



## NOVA OCORRÊNCIA DE CRINOIDEA NO PENNSILVANIANO DA FORMAÇÃO ITAITUBA, PEDREIRA CALTARÉM, NORTE DA BACIA DO AMAZONAS

YASMIM ARAÚJO SILVA , GEIZE CAROLINNE CORREIA ANDRADE OLIVEIRA ,  
RICK SOUZA DE OLIVEIRA ,

Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Rua Vera Paz, s/n, Salé,  
68040-255, Santarém, PA, Brasil. [26yasmim@gmail.com](mailto:26yasmim@gmail.com), [geize.oliveira@ufopa.edu.br](mailto:geize.oliveira@ufopa.edu.br) (autora correspondente),  
[rick.oliveira@ufopa.edu.br](mailto:rick.oliveira@ufopa.edu.br)

SANDRO MARCELO SCHEFFLER

Laboratório de Paleoinvertebrados – LAPIN, Departamento de Geologia e Paleontologia, Museu Nacional, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Quinta da Boa Vista s/n, 20940-040 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. [schefflersm1@gmail.com](mailto:schefflersm1@gmail.com)

**ABSTRACT – Crinoidea from the Pennsylvanian deposits of the Itaituba Formation, Northern Amazonas Basin.** The Itaituba Formation comprises part of the marine section of the Tapajós Group in the Amazonas Basin. This unit mainly comprises Pennsylvanian carbonate deposits associated with various marine invertebrate fossils. In this work, we present new records of crinoids in the Itaituba Formation in the Caltarém quarry, north platform of the Amazonas Basin. There are described and taxonomically identified, two genera of crinoids, through the study of columnals and pluricolumnals, in addition to the interpretation of the depositional environment through the analysis of carbonate microfacies. The identified specimens correspond to the species *Cyclocaudex* aff. *typicus* Moore & Jeffords, and to the genus *Pentaridica* Moore & Jeffords (first record in the Itaituba Formation). The textural, compositional, and paleontological analysis suggests four standard microfacies MPF 09, 10, 16, 23) and two faciological zones (ZF 7 E 8). The bioturbated bioclastic *wackestones* (MFP 09) and bioclastic *wackestones/packstones* (MFP 10) microfacies, with fossils of brachiopods, crinoids, echinoids, miliolid and fusulinid foraminifera, trilobites, and bryozoans, characterize an interior shelf environment, with a connection to an open marine circulation (ZF 7). The peloidal *wackestones* (MFP 16) and *mudstones* (MFP 23) microfacies, with a fossiliferous assemblage limited to brachiopods, echinoids and miliolid foraminifera, characterize a restricted lagoon environment (ZF 8). Paleontological data and microfacies analysis indicate the development of a lagoon environment with a diverse paleofauna of marine invertebrates in the carbonate platform of the northern bord of the Amazonas Basin, in the Monte Alegre County, during the Pennsylvanian.

**Keywords:** taxonomy, echinoderms, microfacies, paleoenvironment, Pennsylvanian.

**RESUMO – A Formação Itaituba compreende parte da seção marinha do Grupo Tapajós na Bacia do Amazonas. Esta unidade compreende, principalmente, depósitos carbonáticos do Pensilvaniano associados a vários fósseis de invertebrados marinhos. Neste trabalho, apresentamos novos registros de crinoides na Formação Itaituba, na pedreira Caltarém, plataforma norte da Bacia do Amazonas. São descritos e identificados taxonomicamente dois gêneros de crinoides por meio do estudo de colunais e pluricolunais, além da interpretação do ambiente deposicional através da análise de microfácies carbonáticas. Os espécimes identificados correspondem à espécie *Cyclocaudex* aff. *typicus* Moore & Jeffords e ao gênero *Pentaridica* Moore & Jeffords (primeiro registro na Formação Itaituba). As análises textural, composicional e paleontológica sugerem quatro microfácies padrão (MPF 09, 10, 16, 23) e duas zonas faciológicas (ZF 7 E 8). As microfácies *wackestones* bioclásticas bioturbadas (MFP 09) e *wackestones/packstones* bioclásticas (MFP 10), com fósseis de braquiópodes, crinoides, equinoides, foraminíferos miliolídeos e fusulinídeos, trilobitas e briozoários caracterizam um ambiente de plataforma interior, com circulação marinha aberta (ZF 7). As microfácies *wackestones* peloidais (MFP 16) e *mudstones* (MFP 23), com assembleia fossilífera limitada a braquiópodes, equinoides e foraminíferos miliolídeos caracterizam um ambiente lagunar restrito (ZF 8). Os dados paleontológicos e a análise de microfácies indicam o desenvolvimento de um ambiente lagunar na plataforma carbonática da borda norte da Bacia do Amazonas, na região de Monte Alegre, com a formação de uma paleofauna diversificada de invertebrados marinhos durante o Pensilvaniano.**

**Palavras-chave:** taxonomia, equinodermos, microfácies, paleoambiente, Pensilvaniano.

## INTRODUÇÃO

Os calcários da Formação Itaituba apresentam a maior diversidade fóssilífera da Bacia do Amazonas (Derby, 1894; Figueiras, 1983; Cunha *et al.*, 2007; Scomazzon *et al.*, 2016; Moutinho *et al.*, 2016a, b). Estes depósitos representam o registro da transgressão marinha ocorrida durante o Pensilvaniano, que resultou na formação do mar epicontinental Itaituba-Piauí (Medeiros *et al.*, 2019) na porção central do Gondwana ocidental (Harrington, 1962; Scotese & McKerrow, 1990). A conexão entre as bacias do Amazonas, do Solimões e da Parnaíba é evidenciada por estes depósitos carbonáticos associados a fósseis marinhos variados (Carvalho & Fonseca, 1988; Anelli, 1999; Almeida & Carneiro, 2004; Scomazzon, 2004).

