

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

GABRIEL KLEIN

**TAXONOMIA E PALEOECOLOGIA DE ASTEROZOA DA FORMAÇÃO RIO
BONITO (TAIÓ-SC, BRASIL)**

São Leopoldo

2021

GABRIEL KLEIN

**TAXONOMIA E PALEOECOLOGIA DE ASTEROZOA DA FORMAÇÃO RIO
BONITO (TAIÓ-SC, BRASIL)**

Artigo apresentado como requisito parcial
para obtenção do título Licenciado em
Ciências Biológicas, pelo Curso de
Ciências Biológicas da Universidade do
Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scalise Horodyski

São Leopoldo

2021

AGRADECIMENTOS

À minha família, por toda a atenção, afeto e compreensão durante todo o período da graduação. Obrigado por sempre acreditarem em mim e não medirem esforços para me ajudar com o que quer que seja.

Aos meus parentes, por me inspirarem a ser quem eu sou, desde que nasci e sempre ajudarem nos meus sonhos.

Aos meus amigos que, além de compreenderem meus distanciamentos e sumiços, me deram forças e incentivo durante todo tempo em que estive estudando.

Aos professores que passaram e marcaram minha graduação com as diversas trocas de conhecimentos e conselhos. Devo muito a vocês por todo o aprendizado adquirido.

À UNISINOS por toda a infraestrutura de profissionais e equipamentos para que pudesse ser possível a elaboração dos trabalhos, assim como em toda a graduação. Em especial ao LAVIGEA e a laboratorista Gabriela, que me ajudou em algumas etapas do trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo, que foi de suma importância para a realização desse trabalho e para que eu pudesse concluir a graduação. Obrigado por todos os ensinamentos e a paciência que teve comigo.

Ao Prof. Dr. Hugo, que não mediu esforços para me ajudar, não importasse o momento. Muito devo a ti pela troca de informações que enriqueceram esse trabalho. Você e o professor Rodrigo foram fundamentais para a elaboração de todo o trabalho.

Obrigado!

TAXONOMIA E PALEOECOLOGIA DE ASTEROZOA DA FORMAÇÃO RIO BONITO (TAIÓ-SC, BRASIL)

Gabriel das Silva Klein
Rodrigo Scalise Horodyski

RESUMO: Na Bacia do Paraná há uma ocorrência incomum de representantes de asteroideos nas camadas marinhas da Formação Rio Bonito, Permiano Inferior. Estes estratos sedimentares são interpretados como o estabelecimento de um ambiente marinho plataformal raso, com composição sedimentar pelítica formada por folhelhos e arenitos finos, e com presença de bioturbação. Uma revisão taxonômica foi proposta com o objetivo de apresentar uma nova classificação a nível genérico. Adicionalmente, uma abordagem tafonômica e paleoecológica é apresentada. Foram analisados 8 espécimes que estão tombados no Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul (MHGeo – Unisinos). A análise taxonômica encontrou representantes de asteroideos com presença de espinhos em suas placas e grande semelhança com espécimes do gênero *Astropecten* Gray, 1840. Esse foi o primeiro registro do gênero nos depósitos do Paleozoico, assim, representando o registro mais antigo do grupo. A análise tafonômica revelou que o material representa depósitos de sufocamento. No entanto, novas análises mais profundas ainda são necessárias.

Palavras-chave: Estrelas-do-mar; *Astropecten*; Permiano Inferior; invertebrados fosseis.

Abstract: In the Paraná Basin an uncommon occurrence is record in the marine beds from Lower Permian Rio Bonito Formation. These sedimentary strata are compound by muddy to coarse sand bioturbated beds interpreted as deposition in shallow shelf and marginal marine environments. In the order to do a taxonomic revision, intending a new classification in a generic level is proposed. Additionally, taphonomical and paleoecological approach is presented. Eighteen specimens housed in the Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul (MHGeo – Unisinos) was handled to do the taxonomic revision. The taxonomy pointed out morphologic features similar to modern genus *Astropecten* Gray, 1840. This is the first occurrence to *Astropecten* in Paleozoic deposits representing the oldest record of the genus. Taphonomically analysis revel an obruption condition to genesis of the fossiliferous deposits. However, a deepest revision is necessary yet.

Keywords: sea-stars; *Astropecten*; Lower Permian; fossil invertebrates.

1 INTRODUÇÃO

Os equinodermos são animais essencialmente marinhos, sendo de hábito bentônico quando adulto. Apresentam modo de vida fixo ao fundo do oceano ou se movendo lentamente pelo substrato com a ajuda de apêndices locomotores chamados de pés ambulacrais. Esses organismos apresentam uma simetria pentâmera, além de possuírem um endoesqueleto, formado de ossículos e placas, que acaba auxiliando na sustentação de suas estruturas (BRUSCA & BRUSCA, 2007). Também possuem um sistema ambulacrário, que consiste num sistema de circulação de água pelo corpo, ajudando, como por exemplo, no processo de regulação de substâncias, transportando-as ao longo do indivíduo ou excretando-as. O filo é composto, atualmente, por 5 classes: Crinoidea (lírios-do-mar), Ophiuroidea (estrelas-serpentes), Echinoidea (ouriços-do-mar), Holothuroidea (pepinos-do-mar) e Asteroidea (estrelas-do-mar).

