodictyon* specimen was found, as well as the associated trace fossils and the main groups of microfossils with biostratigraphic interest (adapted from Rocha, 1976; Borges *et al.*, 2011).





Figura 3. Aspectos estratigráficos e icnológicos da sequência da Praia da Mareta. a – discordância de tipo *onlap*, entre a estrutura recifal e a sucessão calco-margosa do Bajociano superior; b – sucessão de calcarenitos margosos e margas intensamente bioturbadas (sinalizadas), características de ambientes de rampa carbonatada mais proximais; c – plano de estratificação com *Thalassinoides* isp. e *Planolites* isp.; d – unidade margosa intensamente bioturbada por *Zoophycos brianteus* Massalongo; e – *Ancorichnus ancorichnus* com espesso lining; f – sobreposição de *Chondrites* isp. às lâminas de *Zoophycos brianteus*. Diâmetro da moeda = 25 mm; comprimento da régua em b e c = 160 mm.

Figure 3. Stratigraphic and ichnological features from Mareta beach succession. a – *onlap*-type unconformity, between the reef structure and the upper Bajocian marl and limestone sequence; b – succession of marly calcarenites and highly bioturbated marls, which are characteristic from proximal carbonate ramp environments; c – bedding plane with *Thalassinoides* isp. and *Planolites* isp.; d – marl bed highly bioturbated by *Zoophycos brianteus* Massalongo; e – *Ancorichnus ancorichnus* with thick lining; f – *Chondrites* isp. cutting the laminae of *Zoophycos brianteus*. Scale in d, e, f: 25 mm.

#### 4. Discussão e conclusões

O *Paleodictyon* é um grafogliptídeo típico, que ocorre predominantemente em fácies marinhas profundas do tipo flysch, mas que também pode ocorrer ocasionalmente em depósitos marinhos de plataforma, sobretudo do Paleozoico, mas também

do Mesozoico (Häntzschel, 1964; Gierlowski-Kordesh e Ernst, 1987; Hantzprege e Branger, 1992; Uchman, 1995). As formas mais antigas de *Paleodictyon* foram reportadas no Câmbrio inferior da Polónia, Irlanda e Terra Nova (Paczesna, 1985; Crimes *et al.*, 1992; Jensen *et al.*, 2013) e estão associadas a ambientes marinhos de pequena profundidade relacionados com a abertura do Oceano Rheic (Brasier e Lindsay, 2001).



A sua ocorrência em ambientes marinhos profundos inicia-se a partir do Câmbrio médio (Jensen *et al.*, 2013) ou do Ordovício Inferior (Orr, 2001; Uchman, 2004), num período em que os organismos endobentônicos efectivamente colonizaram o fundo marinho oceânico (Uchman e Wetzel, 2012), por incremento da competição por espaço e/ou recursos nos ambientes marinhos mais superficiais (Orr, 2001). *Paleodictyon* torna-se um icnotáxon considerado restrito a ambientes marinhos profundos durante o Ordovício (Stanley e Pickerill, 1993; Uchman e Wetzel, 2012). No entanto, a sua expansão para nichos batiais e abissais continua a fazer-se sentir até durante o Mesozoico (Crimes *et al.*, 1992), mas persistindo em ambientes de plataforma média a distal sujeitos à influência das tempestades. Disto é exemplo as formas de *Paleodictyon* isp. descritas por Fürsich *et al.* (2007) e Bayet-Goll e Neto de Carvalho (2017) no Triássico Superior da Formação de Nayband (Irão), em ambiente interpretado como de plataforma aberta. As formas paleozóicas de *Paleodictyon* são normalmente de maiores dimensões do que as mesocenozóicas, havendo a tendência para uma miniaturização das icnospécies que ocorrem em sequências turbidíticas durante o Cenozoico (Uchman, 2007). Embora *P. maximum* possa já ocorrer em ambientes turbidíticos profundos a partir do Triássico Superior (*e.g.*, Wetzel *et al.*, 2007), esta icnospécie foi encontrada no Pérmico médio de fácies neríticas da Bacia de Carnarvon, Austrália Ocidental (Lan e Chen, 2010). Esta mesma icnospécie foi identificada por Olivero *et al.* (2010) em turbiditos eocénicos associados a ambientes marinhos pouco profundos, de alta energia e ricos em matéria orgânica. *P. cf. maximum* foi descrita por Kappel (2003) nas Beckum Beds campanianas da Bacia de Munique, associada a ambientes de plataforma. O mesmo acontece com *P. maximum* descritos por Fürsich *et al.* (2007) no Irão, na Formação de Shemshak, datada do Aaleniano superior, bem como nas formações de Delichai e Kashafud, contemporâneas da deposição da sequência da Praia da Mareta, correspondentes também a ambientes de plataforma média a distal. O *Paleodictyon maximum* do Bajociano superior da Praia da Mareta, e formas contemporâneas, ou outras observadas ao longo do Mesozoico, podem ser assim consideradas uma relíquia ecofenotípica do Paleozoico.