Os principais estudos desenvolvidos recentemente na Formação Itaituba são de caráter bioestratigráfico, com ênfase principalmente na análise de microfósseis, como conodontes (Lemos & Medeiros, 1996; Lemos & Scomazzon, 2001; Scomazzon & Lemos, 2005; Nascimento *et al.*, 2009; Scomazzon *et al.*, 2016), foraminíferos (Altiner & Savini, 1995) e palinórfos (Daemon & Contreiras, 1971). Estudos com crinóides, contudo, são raros (*e.g.*, Lane, 1964). No Devoniano, são registrados nos arenitos das bacias do Amazonas, formações Maecuru e Ererê (*e.g.*, Katzer, 1933; Scheffler *et al.*, 2014, 2015), Parnaíba, formações Pimenteira e Cabeças (*e.g.*, Scheffler *et al.*, 2010, 2011) e Paraná, formações Ponta Grossa e São Domingos (*e.g.*, Ferreira & Fernandes, 1985; Scheffler & Fernandes, 2007; Scheffler *et al.*, 2017). Estas bacias compartilham táxons em comum dos gêneros *Exaesiodycus*, *Laudonomphalus* e *Monstrocrinus*, sugerindo alguma comunicação e rotas de migração de crinóides durante o Devoniano (Scheffler *et al.*, 2010). No Carbonífero, são registrados em depósitos carbonáticos da Bacia do Amazonas, Formação Itaituba (*e.g.*, Katzer, 1933; Marino *et al.*, 2007; Moutinho, 2002, 2006) e na Bacia do Parnaíba, Formação Piauí (Campanha & Rocha-Campos, 1979). Além de depósitos do Permiano da Bacia do Acre, Formação Cruzeiro do Sul (Lemos & Silva, 1996), e em depósitos carbonáticos do Mioceno na Bacia de Barreirinhas, Formação Pirabas (Távora *et al.*, 2015; Monteiro, 2017). Estudos taxonômicos de macrofósseis da Formação Itaituba são comuns, mas focados principalmente em braquiópodes, como os trabalhos de Mendes (1956a, b, 1957, 1959), Anelli (1999) e Chen *et al.* (2005). Para crinóides, estes trabalhos são escassos e limitados à borda sul da Bacia do Amazonas, como Katzer (1933), Strimple (1960), Lane (1964) e Marino *et al.* (2007), contribuindo com a identificação de novas espécies e novas ocorrências. Existem também estudos estratigráficos de cunho microfácies desenvolvidos por Silva (2019) e Silva *et al.* (2022). Neste trabalho, apresentamos a descrição de uma espécie e a primeira ocorrência de um dos gêneros conhecidos de crinóides para a Formação Itaituba, assim como a interpretação do ambiente deposicional destes depósitos carbonáticos, mediante a análise integrada de dados petrográficos e paleontológicos, na pedreira Caltarém, no município de Monte Alegre (Figura 1A), borda norte da Bacia do Amazonas.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Amazonas possui extensão de cerca de 500.000 km<sup>2</sup> e preenchimento sedimentar de até 6 km de espessura no seu depocentro (Cunha *et al.*, 2007). É limitada ao norte pelo escudo das Guianas, ao sul pelo escudo Brasileiro, a oeste pelo arco de Purus, que a separa da Bacia do Solimões, e a leste pelo arco de Gurupá, que a separa da Bacia do Marajó (Cunha *et al.*, 2007). A gênese da bacia é atribuída a processos distensivos, com direção norte-sul decorrentes dos estágios colisionais finais do Ciclo Brasileiro, seguida de subsidência termal e posterior desenvolvimento de uma sinéclise intracontinental (Montalvão & Bezerra, 1980; Neves, 1990; Cunha *et al.*, 1994; Cordani *et al.*, 2009).

A Formação Itaituba é composta principalmente por carbonatos fóssilíferos depositados durante a transgressão marinha sucedida no Pensilvaniano (Harrington, 1962; Cunha *et al.*, 1994; Almeida & Carneiro, 2004). O limite estratigráfico inferior e superior da formação é concordante com os depósitos siliciclásticos da Formação Monte Alegre e com os depósitos evaporíticos da Formação Nova Olinda, respectivamente (Cunha *et al.*, 2007) (Figura 1B). Seu conteúdo fóssilífero é representado principalmente por uma diversa e abundante fauna de invertebrados e microfósseis marinhos composta por foraminíferos bentônicos, escolocodotes, conodontes, corais, briozoários, crinóides, trilobitas, ostracodes, gastrópodes, bivalves e braquiópodes (Derby, 1894; Figueiras, 1983; Scomazzon, 2004; Moutinho, 2006). A idade Neobashkiriana-Eomoscoviana é indicada para os depósitos da formação, com base em estudos de conodontes (Lemos & Medeiros, 1996; Lemos & Scomazzon, 2001; Scomazzon & Lemos, 2005; Nascimento *et al.*, 2005, 2009; Scomazzon *et al.*, 2016), fusulinídeos (Petri, 1952; Altiner & Savini, 1995) e palinórfos (Daemon & Contreiras, 1971; Playford & Dino, 2000).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os espécimes descritos neste trabalho foram coletados ao longo da frente de lavra da pedreira de calcário Caltarém (Caltarém – Exploração de Jazida e Comercio de Calcário e Brita Ltda, 01°45'23.88"S e 54°01'49.43"W), situada à norte da cidade de Monte Alegre, Estado do Pará, na borda norte da Bacia do Amazonas (Figura 1A). Trinta amostras de rochas sedimentares, principalmente relacionadas a carbonatos e folhelhos, foram coletadas de modo sistemático a cada ocorrência fóssil ou a cada metro. Foram descritas quatro microfácies e a ocorrência de macrofósseis de braquiópodes, de briozoários e de crinóides foram observadas durante a campanha de campo. Por fim, foi elaborado um perfil litoestratigráfico, resultando em uma seção sedimentar de 22 m de altura (Figuras 2 e 3).