Atualmente, há cerca de 1.900 espécies que pertencem à classe Asteroidea, apresentando, normalmente, 5 braços e um corpo em formato de estrela. Seu tamanho pode chegar de 12 a 24cm, mas podendo haver indivíduos menores, com 2cm ou maiores, com até 1m (RUPPERT *et al.* 2005). Os organismos desse táxon apresentam hábitos de predação, mas alguns com hábitos detritívoros. Além disso, eles têm uma grande importância ecológica, como no controle de outras espécies em seu ambiente (MENGE, 1975; MENGE 1999)

Mesmo possuindo um endoesqueleto resistente enquanto vivo, quando mortos, acabam apresentando uma estrutura muito frágil. Por isso, há uma certa dificuldade em achar vestígios fósseis desses organismos, dependendo das características paleoambientais. Com base em análises de fósseis já coletados, pode-se concluir que os representantes de asteroideos tiveram sua origem no Período Ordoviciano, sendo até o momento, conhecidos 38 gêneros (SHACKLETON, 2005; BLAKE, 2008). Contudo, acredita-se que o grupo teve sua maior radiação somente no início do Mesozoico. Estando presentes em quase toda a Era Paleozoica, os representantes de asteroideos ultrapassaram as cinco grandes extinções em massa permanecendo até os tempos atuais, formando um grupo monofilético (SHACKLETON, 2005).

Na Bacia do Paraná, o registro mais antigo de representantes de asteroideos é descrito para as camadas da Formação Ponta Grossa, Devoniano médio a

superior (SCHEFFLER, 2011). Apesar de outras bacias brasileiras, com depósitos do Paleozoico médio a superior, apresentem registros de crinoides, o único registro de representantes de asteroideos para o Paleozoico Inferior é referente aos espécimes da Formação Rio Bonito (ROCHA-CAMPOS, 1964; SCHEFFLER, 2011; SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014).

Os representantes de asteroideos da Formação Rio Bonito, intervalo de tempo aqui estudado, possuem uma ocorrência restrita aos níveis fossilíferos dos Arenitos Taió, ocorrendo, conjuntamente com os fósseis de moluscos bivalves dessa associação fossilífera (REED, 1930; ROCHA-CAMPOS, 1964; SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014). Sua ocorrência é considerada rara, sendo descritos somente 2 espécimes de ofiuroides (ROCHA-CAMPOS, 1964; SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014), e menos de 20 espécimes de representantes de asteroideos. Apesar disso, Schmidt-Neto *et al.* (2014) identificou novos fósseis de representantes de asteroideos pertencentes a família Neopalaeasteridae, nessa mesma assembleia fossilífera, nos afloramentos Alaor e Gentil (figuras 2 e 8 de SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014). Todos os espécimes descritos em trabalhos anteriores apresentam tamanho corporal variando de 0,5 a 10 mm da ponta de um braço ao outro (ROCHA-CAMPOS, 1964; SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014) caracterizando os representantes de asteroideos do Permiano da Bacia do Paraná como pequenos se comparados a média corporal das espécies modernas.

Embora trabalhos pioneiros tenham sido realizados, uma revisão taxonômica e uma identificação em nível de gênero nunca foi realizada. Portanto, o presente trabalho tem como objetivos realizar uma revisão taxonômica dos representantes de asteroideos propondo uma classificação em nível de gênero e refinar o entendimento de sua paleoecologia, relacionando-os com fósseis de outras formações ou bacias adjacentes do tempo Permiano.

1.1 ASPECTO GEOLÓGICO

A Bacia do Paraná tem por definição ser uma bacia intracratônica, que segundo Fúlfaro *et al.* (1982), é um “sítio de acumulação de sedimentos no interior do cráton ou plataforma, unidade geotectônica relativamente imóvel da Terra, geralmente de grande tamanho”. A Bacia do Paraná está presente em uma vasta área da América do Sul, estendendo-se por países como Argentina, Brasil, Uruguai e

Paraguai (Figura 1A). Ela apresenta em sua composição, rochas sedimentares e derrames basálticos originados do período Fanerozoico (MILANI *et al.* 2007). Conforme definido por Milani (1997), a bacia do Paraná é composta por seis Supersequências deposicionais: Rio Ivaí (Ordoviciano - Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero - Eocretáceo), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico - Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). Os primeiros registros de organismos marinhos nessa bacia ocorrem junto das últimas fases da glaciação Gondwânica (BEURLEN, 1954; SCHNEIDER *et al.* 1974). Há diversas formações que compõem a bacia, como é o exemplo da Formação Rio Bonito.