Figura 4. *Paleodictyon maximum* do Batoniano da praia da Mareta. Espécime com o número de inventário MG14217 das coleções do Museu Geológico do Laboratório Nacional de Energia e Geologia; escala gráfica de 10 mm.

Figure 4. *Paleodictyon maximum* from the Bathonian of Mareta beach. Specimen n. MG14217 in the collections from the Geological Museum of the Laboratório Nacional de Energia e Geologia; graphical scale = 10 mm.

Os grafogliptídeos são icnofósseis que ocorrem associados a depósitos turbidíticos. Estes padrões complexos e sistematizados de galerias de muito pequeno diâmetro ocorrem normalmente

preservados a muro das sequências de Bouma mais distais, como resultado da colonização de substratos firmes expostos pelas correntes turbidíticas predecessoras. No caso da Praia da Mareta, onde não existem evidências para deposição turbidítica em sequências de Bouma, a alternância de calcarenitos e margas favoreceu a preservação de *Paleodictyon maximum* em *firmground*, eventualmente associado a uma superfície de omissão sedimentar. Como é discutido por Brasier e Lindsay (2001), a preservação de icnofósseis como *Paleodictyon* é um artefacto que depende em boa parte de elevadas taxas de sedimentação. Fürsich *et al.* (2007) também realçam este efeito preservacional que requiere alguma erosão, preenchimento e selagem imediatos dos sistemas de galerias com sedimento e limitação da bioturbação subsequente. Estas condicionantes limitam a ocorrência de *Paleodictyon* a eventos sedimentares, seja a episódios turbidíticos em ambientes marinhos profundos ou eventos tempestíficos em ambientes de plataforma sujeitos a elevados níveis de sedimentação. Apesar de não existirem evidências diretas de uma acção tempestífica, consideramos ser este último caso aquele responsável pela ocorrência inédita de *Paleodictyon* nos níveis calco-margosos da Mareta. A forma de *Paleodictyon* da Praia da Mareta ocorre associada a uma icnofauna que inclui *Ancorichnus* e sistemas de galerias de crustáceos do tipo *Thalassinoides*. A presença ou ausência de níveis recorrentes com abundantes *Thalassinoides* é considerada um critério-chave para a separação de ambientes marinhos neríticos e profundos, respectivamente (veja-se Uchman e Wetzel, 2012).

O produtor de *Paleodictyon* ainda hoje é desconhecido, apesar da fantástica odisseia submarina de Rona *et al.* (2009) para encontrá-lo em estruturas de *P. nodosum* identificadas nos fundos abissais atuais da Dorsal Média-Atlântica. Não obstante a tentativa de relacionar estas estruturas com a organização estrutural de protistas xenofioforídeos (Rona *et al.*, 2009), o seu produtor corresponderá mais provavelmente a um organismo que se alimenta no interior do sistema de galerias, que funcionará como espaço favorável para a produção bacteriana, ou como armadilha estrutural para micro-organismos. Como é apontado por Lehane e Ekdale (2013), uma aparentemente menos efetiva cobertura do substrato por *Paleodictyon*, quando comparada com os sistemas de galerias e trilhos altamente sistematizados produzidos por organismos que vivem em ambientes abissais e que mostram um regime trófico sedimentívoro guiado por um comportamento de exploração de recursos alimentares otimizado, permite interpretar estas formas como estratégias de comportamento com uma função distinta. No caso do *Paleodictyon* da Praia da Mareta, a forma côncava do sistema de galerias, desenvolvida a partir das galerias marginais que fariam a ligação ao fundo marinho, serviria para deflectir as correntes de fundo com um propósito de auto-circulação, de forma a ventilar ou permitir a circulação de partículas orgânicas.