Os crinóides foram identificados em nível de gênero, com base em colunais e pluricolunais, conforme a proposta de classificação parassistemática de Moore & Jeffords (1968). A distribuição geográfica considera o registro dos espécimes nas demais bacias sedimentares brasileiras. As amostras estão

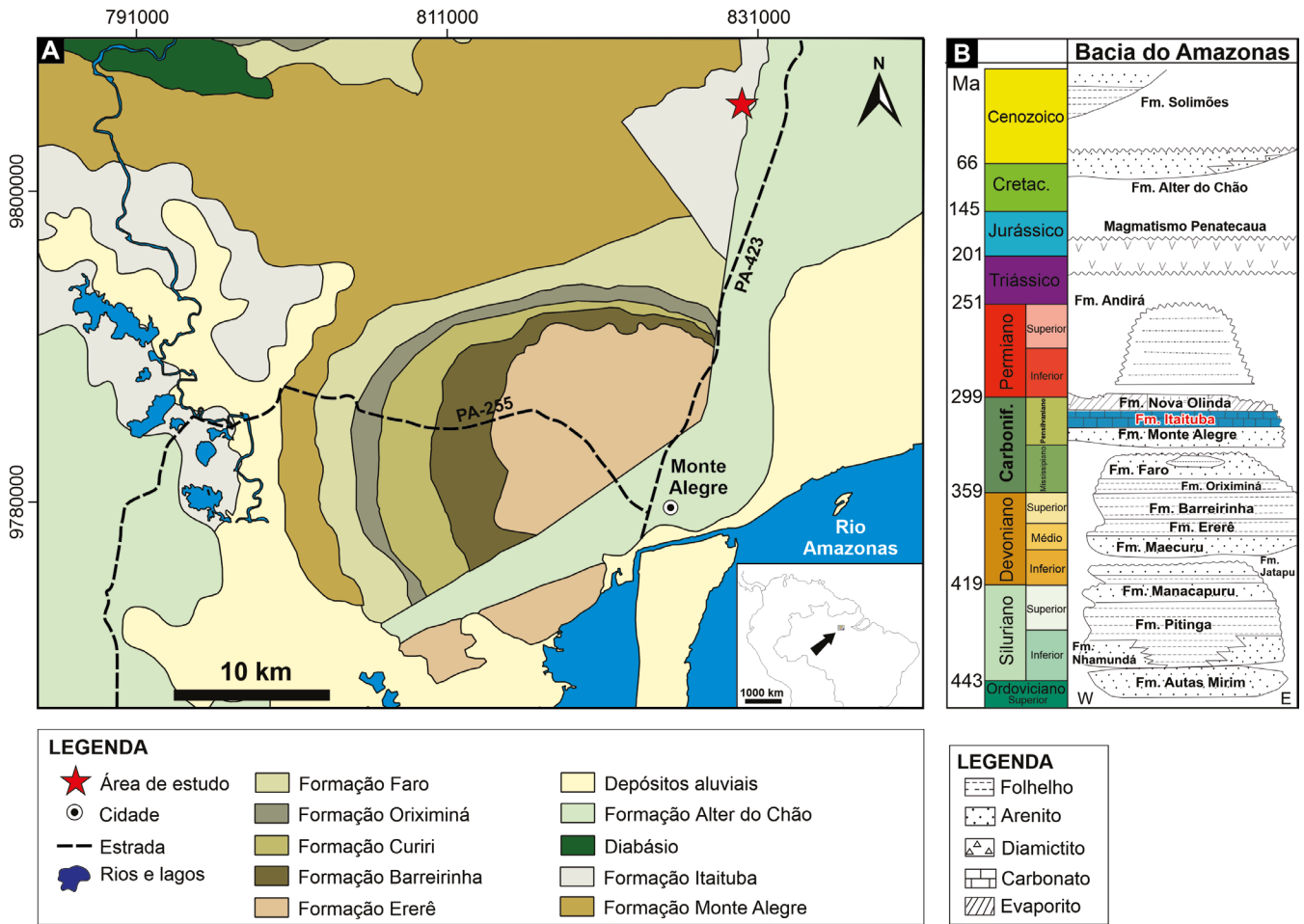


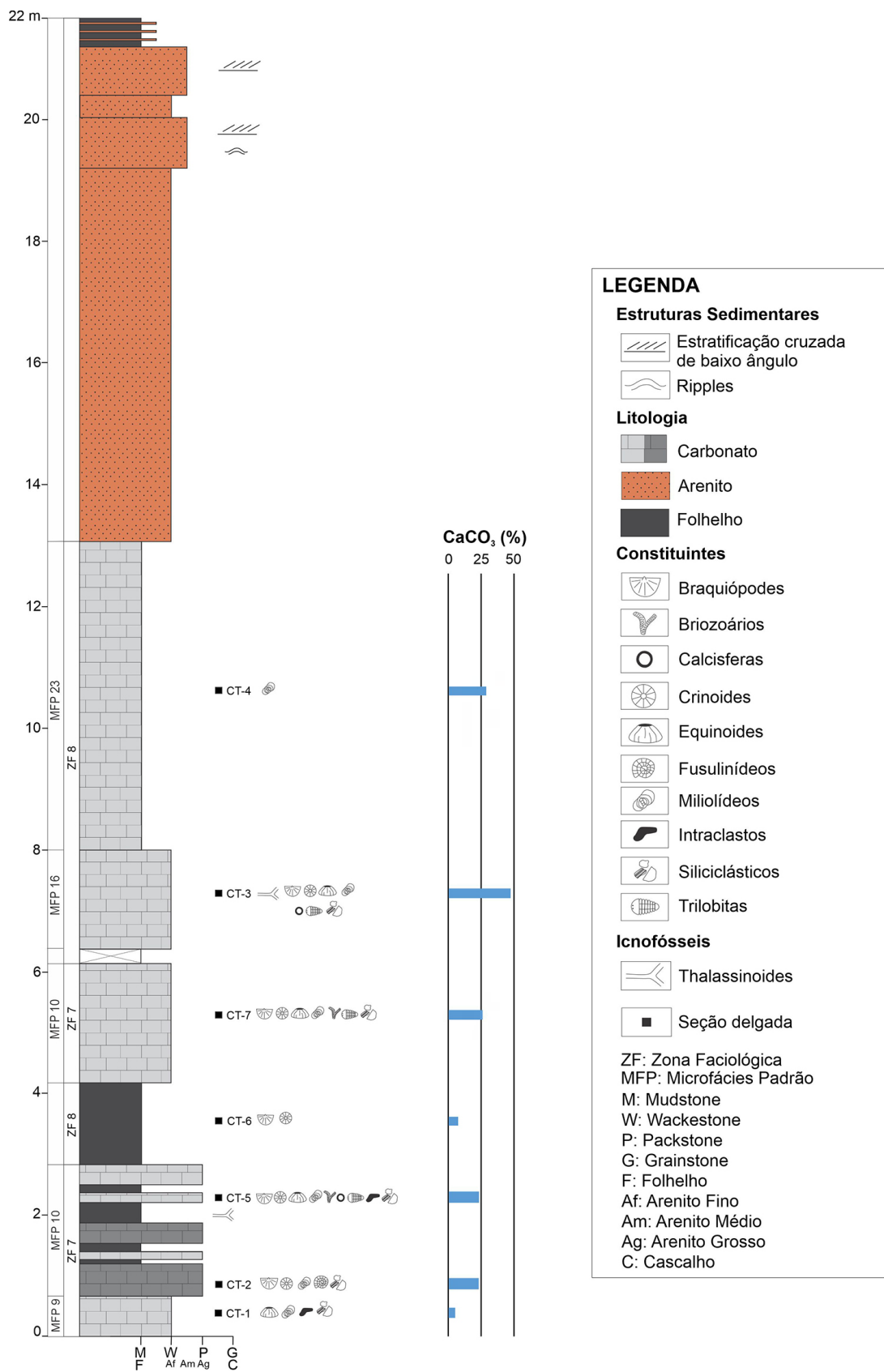
Figura 1. A, mapa geológico e de localização da área de estudo (modificado de Vasquez *et al.*, 2008). B, Cenozoico da Bacia do Amazonas, com destaque para a Formação Itaituba. Modificado de Cunha *et al.* (2007).

Figure 1. A, geological and localization map of the study area (modified after Vasquez *et al.*, 2008). B, Cenozoic of the Amazonas Basin, emphasizing the Itaituba Formation. Modified after Cunha *et al.* (2007).



Figura 2. Fotografia da seção panorâmica da sucessão regressiva carbonato-siliciclástica da Formação Itaituba e perfil estratigráfico, na frente de lavra da pedreira Caltarém.