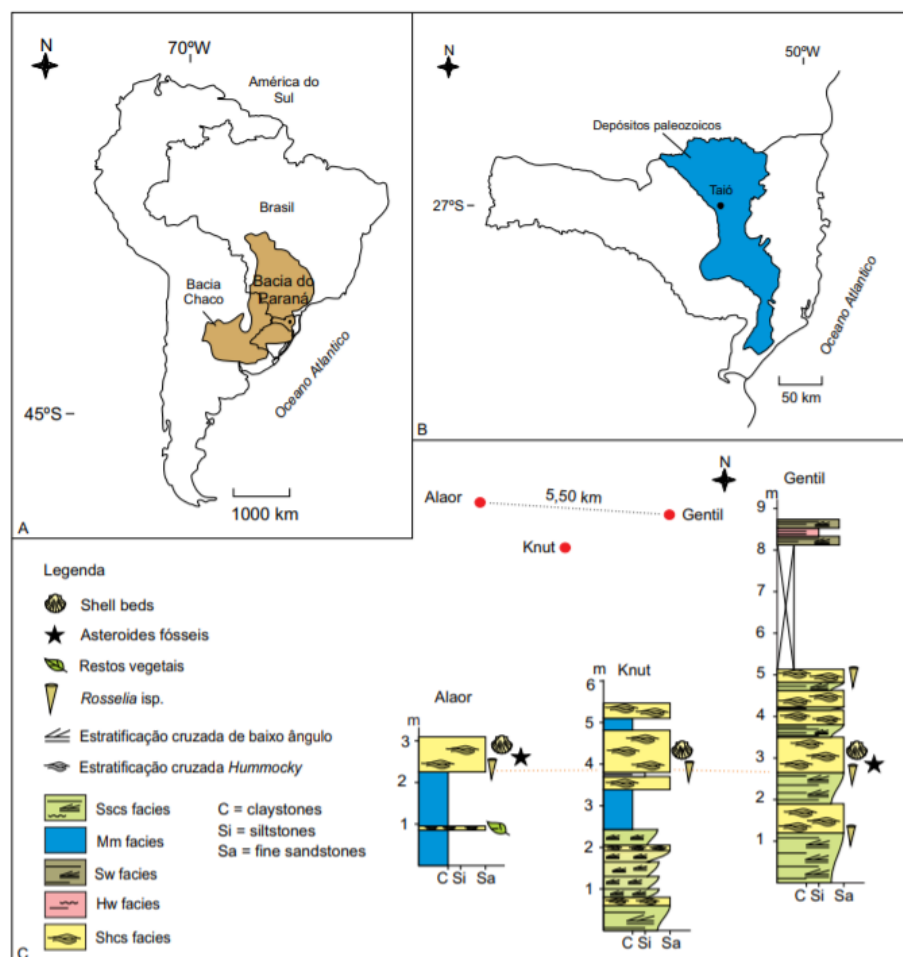


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A- Distribuição da Bacia do Paraná dentro da América do Sul. B- Ponto preto marca a localização do município de Taió onde afloram camadas com fósseis marinhos. C- Perfil estratigráfico dos afloramentos contendo registros de representantes de asteroideos fósseis da Formação Rio Bonito. Fonte: o autor.

A Formação Rio Bonito, situada dentro da Supersequência Gondwana I (Figura 2B) tem como principais constituintes, grandes pacotes de arenitos e de pelitos depositados de forma intercalada, além de grandes depósitos de carvões (WHITE, 1908; SCHNEIDER *et al.* 1974; LAVINA & LOPES, 1987; ELIAS *et al.*, 1999; HOLZ *et al.*, 2000). Essa formação é dividida em 3 membros, denominados Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (SCHNEIDER *et al.* 1974).

O membro Triunfo, sendo a base da Formação Rio Bonito, se caracteriza por depósitos marginais marinhos. Já a porção mais medial, denominada Paraguaçu, representa o estabelecimento de ambiente marinho plataformaraso, apresentando composição sedimentar pelítica em sua maioria, com folhelhos e arenitos finos, e a presença de bioturbação. A este membro pertence os Arenitos Taió e seus afloramentos (Figura 2A), onde foram registrados fósseis marinhos como equinodermos (ROCHA-CAMPOS, 1964; SCHMIDT-NETO *et al.*, 2014). Por fim, o membro Siderópolis (topo da Fm. Rio Bonito), é representado por depósitos de ambientes costeiros (SCHNEIDER *et al.* 1974).

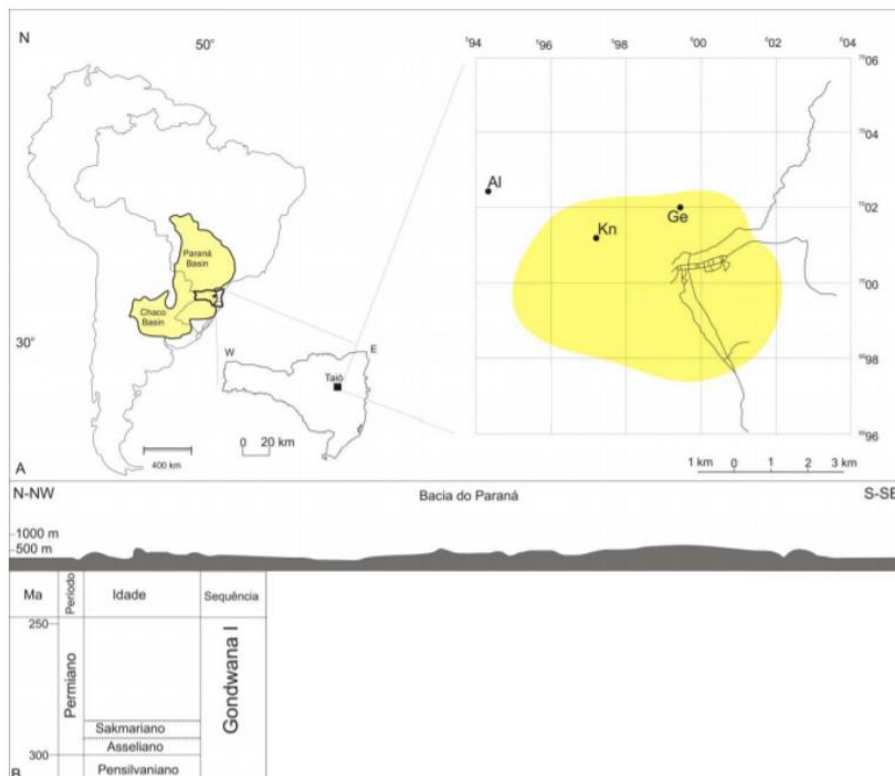


Figura 2 – Localização e tempo geológico da área de estudo. A- Localização dos Arenitos Taió e afloramentos (limite urbano de Taió destacado em amarelo) B- Tempo geológico da Bacia do Paraná. Abreviações: Afloramentos - Al, Alaor; Ge, Gentil; Kn, Knust. (Adaptado de Schmidt-Neto *et al.*, 2014).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material previamente coletado encontra-se depositado no acervo do Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul (MHGeo-Unisinos). Trata-se de 8 amostras contendo dez espécimes de Representantes de asteroideos, provenientes dos depósitos fossilíferos dos Arenitos Taió (Formação Rio Bonito), localizados na região do município de Taió, Estado de Santa Catarina. Para a análise morfológica e identificação taxonômica foi utilizada lupas estereoscópicas de bancada do Laboratório de História da Vida e da Terra (Lavigaea).