Por fim é de destacar que, para a identificação das icnofácies e correspondentes interpretações paleoambientais e batimétricas, é fundamental identificar associações de icnofósseis ou icnocenoses recorrentes e não apenas icnofósseis individuais, para além de enquadrá-las no contexto paleoecológico evolutivo para o período cronostratigráfico que representam. Um icnofóssil arquetípico da Icnofácies de *Nereites* encontrado isoladamente em ambiente de plataforma, como o caso de *Paleodictyon maximum* do Jurássico Superior da Praia da Mareta, é disto precioso exemplo.

## Agradecimentos

Os nossos agradecimentos a Sofia Soares (Litoteca do LNEG) pela possibilidade de analisar o exemplar arquivado nestas instalações. O trabalho dos revisores Renata Netto (UNISINOS)

e Francisco Rodríguez-Tovar (Universidad de Granada) merece aqui uma palavra de especial agradecimento.

## Referências

- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H., Manuppella, G., 2003. Da dinâmica continental no Triásico aos mares do Jurássico Inferior e Médio. *Cadernos de Geologia de Portugal*, Instituto Geológico e Mineiro, 43.
- Baucon, A., 2010. Da Vinci's *Paleodictyon*: The fractal beauty of traces. *Acta Geologica Polonica*, **60**(1): 3-17.
- Bayet-Goll, A., Neto de Carvalho, C., 2017. Differentiation of delta and open marine deposits based on an integrated ichnological and sedimentological analysis of the Late Triassic Nayband Formation, Tabas Block, Central Iran. *Journal of Iberian Geology*, **43**(3): 413-437.
- Bayet-Goll, A., Daraei, M., Mousavi Taher, S. P., Etemad-Saeed, N., Neto de Carvalho, C., Zandkarimi, K., Monaco, P., Zohidi, A., Rabbani, J., Nasiri, Y., 2020. Variations of the trace fossil *Zoophycos* with respect to paleoenvironment and sequence stratigraphy in the Mississippian Mobarak Formation, northern Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **551**, Article 109754, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109754>.
- Borges, M. E. N., Fernandes, P., Riding, J. B., Pereira, Z., 2011. The Jurassic (Pliensbachian to Kimmeridgian) palynology of the Algarve Basin and the Carrapateira outlier, southern Portugal. Review of Palaeobotany and Palynology, **163**(3-4): 190-204.
- Brasier, M. D., Lindsay, J. F., 2001. Did supercontinental amalgamation trigger the "Cambrian Explosion"? In: Zhuravlev, A. Y., Riding, R. (Eds.), *The Ecology of the Cambrian Radiation*. Columbia University Press, New York, 69-89.
- Crimes, T. P., García Hidalgo, J. F., Poire, D. G., 1992. Trace fossils from Arenig flysch sediments of Eire and their bearing on the early colonization of the deep seas. *Ichnos*, **2**: 61-77.
- De, C., 2019. Ichnofacies and ichnofabrics. In: De, C. (Ed.), *Mangrove ichnology of the Bay of Bengal Coast, Eastern India*. Springer, 211-231.
- Ernst, G., Zander, J., 1993. Stratigraphy, facies development, and trace fossils of the Upper Cretaceous of Southern Tanzania (Kilwa District). In: Abbate, E., Saggi, M., Sassi, F. P. (Eds.), *Geology and mineral resources of Somalia and surrounding regions*. Instituto Agronomico per l'Oltremare relazioni e monografie agrarie subtropicali e tropicali (n.s.), **113**: 259-278.
- Frey, R. W., Pemberton, S. G., 1984. Trace fossil facies models. In: Walker, R. C. (Ed.), *Facies models*. *Geoscience Canada*, Reprint Series, **1**: 189-207.
- Fürsich, F. T., Taheri, J., Wilmsen, M., 2007. New occurrences of the trace fossil *Paleodictyon* in shallow marine environments: examples from the Triassic-Jurassic of Iran. *Palaaios*, **22**: 408-416.
- Gibling, M. R., Stuart, C. J., 1988. Carbonate slide deposits in the Middle Jurassic of Portugal. *Sedimentary Geology*, **57**(1-2): 59-73.
- Gierlowski, Kordesch, E., Ernst, F., 1987. A flysch trace fossil assemblage from the Upper Cretaceous shelf of Tanzania. In: Mathies, G., Schandelmeyer, H. (Eds.), *Current Research in African Earth Sciences*. Extended Abstracts 14<sup>th</sup> Colloquium on African Geology, Berlin (West), 217-221.
- Häntzschel, W., 1964. Spuren fossilien und Problematic aim Campan von Beckum (Westf.). *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, **7**: 295-308.
- Hantzpergue, P., Branger, P., 1992. L'ichnogenere *Paleodictyon* dans les depots néritiques de l'Oxfordien supérieure Nord-Aquitain (France). *Geobios*, **25**: 195-205.
- Jensen, S., Buatois, L. A., Mángano, M. G., 2013. Testing for palaeogeographical patterns in the distribution of Cambrian trace fossils. In: Harper, D. A. T., Servais, T. (Eds.), *Early Palaeozoic Biogeography and Palaeogeography*. Geological Society, London, Memoirs, **38**, 45-58.