Figure 2. Panoramic view of the carbonate-siliciclastic regressive succession of the Itaituba Formation and stratigraphic profile in the mining front of the Caltarém quarry.



**Figura 3.** Seção estratigráfica da sucessão estudada com distribuição do conteúdo fossilífero, % de CaCO<sub>3</sub>, MFP 9, 10, 16 e 23 e FZ 7 e 8. **Abreviações:** MFP, Microfácies Padrão; FZ, Zona Faciológica, segundo Wilson (1975).

**Figure 3.** Columnar stratigraphic section of the studied succession with distribution of fossiliferous content, % of CaCO<sub>3</sub>, MFP 9, 10, 16 and 23 and FZ 7 and 8. **Abbreviations:** MFP, Standard Microfacies; FZ, Faciologic Zone by Wilson (1975).

armazenadas no Laboratório Multidisciplinar de Geologia I, da Universidade Federal do Oeste do Pará, onde foram realizadas as identificações e descrições com auxílio de microscópio estereoscópio binocular *Edulab* e microscópio petrográfico *Leica*, modelo DM 750. As amostras foram catalogadas de acordo com as iniciais dos gêneros identificados, tais como: *Pentaridica* (PEN1), primeiro exemplar da coleção; *Cyclocaudex* CYC 1, primeiro exemplar da coleção.