A identificação taxonômica dos fósseis coletados, foi baseada na revisão taxonômica de Clark & Downey (1992), complementando com Spencer & Wright (1966). O sistema de identificação apresentado por Spencer & Wright (1966) ainda é considerado o melhor para classificação taxonômica de espécies fósseis, embora alguns dos caracteres apontados nas classificações sejam considerados inviáveis para espécimes fósseis (ver KESLING, 1969). Foram avaliados caracteres morfológicos como número e tamanho dos braços, presença e aspecto dos espinhos, formato das placas e aspecto dos tubérculos, quando presentes, a fim de chegar em, pelo menos, nível taxonômico de gênero.

3 RESULTADOS

Os primeiros Representantes de asteroideos fósseis do Paleozoico que foram analisados e descritos, levaram em conta características tais como o ângulo da boca (SPENCER & WRIGHT, 1966). Conforme sugerido por Gale (1987), os primeiros Representantes de asteroideos foram unidos no mesmo grupo por apresentarem sulco ambulacral, presença de placas orais angulares, placas que circundam a abertura oral, entre outros (Figura 3). Os dois últimos caracteres citados acima atualmente são considerados sinapomorfias de Asterozoa.

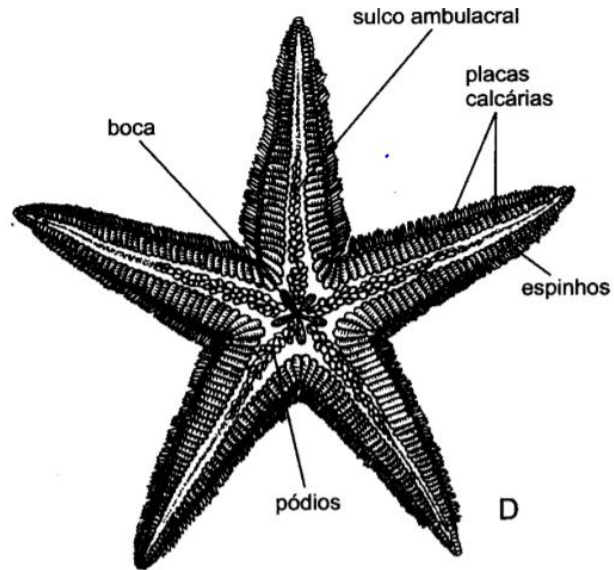


Figura 3 - Principais estruturas morfológicas externas de representantes de asteroídeos. Adaptado de Brusca & Brusca (2007).

3.1 TAXONOMIA SISTEMÁTICA

Filo Echinodermata

Subfilo Asterozoa Zittel, 1895

Classe Asteroidea de Blainville, 1830

Ordem Paxillosida Perrier 1884

Família Astropectinidae Gray 1840

Gênero *Astropecten* Gray 1840



Figura 4 - *Astropecten* sp. Escala: 1mm. Fonte: o autor.

Diagnose: família pertencente à ordem Paxillosida, geralmente apresentando 5 braços com comprimentos variados e algumas espécies possuem um cone apical evidente. Há presença de placas infra e supramarginais, ambas com finos espinhos em suas extremidades, sendo a superior (face aboral) coberta com paxilas. Os espécimes do gênero *Astropecten* apresentam forma pentâmera; raio curto; espinhos ambulacrais simples; sem placas tesselais ao redor da saída oral e dos braços, longos espinhos e tamanho variados. (CLARK & DOWNEY, 1992; GRAY, 1840; SPENCER & WRIGHT, 1966)

Material: U - 4934; U - 5048; ULVG - 7859; ULVG - 7861; U - 4938; U - 4936; ULVG - 5026; ULVG - 10748 a/b

Descrição: apresentam forma pentâmera; articulado; braços curtos e com as extremidades arredondadas; há uma melhor preservação da face aboral; $R < 3,5\text{mm}$. Os braços apresentam, aproximadamente, de 15 a 20 ossículos supramarginais com espinhos. O madreporito, quando preservado, está presente na intersecção entre um braço e outro (Figura 5). Apresenta um disco central bem evidente, com uma estrutura mais elevada ao redor (Figura 5).

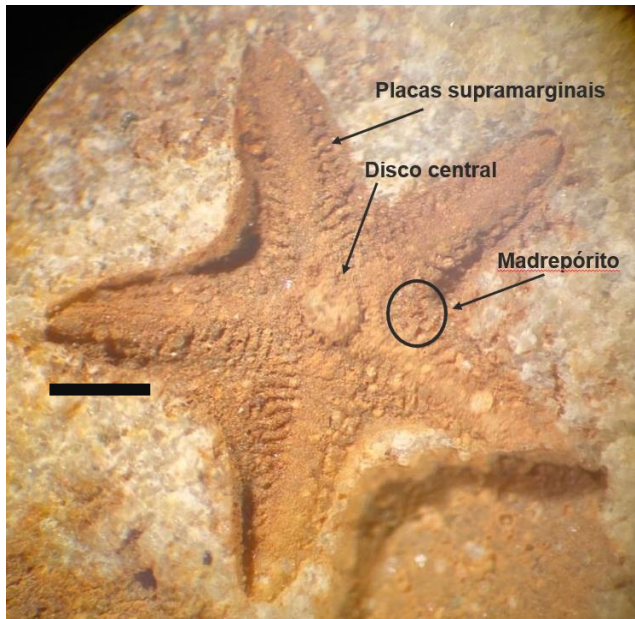


Figura 5 – Vista aboral. Escala: 1mm. Fonte: o autor.