- Kappel, J., 2003. Ichnofossilien im Campanium des SE-Münsterlandes. *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie*, Heft, **96**, 163.
- Koriba, K., Miki, S., 1939. On *Paleodictyon* and fossil *Hydrodictyon*. *Jubilee publication in the commemoration of Professor H. Yabe 60th birthday*, **1**: 55-68.
- Lan, Z., Chen, Z. Q., 2010. *Paleodictyon* from a nearshore paleoenvironmental setting in the Guadalupian (Middle Permian) of the Carnarvon Basin, Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, **57**(4): 453-467.
- Lehane, J. R., Ekdale, A. A., 2013. Fractal analysis of graphoglyptid trace fossils. *Palaaios*, **28**: 23-32.
- MacEachern, J. A., Bann, K. L., Gingras, M. K., Zonneveld, J. -P., Dashtgard, S. E., Pemberton, S. G., 2012. The ichnofacies paradigm. In: Knaust, D., Bromley, R. G. (Eds.), *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Developments in Sedimentology, **64**: 103-139.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., Gingras, M. K., Bann, K. L., 2007. The Ichnofacies paradigm: A fifty-year retrospective. In: Miller, W. III (Ed.), *Trace fossils: concepts, problems, prospects*. Elsevier, 52-77.
- Manuppella, G., Perdigão, J., Rodrigues, A., Rocha, R. B., 1972. *Folha 51-B, Vila do Bispo, da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Manuppella, G., Marques, B., Rocha, R. B., 1988. Evolution tectono-sédimentaire du basin de l'Algarve pendant le Jurassique. *2nd International Symposium on Jurassic Stratigraphy Lisboa 1988*, 1031-1046.
- Monaco, P., 2008. Taphonomic features of *Paleodictyon* and other graphoglyptid trace fossils in Oligo-Miocene thin-bedded turbidites, Northern Apennines, Italy. *Palaaios*, **23**: 668-683.
- Neto de Carvalho, C., Rodrigues, N. P. C., 2002. Los *Zoophycos* del Bajociense-Bathonense de la Praia da Mareta (Algarve, Portugal): Arquitectura y Finalidades en Régimen de Dominancia Ecológica. In: J. Civis, J. A. González Delgado (Eds.), *XVIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología/II Congreso Ibérico de Paleontología*, Libro de Resúmenes, Salamanca, 98-99.
- Neto de Carvalho, C., Rodrigues, N. P. C., 2003. Los *Zoophycos* del Bajociense-Bathonense de la Praia da Mareta (Algarve, Portugal): arquitectura y finalidades en régimen de dominancia ecológica. *Revista Española de Paleontología*, **18**(2): 229-241.
- Olivero, D., 1996. *Zoophycos* distribution and sequence stratigraphy. Examples from the Jurassic and Cretaceous deposits in southeastern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **123**: 273-287.
- Olivero, D., Gaillard, C., 1996. Palaeoecology of Jurassic *Zoophycos* from South-Eastern France. *Ichnos*, **4**: 249-260.
- Olivero, E. B., López, M. I., Malumian, N., Torres Carbonell, P. J., 2010. Eocene graphoglyptids from shallow-marine, high-energy, organic-rich, and bioturbated turbidites, Fuegian Andes, Argentina. *Acta Geologica Polonica*, **60**: 77-91.
- Orr, P. J., 2001. Colonization of the deep-marine environment during the early Phanerozoic: the ichnofaunal record. *Geological Journal*, **36**: 265-278.
- Paczerna, J., 1985. Ichnogenus *Paleodictyon* Meneghini from the Lower Cambrian of Zbilutka (Gory Swietokrzyskie Mts.). *Kwart Geol.*, **29**: 589-596.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., Frey, R. W., 1992. Trace fossil facies models: response to sea level change. *Geological Association of Canada*, Geotext **1**: 47-72.
- Rocha, R. B., 1976. Estudo estratigráfico e paleontológico do Jurássico do Algarve ocidental. *Ciências da Terra (UNL)*, **2**, 178.
- Rocha, R. B., Mouterde, R., Tintant, H., 1972. Formations récifales dans le Jurassique moyen d'Algarve occidental. *Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa*, **17**(1): 45-58.
- Rona, P. A., Seilacher, A., Vargas, C., Godday, A. J., Bernhard, J. M., Bowser, S., Vetriani, C., Wirson, C. O., Mullineax, L., Sherrell, R., Friederike Grassle, J., Low, S., Lutz, R. A., 2009. *Paleodictyon nodosum*: A living fossil on the deep-sea floor. *Deep-Sea Research II*, **56**: 1700-1712.
- Savary, B., Olivero, D., Gaillard, C., 2004. Calciturbidite dynamics and endobenthic colonisation: example from a late Barremian (Early Cretaceous) succession in southeastern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **211**: 221-239.
- Schmidt, A. R., Eynatten, H. V., Wägrich, M., 2001. The Mesozoic amber of Schliersee (southern Germany) is Cretaceous in age. *Cretaceous Research*, **22**: 423-428.
- Seilacher, A., 1974. Flysch trace fossils: evolution of behavioural diversity in the deep-sea. *Neues Jahrb. Geologische Palaontologische Monatsheft* 1974, 233-245.