Foram realizadas sete seções delgadas especificamente em níveis fossilíferos (identificadas pelo Acrônimo CT), considerando a variação faciológica, visando a identificação mineralógica, textural e um refinamento taxonômico e paleoambiental. A única seção não utilizada na discussão foi a CT6, pois apesar de ser coletada em nível fossilífero, a litologia não era composta por carbonatos e, portanto, a lâmina não acrescentaria muito além de argilominerais, com uma aparência quase opaca em petrografia convencional a luz transmitida.

A classificação de rochas carbonáticas seguiu a proposta por Dunham (1962). A fábrica e as texturas foram classificadas de acordo com Folk (1965, 1974), Friedman (1965), Logan & Seminiuk (1976) e Sibley & Gregg (1987). A análise de microfácies padrão (MFP) e zonas faciológicas (ZF) seguiu a versão modificada por Flügel (2004) do esquema de classificação de microfácies proposta por Wilson (1975). A análise quantitativa foi realizada por proporção modal estimada de grãos e matriz usando diagramas de comparação desenvolvidos por Baccelle & Bosellini (1965). A composição quantitativa de cada amostra está documentada na Tabela 1. A diferenciação da composição mineralógica dos carbonatos foi realizada em seções delgadas por tingimento com solução de alizarina vermelha S e ferricianeto de potássio, baseada na metodologia de Friedman (1959).

A determinação do teor aproximado de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) foi realizada através do método capilar, semelhante ao de Ledésert *et al.* (2009). O método consiste em mensurar a concentração de CaCO<sub>3</sub> através da medição proporcional do volume de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado a partir da reação de ácido clorídrico (HCl) com carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). O CO<sub>2</sub> liberado desloca uma coluna de água, indicando o volume de CO<sub>2</sub> desprendido da amostra.

## PALEONTOLOGIA SISTEMÁTICA

Filo ECHINODERMATA Klein, 1734

Classe CRINOIDEA Miller, 1821

Subclasse e Ordem *Incertae*

Família PENTACAULISCIDAE Moore & Jeffords, 1968

*Pentaridica* Moore & Jeffords, 1968

*Pentaridica* sp.

(Figura 4)

**Material.** Um exemplar, PEN 1, MFP 10, ZF 7.

**Descrição.** Colunal isolada, pentagonal; faceta com cerca de 1 mm de diâmetro, com lúmen circular relativamente grande

e aréola grande e pentagonal, delimitada pelo curto crenulário composto por cúlmens retos e grossos.

**Amplitude estratigráfica.** Devoniano Médio a Permiano médio (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2007a; Scheffler *et al.*, 2015).

**Discussão.** Segundo Moore & Jeffords (1968), o gênero *Pentaridica* é caracterizado por apresentar colunais pentagonais, com facetas articulares marcadas por aréola de contorno fortemente pentagonal, crênulas retas, canal axial circular moderadamente grande. Com base nessas características morfológicas, o espécime descrito é definido como correspondente a este gênero. O espécime da Formação Itaituba se assemelha muito a *Pentaridica simplicis* Moore & Jeffords, 1968 do Pensilvaniano Médio do Texas-EUA (ver Moore & Jeffords, 1968, est. 9, fig. 11a) e do Pensilvaniano Médio (Atokano) de Sonora-México (Buitrón-Sánchez *et al.*, 2007b, fig. 3j; Buitrón-Sánchez *et al.*, 2008, 2015). Contudo, novos materiais são necessários para confirmar esta identificação.

**Ocorrência no Brasil.** Formação Taciba, Grupo Itararé, Bacia do Paraná (Simões *et al.*, 2020). Formação Maecuru, Bacia do Amazonas (Scheffler *et al.*, 2015). Formação Itaituba, Bacia do Amazonas (este artigo).

Família CYCLOMISCHIDAE Moore & Jeffords, 1968

*Cyclocaudex* Moore & Jeffords, 1968

*Cyclocaudex* aff. *typicus*

(Figura 5)

**Material.** Quatro exemplares (CYC 1, CYC 2, CYC 3, CYC 4), MFP 10, ZF 7.

**Descrição.** Colunais e pluricolunais circulares, heteromórficas; látera lisa e reta. Facetas circulares, com diâmetro entre 0,3 e 1,3 cm, com lúmen circular ou pentalobado de 3 mm de diâmetro, cercado por crenulário com cúlmens finos e radiais, que podem se bifurcar próximo a periferia da faceta; aréola reduzida, granulada. As pluricolunais apresentam comprimento entre 0,9 e 1,7 cm, com alguns colunais exibindo cicatrizes de cirros.