4 DISCUSSÃO

Os primeiros representantes de asteroideos que viviam na Era Paleozoica, assim como outros invertebrados, passaram por um grande evento de extinção em massa entre a transição do Permiano para o Triássico (GALE, 2011), o que também marcou o início da Era Mesozoica. Acredita-se que os equinodermos que habitavam a Terra sofreram uma espécie de efeito gargalo, onde poucos restaram vivos (TWITCHETT & OJI, 2005), mas estudos contrariam essa hipótese (THUY *et al.*, 2017). Esses poucos que restaram, desencadearam uma radiação pós-Paleozoica, fazendo com que se espalhassem por diversos paleoambientes pelo mundo no final do Triássico (THUY *et al.*, 2017). A grande falta de registros fósseis, tanto dos períodos geológicos no geral, como no Triássico-Inferior atrapalham a compreensão da história evolutiva dos representantes de asteroideos (FELL, 1963; TWITCHETT & OJI, 2005). Representantes de asteroideos do Permiano já apresentavam sistema ambulacral com a presença de espinhos (KESLING, 1969), como os do gênero *Astropecten*, mostrando que há evidências dessas características já nesse período. E comparando a asteroideos desse mesmo período, como os do gênero *Permaster* Kesling, 1969 e *Monaster* Etheridge Jr., 1892 (KESLING, 1969), eles se diferem, principalmente, pela presença de espinhos infra e supramarginais, que é a principal

característica do gênero *Astropecten*. O tamanho relativamente pequeno desses fósseis pode ser explicado pelos hábitos alimentares passivos dos asteroideos do Permiano (BLAKE, 1996). Os espécimes fósseis aqui descritos, além das características morfológicas gerais que todos os representantes de asteroideos possuem, apresentaram grande semelhança com os pertencentes ao gênero *Astropecten* em: a) forma pentâmera e raios curtos (GRAY, 1840); b) presença de paxilas; c) presença de placas supramarginais; e) forma dos espinhos (GONDIM *et al.*, 2014) e f) aparência do madreporito (OGURO *et al.*, 1976). Mesmo apresentando larga variabilidade de características morfológicas, o que dificulta na definição de grupo taxonômico mais precisa (GONDIM *et al.*, 2014), essas características foram o suficiente para se chegar em, pelo menos, nível de gênero.

O gênero estudado foi retirado da Bacia do Paraná, que é um importante depósito do Permiano-Inferior, com aproximadamente 290 milhões de anos. Esse gênero ocorre atualmente, com cerca de 150 espécies descritas (ZULLIGER, 2009) e amplamente distribuídas pelo planeta, se restringindo a ambientes tropicais e temperados (MAH & BLAKE, 2012). Um de seus primeiros registros fósseis feito é datado de um depósito fossilífero do período Triássico, de aproximadamente 240 milhões de anos atrás (VON WÖHRMANN, 1889), o que indica que os espécimes aqui descritos podem ser os mais antigos já registrados pertencentes à *Astropecten*.

4.1 PALEOECOLOGIA E TAFONOMIA

Embora Kowalski (1954) e Remane (1934, 1952) tenham relatado a presença de representantes de asteroideos em águas salobras (com salinidade inferior a 8 partes por mil), os equinodermos são essencialmente marinhos, habitando desde as zonas do foreshore até o offshore (SPENCER & WRIGHT 1966; BARNES, 1984; WELLS & LALLI, 2003; BENTON & HARPER, 2009; SOUZA-LIMA & MANSO, 2004). No entanto, apesar da ampla ocupação dos nichos dentro do ambiente marinho, os representantes de asteroideos são muito sensíveis a variações do ambiente. Variações da salinidade, das taxas de oxigenação ou elevação da temperatura podem causar alterações fisiológicas levando a morte dos animais, sendo os jovens e as formas menores menos suscetíveis às alterações ambientais do que os espécimes maiores (SCHÄFER, 1972).

Desde o Paleozoico até a atualidade, os representantes de asteroídeos habitam fundos arenosos ou lodosos das bacias marinhas podendo ser encontrados em profundidades superiores a 5.000 metros (SPENCER & WRIGHT 1966; SOUZA-LIMA & MANSO, 2004). Entre os grupos que habitam os fundos arenosos, alguns mostram um hábito de se soterrar de forma superficial quando em repouso (*Astropecten* sp.), e capacidade de se locomoverem por pequenas distâncias por dentro do sedimento (WELLS & LALLI, 2003). Entretanto súbitos soterramentos causados por acentuados aportes de sedimentação superiores a 20 cm/h (SCHÄFER, 1972; BRETT E BAIRD, 1986) são responsáveis pela morte por sufocamento de muitos dos grupos de estrelas do mar, inclusive daquelas que possuem o hábito de se soterrarem (SCHÄFER, 1972).