- Seilacher, A., 1977. Pattern analysis of *Paleodictyon* and related trace fossils. In: Crimes, T. P., Harper, J. C. (Eds.), *Trace fossils 2*. Geological Journal Special Issue, **9**: 289-334.
- Stanley, D. C. A., Pickerill, R. K., 1993. Shallow marine *Paleodictyon* from the Upper Ordovician Georgian Bay Formation of Southern Ontario. *Atlantic Geology*, **29**: 115-119.
- Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachão, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M. R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R. P., Gafeira, J., Matias, H., Matias, L., Madeira, J., Marques da Silva, C., Munhá, J., Rebêlo, L., Ribeiro, C., Vicente, J., Youbi, N., 2006. A Bacia Algarvia: Estratigrafia, paleogeografia e tectónica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Évora, 247-316.
- Uchman, A., 1995. Taxonomy and palaeoecology of flysch trace fossils: the Marnoso-arenacea Formation and associated facies (Miocene, Northern Apennines, Italy). *Beringeria*, **15**: 3-115.
- Uchman, A., 2004. Phanerozoic history of deep-sea trace fossils. In: McLroy, D. (Ed.), *The Application of ichnology to palaeoenvironmental and stratigraphic analysis*. Geological Society of London Special Publication, **228**: 125-139.
- Uchman, A., 2007. Deep-sea ichnology: development of major concepts. In: Miller, W. III (Ed.), *Trace fossils: concepts, problems, prospects*. Elsevier, 248-267.
- Uchman, A., Janbu, N. E., Nemeč, W., 2004. Trace fossils in the Cretaceous-Eocene flysch of the Sinop-Boyabat Basin, central Pontides, Turkey. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, **74**: 197-235.
- Uchman, A., Wetzel, A., 2012. Deep-sea fans. In: Knaust, D., Bromley, R.G. (Eds.), *Trace fossils as indicators of sedimentary environments*. Developments in Sedimentology, **64**: 643-671.
- Wetzel, A., Blechschmidt, I., Uchman, A., Matter, A., 2007. A highly diverse ichnofabric in Late Triassic deep-sea fan deposits of Oman. *Palaio*, **22**: 567-576.
- Yang, S. Y., Yun, C. S., Kim, T. W., 2003. Pictorial Book of Korean Fossils. *Academy Book Company*, Seoul, 419.
- Yuan, W. F., Chen, S. Y., Zeng, C. M., Hu, B., 2007. Discovery and significance of Paleogene ichnofossil *Paleodictyon* in the Dongying Sag, Bohai Bay Basin. *Chinese Journal of Geology*, **42**: 779-786.
- Zhou, Z. C., Yuan, Y. P., 1992. Discovery of *Paleodictyon* from the Changshundaihua Formation, Guizhou, China. *Journal of Stratigraphy*, **16**: 75-76.