**Amplitude estratigráfica.** Devoniano ao Pensilvaniano Superior (Moore & Jeffords, 1968; Scheffler & Fernandes, 2007).

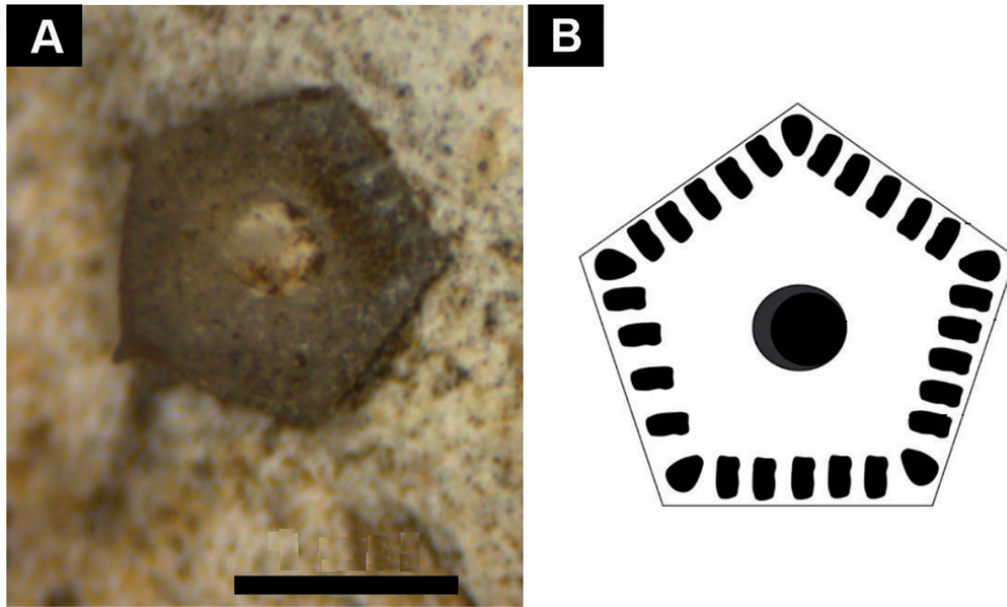
**Discussão.** As espécies deste gênero são caracterizadas por apresentarem látera reta ou fracamente convexa longitudinalmente, cicatrizes de cirros, crenulário com crênulas longas e retas, aréola ausente ou reduzida, lúmen geralmente com contorno circular e pequeno (Moore & Jeffords, 1968). O material da Formação Itaituba se assemelha à *Cyclocaudex typicus* Moore & Jeffords, 1968, apresentando as crênulas finas bifurcadas e pequena aréola com grânulos (Figura 5B), que pode estar muito reduzida (Figura 5A). Esta é a espécie-tipo do gênero, sendo registrada no Pensilvaniano Superior do Texas (ver Moore & Jeffords, 1968, est. 17, figs. 1–5). O material aqui descrito se identifica à *Cyclocaudex* sp. descrito por Marino *et al.* (2007) para a Formação Itaituba

**Tabela 1.** Composição modal das amostras individuais da pedraira Caltarém, Formação Itaituba.**Table 1.** Modal composition of individual samples from the Caltarém quarry of Itaituba Formation.

Seção delgada	Arcabouço (%)																	Classificação de Dunham (1962)	Zona de Irwin (1965)		Microfácies de Wilson (1975)			
	Aloquímicos										Terrígenos (%)		Minerais autígenos (%)		Porosidade (%)		Microfácies Padrão		Zona Faciológica					
	Biogênicos					Cimento					Quartzo (calcedônia)	Anidrita	Pirita	Intergranular	Fraturas									
Micrito	Braquiópode	Briozóário	Calcisfera	Crinoide	Equinodermo	Foraminífero	Trilobita	Intraclasto	Pelóide	Calcita equant "A"						Calcita espática "B"	Dolomita	Quartzo	Outros	Quartzo (calcedônia)	Anidrita	Pirita	Intergranular	Fraturas
CT-1	78	-	-	-	-	1	1	-	2	-	-	-	-	16	1	-	-	1	-	-	Wackestone	Z	9	7
CT-2	68	7	-	-	1	2	5	-	-	-	-	-	-	14	2	-	-	1	-	-	Packstone		10	7
CT-3	82	4	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-	0,5	6	1	-	0,5	1	-	-	Wackestone		16	8
CT-4	93,5	0,5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	1	-	1	Mudstone		23	8
CT-5	61,2	6	1	0,5	1	2	1	1	1	-	0,1	0,7	-	21	1	-	0,5	1	1	-	Packstone		10	7
CT-7	80,5	4,5	1	-	2	1	0,5	2	-	-	-	-	-	6	1	0,5	-	1	-	-	Wackestone		10	7

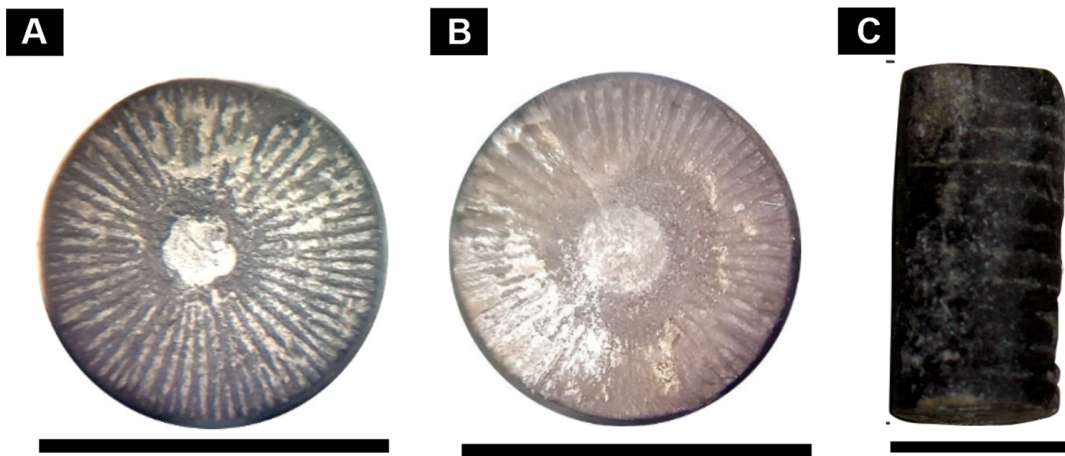
no Rio Tapajós, tendo como única diferença a aréola lisa no último, o que pode representar, no entanto, um artefato tafonômico. É importante salientar que o material descrito como *C. typicus* por Villanueva-Olea *et al.* (2011), que ocorre do Mississippiano ao Pensilvaniano Médio e Permiano Médio a Inferior do México (Torres-Martínez *et al.*, 2020, Villanueva-Olea *et al.*, 2021), não deve pertencer a esta espécie, apresentando menos crênulas mais grossas, menor diâmetro e maior índice luminal.