Os representantes de asteroídeos são hábeis predadores que se locomovem pelos fundos marinhos caçando outros representantes de asteroídeos, moluscos bivalves e braquiópodes (DONOVAN & GALE, 1990; BENTON & HARPER, 2009). Alguns representantes de asteroídeos modernos como *Astropecten* sp., apresentam uma dieta preferencial por moluscos bivalves (BARNES, 1984; WELLS & LALLI, 2003; BENTON & HARPER, 2009) e possivelmente esta preferência fosse a mesma de muitos grupos que habitavam os mares Paleozoicos (KESLING, 1969) dominados por braquiópodes e moluscos bivalves (NEVESSKAYA, 2008; STERREN E CISTERNA, 2010). Alguns autores (DONOVAN & GALE, 1990; BENTON & HARPER, 2009) apresentam a hipótese de que o voraz hábito predatório dos representantes de asteroídeos tenha influenciado na mudança das comunidades de braquiópodes no final do Paleozoico e início do Mesozoico.

Apesar de os equinodermos possuírem um esqueleto resistente, devido ao grande número de ossículos que compõem seus corpos e a sua composição fosfática, após sua morte seu esqueleto se torna muito frágil, e se desarticula e dissolve facilmente (SCHÄFER, 1972; BRETT E BAIRD, 1986; KIDWELL & BAUMILLER, 1990; BRETT & SEILACHER, 1991; BAUMILLER, 2001; GAHN & BAUMILLER, 2004; KROH & NEBELSICK, 2010). Em mares com temperaturas mais elevadas (aproximadamente 18°C) essas alterações ocorrem de forma mais precoce e intensa (SCHÄFER, 1972), pois as temperaturas do ambiente são um dos principais fatores ambientais que influenciam no grau de degradação dos organismos (ALLISON, 1990). Se a carcaça ficar em exposição pós-morte, o esqueleto dos representantes de asteroídeos é totalmente desarticulado num

intervalo de tempo que varia desde algumas horas até 5 dias (SCHÄFER, 1972; KIDWELL, 1990).

Por outro lado, a ocorrência de equinodermos fossilizados de forma completa é comum em fácies de zonas marinhas de maior energia, influenciadas pela ação de tempestades. Esta ocorrência singular acontece devido à alta taxa sedimentar e alta frequência deposicional geradas pela dinâmica sedimentar desses ambientes de maior energia que soterram os espécimes ainda vivos, causando sua morte por sufocamento (GAHN & BAUMILLER, 2004). Desta forma, a presença de representantes de asteroideos articulados, preservados em arenitos com estratificação cruzada hummocky, associados aos depósitos com feições de tempestitos distais (ANELLI *et al.*, 1998; SIMÕES *et al.*, 1998) sustenta a hipótese de que os equinodermos da Formação Rio Bonito representem depósitos de sufocamento. Tal hipótese já foi anteriormente aventada por Schmidt-Neto *et al.* (2014).

Embora ambientes com maior energia tendem a apresentar assinaturas tafonômicas tais como desarticulação e má preservação dos bioclastos (SPEYER AND BRETT, 1986, 1988), ambientes com altas taxas de sedimentação podem propiciar a preservação excepcional do registro fóssil (SCHMIDT-NETO *et al.*, 2018). Inclusive, esta alta taxa sedimentar pode ter ocasionado a boa preservação destes fósseis (Figura 6), tal como o preenchimento dos canais ambulacrários, do canal anelar (ring canal) e dos adjacentes canais radiais (radial canal) (Figura 6C-E). De acordo com Schmidt-Neto *et al.* (2018) a sedimentação responsável pela preservação dos acúmulos fossilíferos dos Arenitos Taió é composto em parte por sedimentos de granulometria muito fina, capaz de preencher espaços e gerar moldes tridimensionais dos fósseis. Assim, acredita-se que o mesmo processo possa ter ocorrido com alguns dos equinodermos, preenchendo seus canais vasculares e permitindo a fossilização das referidas estruturas, como visto na figura 6D.



Figura 6 - Espécimes de representantes de asteroideos fossilizados nos Arenitos Taió, Formação Rio Bonito. A. preservação dos espinhos supramarginais e do disco central, característico do gênero *Astropecten*. B. preservação dos espinhos supramarginais. C e E. molde do canal ambulacral (assinalados pela seta) e dos espinhos supramarginais. D. molde do canal anelar (assinalado pela seta), dos canais radiais e dos espinhos supramarginais. F. presença de ofiuroide junto com representantes de asteroideos. G. exemplar observado em afloramento. Fonte: o autor.

5 CONCLUSÃO

Os invertebrados marinhos, como os representantes de asteroídeos, apresentam uma enorme capacidade de atravessar grandes eventos geológicos, como as extinções em massa. O gênero *Astropecten* é um ótimo exemplo de táxon que resistiu e sobreviveu até os tempos atuais. Após levantamento, conclui-se que há espécimes pertencentes a esse gênero, presentes no depósito fossilífero do membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná. E esse sendo, então, seu registro mais antigo, datado do Permiano-Inferior (~290 milhões de anos).

Mesmo apresentando corpo frágil e mole, dificultando a conservação fóssil e a posterior análise taxonômica, foi possível verificar que esse depósito gerado por aportes episódicos de alta taxa sedimentar, causou a morte desses invertebrados por sufocamento. Além disso, o alto grau de conservação dos espécimes indica que não houve exumação ou transporte, pós-soterramento. Portanto, esse depósito possibilitou com que esses fósseis pudessem ter uma boa conservação, inclusive apresentando partes da morfologia interna.

Por apresentar uma grande quantidade de características morfológicas, estudos mais profundos são indicados, como por exemplo, utilizando um microscópio eletrônico de varredura que facilita uma análise mais precisa desses caracteres.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, Peter A. Decay processes. In: *Palaeobiology: a synthesis*. 1990. p. 211.
- ANELLI, L. E., *et al.* "Mode of life of some Brazilian late Paleozoic anomalodesmatans." *Bivalves: An Eon of Evolution—Paleobiological Studies Honoring Norman D. Newell*. University of Calgary Press, Calgary. p. 69-74, 1998.
- BAUMILLER, T. K. Experimental and biostratigraphic disarticulation of crinoids: taphonomic implications. *Echinoderm research*, p. 243-248, 2001.
- BARNES, R. D. *Zoologia dos Invertebrados*. 4ª edição. São Paulo. Editora Roca. 1179pp, 1984.
- BENTON, J. M.; HARPER, A. T. D. *Introduction to paleobiology and the fossil record*. Hong Kong. First edition. Wiley-Blackwell, HongKong, 2009.
- BEURLIN, Karl. As faunas de lamelibrânquios do sistema gonduânico no Paraná. *Paleontologia do Parana: Comissao de Comemoracoes do Centenario do Parana*, Curitiba, p. 107-136, 1954.
- BLAKE, Daniel B. A new Ordovician asteroid (Echinodermata) with somasteroid-like skeletal elements. *Journal of Paleontology*, v. 82, n. 4, p. 645-656, 2008.
- BLAKE, Daniel B. Fossils explained 18: starfishes. *Geology Today*, v. 12, n. 6, p. 230-235, 1996.
- BRETT, Carlton E.; BAIRD, Gordon C. Comparative taphonomy; a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*, v. 1, n. 3, p. 207-227, 1986.
- BRETT, Carlton E.; SEILACHER, A. Fossil Lagerstätten: a taphonomic consequence of event sedimentation. *Cycles and events in stratigraphy.*, p. 283-297, 1991.

BRUSCA, Richard C; BRUSCA, Gary J.

Invertebrados. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 968 p. 2007.

BOARDMAN, Daiana Rockenbach. Tafoflora de Taió, Santa Catarina (Permiano Inferior, Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná). 2006.

CLARK, Ailsa M.; DOWNEY, M. Starfishes of the Atlantic. 1992.

COATES, A. G.; OBANDO, J. A. The geological evolution of the Central American Isthmus. Jackson JBC, Budd AF, Coates AG, editors. Evolution and environment in tropical America. 1996.

DE LIMA BUENO, Maristela et al. Guia ilustrado dos Echinodermata da porção sul do Embaiamento Sul brasileiro. Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza, v. 2, n. 2, p. 169-237, 2018.

DONOVAN, Stephen K.; GALE, Andrew S. Predatory asteroids and the decline of the articulate brachiopods. Lethaia, v. 23, n. 1, p. 77-86, 1990.

ELIAS, A. R. D. *et al.* Estratigrafia de seqüências e diagenese do Permiano Inferior da Bacia do Paraná na Região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul, Brasil. Acta Geologica Leopoldensia, v. 23, p. 53-74, 1999.

FELL, Honor Bridget. The phylogeny of sea-stars. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v. 246, n. 735, p. 381-435, 1963.

FÚLFARO, Vicente José *et al.* Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 4, p. 590-611, 1982.

GAHN, Forest J.; BAUMILLER, Tomasz K. A bootstrap analysis for comparative taphonomy applied to Early Mississippian (Kinderhookian) crinoids from the Wassonville cycle of Iowa. Palaios, v. 19, n. 1, p. 17-38, 2004.

GALE, A. S. Phylogeny and classification of the Representantes de asteroideos (Echinodermata). *Zoological Journal of the Linnean Society*, v. 89, n. 2, p. 107-132, 1987.

GALE, ANDREW SCOTT. The phylogeny of post-Palaeozoic Representantes de asteroideos (Echinodermata: Neorepresentantes de asteroideos). *Special Papers in Palaeontology*, v. 85, p. 1-112, 2011.

GONDIM, Anne Isabelley *et al.* Guia taxonômico e revisão histórica de estrelas do mar no nordeste do Brasil (Echinodermata, Representantes de asteroideos). *ZooKeys*, n. 449, pág. 1, 2014.

GREY, John Edward. XXII. — Uma sinopse dos gêneros e espécies da classe Hypostoma (Asterias, Linnæus). *Journal of Natural History*, v. 6, n. 36, pág. 175-184, 1840.

HOLZ, Michael *et al.* The Early Permian coal-bearing succession of the Paraná Basin in southernmost Brazil: depositional model and sequence stratigraphy. *Brazilian Journal of Geology*, v. 30, n. 3, p. 424-426, 2000.

KESLING, Robert Vernon. Three Permian starfish from Western Australia and their bearing on revision of the Representantes de asteroideos. 1969.

KIDWELL, Susan M. *et al.* Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. Plenum, New York, p. 115-209, 1991.

KIDWELL, Susan M.; BAUMILLER, Tomasz. Experimental disintegration of regular echinoids: roles of temperature, oxygen, and decay thresholds. *Paleobiology*, p. 247-271, 1990.

KOWALSKI, Ruth. Untersuchungen zur Biologie des Seesternes *Asterias rubens* L. im Brackwasser. 1954. Tese de Doutorado. Christian-Albrechts-Universität Kiel.

KROH, Andreas; NEBELSICK, James H. Echinoderms and Oligo-Miocene carbonate systems: potential applications in sedimentology and environmental reconstruction. *Int Assoc Sedimentol Spec Publ*, v. 42, p. 201-228, 2010.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. da C. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana*, v. 1, p. 51-103, 1987.

MAH, Christopher L.; BLAKE, Daniel B. Global diversity and phylogeny of the Representantes de asteroideos (Echinodermata). *PloS one*, v. 7, n. 4, p. e35644, 2012.