**Ocorrência do gênero no Brasil.** Formação Ponta Grossa, Bacia do Paraná (Scheffler & Fernandes, 2007); Formação Itaituba, Bacia do Amazonas (Marino *et al.*, 2007; este artigo). **Observação.** Os crinoides pertencentes a coleção de paleontologia da CPRM estudados por Marino *et al.* (2007), procedentes do Rio Tapajós, borda sul da Bacia do Amazonas, estavam emprestados ao Museu Nacional e foram perdidos no grande incêndio de 02 de setembro de 2018. Isto reveste de ainda mais importância o material aqui estudado.



**Figura 4.** A, colunal de *Pentaridica* sp. (PEN 1) e B, representação esquemática exibindo detalhes da faceta. Escala = 1 mm.

**Figure 4.** A, columnal of *Pentaridica* sp. (PEN 1) and B, schematic representation showing details of the facet. Scale bar = 1 mm.



**Figura 5.** A, colunais isoladas de *Cyclocaudex* aff. *typicus*, apresentando faceta com lúmen pentalobado (CYC 1) e B, lúmen circular (CYC 2); C, morfologia da pluricolunal (CYC 4). Escalas = 10 mm.

**Figure 5.** A, isolated columnals of *Cyclocaudex* aff. *typicus*, showing facet with pentalobate lumen (CYC 1) and B, circular lumen (CYC 2); C, morphology of the pluricolumnal (CYC 4). Scale bars = 10 mm.

## AMBIENTE DEPOSICIONAL

Foram identificadas quatro microfácies padrão (9, 10, 16 e 23), correspondendo conjuntamente a duas zonas faciológicas relacionadas à paleoambientes lagunares (ZF 7 e 8), baseadas em Irwin (1965) e Flügel (2004). A ocorrência de crinoides está restrita às microfácies padrão 10 e 16. Os principais componentes e interpretação paleoambiental de cada microfácies são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

A microfácies padrão 09 (MFP 09) é caracterizada por *wackestone* bioclástica bioturbada (Figura 6A), composta por grãos siliciclásticos representados predominantemente por grãos de quartzo monocristalino e menos frequente por plagioclásio, muscovita e zircão de tamanho silte grosso, subangulosos e moderadamente selecionados. Cristais subédricos a euédricos cúbicos de pirita ocorrem de forma disseminada na matriz. Intraclastos de mudstones são comuns. Os raros bioclastos são representados por fragmentos

de equinodermos indiferenciados e foraminíferos em meio a matriz micrítica peloidal. A bioturbação é indicada pela distribuição irregular de organismos. Do ponto de vista microfaciológico, é associada tanto ao ambiente deposicional marinho profundo abaixo das ondas de tempestade, quanto lagunar com circulação aberta (Wilson, 1975; Flügel, 2004). Entretanto, seu conteúdo em matéria orgânica, siliciclásticos, peloides e bioturbação são compatíveis com as litofácies lagunares interpretadas para a borda sul da Bacia do Amazonas (Moutinho *et al.*, 2016a). Além disso, não há indicações de microfácies padrões na seção colunar (Figura 3) que indiquem um afogamento gradual da plataforma em direção à plataforma profunda.

A microfácies padrão 10 (MFP 10) corresponde a *Wackestones* e *Packstones* bioclásticas (Figuras 6B–D), sendo caracterizada por matriz micrítica peloidal, calcisferas, intraclastos, cristais finos de anidrita e pirita, cimento de calcita e sílica, além de grãos siliciclásticos de tamanho silte grosso, subangulosos a subarredondados, moderadamente selecionados, representados predominantemente por grãos de quartzo monocristalino e menos frequente por muscovita, plagioclásio e microclínio. Os bioclastos correspondem a fragmentos principalmente de braquiópodes, crinoides, foraminíferos miliolídeos e fusulinídeos, briozoários, trilobitas e de plantas, e com menor frequência, espinhos de equinoides e productídeos. De modo semelhante, a presença de siliciclásticos, peloides e bioclastos com feições de retrabalhamento, como abrasão e fragmentação, pela atuação de correntes, indica que essa microfácies padrão é representativa de um ambiente deposicional lagunar com circulação aberta.