MENGE, Bruce A. Brood or broadcast? The adaptive significance of different reproductive strategies in the two intertidal sea stars *Leptasterias hexactis* and *Pisaster ochraceus*. *Marine Biology*, v. 31, n. 1, p. 87-100, 1975.

MENGE, Bruce A. *et al.* Top-down and bottom-up regulation of New Zealand rocky intertidal communities. *Ecological monographs*, v. 69, n. 3, p. 297-330, 1999.

MILANI, Edison José et al. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. Anexo ao Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 15, n. 1, p. 183-205, 2007.

MILANI, Edison Jose. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NEVESSKAYA, L. A. Dynamics of taxonomic diversity of bivalves in the Phanerozoic. *Paleontological Journal*, v. 42, n. 4, p. 335-342, 2008.

OGURO, Chitaru *et al.* Development and metamorphosis of the sea-star, *Astropecten scoparius Valenciennes*. *The Biological Bulletin*, v. 151, n. 3, p. 560-573, 1976.

REED, F. R. C. Uma nova fáunula Permo-Carbonífera do Brasil. Serviço de Geologia e Mineralogia (Monografia 10), Rio de Janeiro, 1930.

REMANE, Adolf. Die Brackwasserfauna: mit besonderer Berücksichtigung der Ostsee. Zoologischer Anzeiger, 1934.

REMANE, A. Die Besiedlung des Sandbodens im Meere und die Bedeutung der Lebensformtypen für die Ökologie. Zool Anz, v. 16, n. Suppl, p. 327-359, 1952.

RIBEIRO-COSTA, Cibele S.; DA ROCHA, Rosana Moreira. Invertebrados: manual de aulas práticas. Holos, 2002.

ROCHA-CAMPOS, Antonio Carlos. Contribuição à estratigrafia da região de Taió, Santa Catarina. 1964. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RUPPERT, Edward E.; FOX, Richard S.; BARNES, Robert D. Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. In: Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. 2005. p. 1045-1045.

SCHAFER, W. Ecology and paleoecology of marine environments: Oliver and Boyd. Edinburgh, v. 67, p. 170-177, 1972.

SCHEFFLER, S. M. et al. Os únicos equinodermas do Devoniano Médio (Eogivetiano) da Sub-Bacia de Apucarana, Estado do Paraná (Formação Ponta Grossa, Bacia do Paraná). Reunião Regional de Paleontologia-Paleo PR/SC, Mafra, p. 8, 2011.

SCHMIDT-NETO, Hugo. Análise tafonômica, paleoecológica e contextualização paleoambiental das concentrações fossilíferas dos arenitos Taió, SC. 2013.

SCHMIDT-NETO, Hugo. *et al.* Análise tafonômica das concentrações fossilíferas da Formação Rio Bonito na região de Taió, Sul do Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia, v. 17, p. 208-225, 2014.

SCHMIDT-NETO, Hugo *et al.* Bioerosion in shells from the Early Permian Rio Bonito Formation, Brazil: Taphonomic, paleobiological, and paleoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 505, p. 256-264, 2018.

SCHNEIDER, RiL *et al.* Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso brasileiro de Geologia. 1974. p. 41-65.

SHACKLETON, Juliette Dean. Skeletal homologies, phylogeny and classification of the earliest asterozoan echinoderms. *Journal of Systematic Palaeontology*, v. 3, n. 1, p. 29-114, 2005.

SIMÕES, M. G. *et al.* Long-term time-averaging despite abrupt burial: Paleozoic obrution deposits from epeiric settings on Parana basin, Brazil. 1998.

SOUZA-LIMA, W.; MANSO, C. L. C. Equinodermas. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, v. 1, p. 675-700, 2004.

SPENCER, W. K.; WRIGHT, C. W. *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part U, Echinodermata* 3. 1966.

SPEYER, Stephen E.; BRETT, Carlton E. Taphofacies models for epeiric sea environments: Middle Paleozoic examples. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 63, n. 1-3, p. 225-262, 1988.

SPEYER, Stephen Eric; BRETT, Carlton E. Trilobite taphonomy and Middle Devonian taphofacies. *Palaios*, v. 1, n. 3, p. 312-327, 1986.

STERREN, Andrea Fabiana; CISTERNA, Gabriela Adriana. Bivalves and brachiopods in the Carboniferous-Early Permian of Argentine Precordillera: Diversification and faunal turnover in Southwestern Gondwana. *Geologica Acta: an international earth science journal*, v. 8, n. 4, p. 501-517, 2010.

THUY, Ben *et al.* Paleozoic echinoderm hangovers: Waking up in the Triassic. *Geology*, v. 45, n. 6, p. 531-534, 2017.

TWITCHETT, Richard J.; OJI, Tatsuo. Early Triassic recovery of echinoderms. *Comptes Rendus Palevol*, v. 4, n. 6-7, p. 531-542, 2005.

VON WÖHRMANN, Sidney. Die Fauna der sogenannten Cardita-und Raibler-Schichten in den Nordtiroler und bayerischen Alpen. Hölder, 1889.

WELLS, H.; LALLI, Carol M. *Astropecten sumbawanus* (Echinodermata: Representantes de asteroideos) in Withnell Bay, northwestern Australia. *The Marine Flora and Fauna of Dampier, Western Australia*. Western Australian Museum, Perth, Australia, p. 209-216, 2003.

WHITE, Israel Charles. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro, v. 14, 1908.

ZULLIGER, D. Phylogeography, evolutionary history and genetic diversity of sea stars of the genus *astropecten* and genetic structure within the Atlanto-Mediterranean species *A. aranciacus*. 2009. Tese de Doutorado. University of Zurich.