A microfácies padrão 16 (MFP 16) equivale a *Wackestone* peloidal (Figura 6E) e indica um ambiente deposicional

lagunar protegido com circulação moderada de água. Esta microfácies é constituída por matriz micrítica peloidal fina, calcisferas, dolomita, pirita, anidrita, grãos siliciclásticos, principalmente grãos de quartzo monocristalino de tamanho silte grosso, subangulosos a subarredondados, bem selecionados e, subordinadamente, por plagioclásio e muscovita. Os bioclastos são representados por fragmentos principalmente de braquiópodes e equinodermos pertencentes às classes equinoide e crinoide muito provavelmente transportado por tempestades, espinhos de productídeos, e foraminíferos miliolídeos.

A microfácies padrão 23 (MFP 23) é caracterizada por *mudstone* (Figura 6F) e indica um ambiente deposicional lagunar restrito. Esta microfácies é composta essencialmente por matriz micrítica peloidal. Os bioclastos são muito raros e correspondem a foraminíferos miliolídeos e fragmentos de braquiópodes. Apresenta estilólitos, cimento de calcita, cristais euédricos de dolomita e cristais subédricos e anédricos de pirita que ocorrem de forma disseminada.

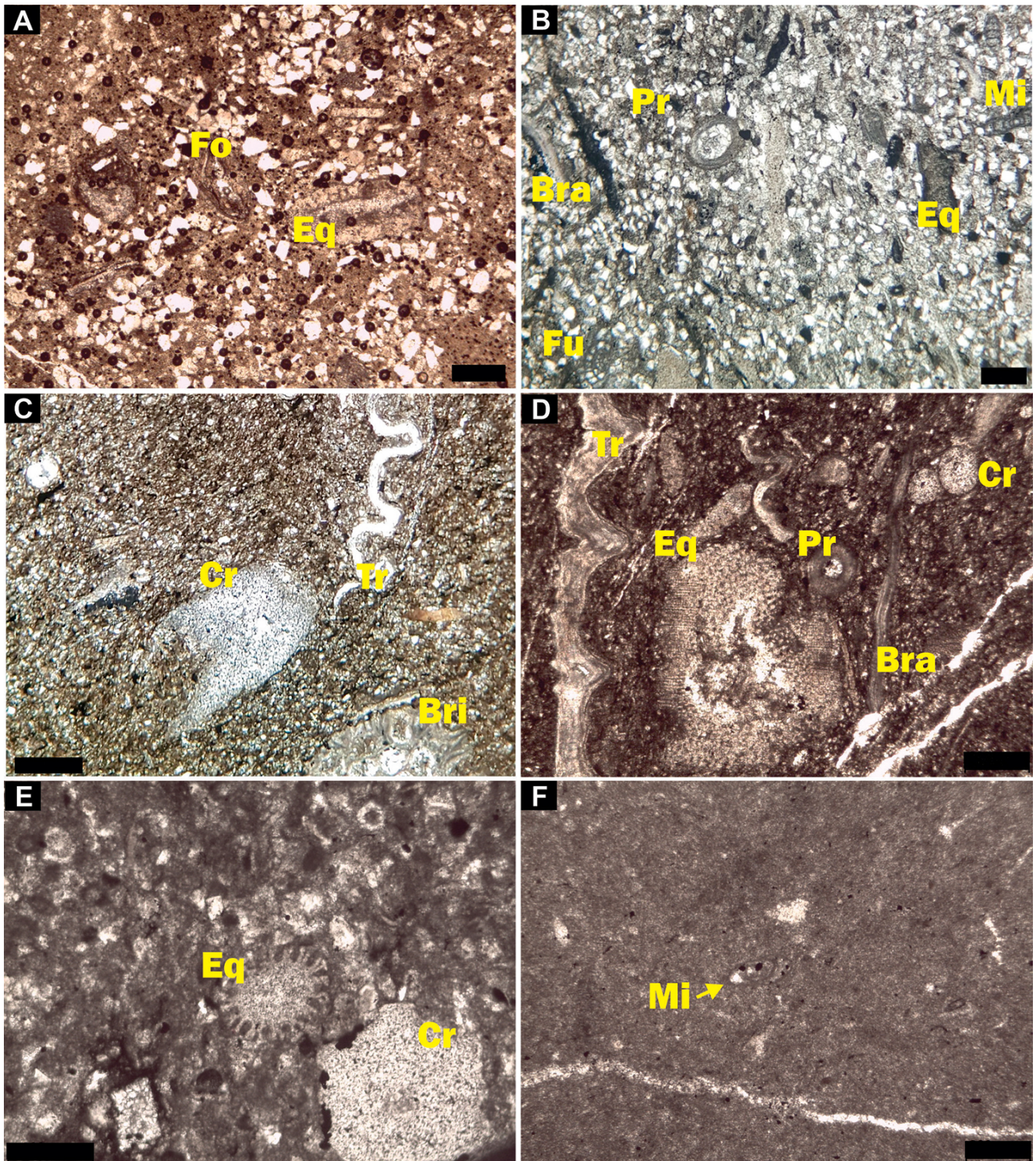
A associação fóssilífera de invertebrados marinhos da área de estudo é composta por braquiópodes, briozoários, equinodermos, foraminíferos bentônicos e trilobitas. Tendo em vista que a ocorrência desses táxons é controlada por parâmetros ambientais como profundidade, temperatura, salinidade, disponibilidade de oxigênio e nutrientes, a sua associação é, portanto, condicionada a determinados ambientes e fácies (Flügel, 2004). De um modo geral, a base da sucessão sedimentar estudada é composta por carbonatos intercalados a folhelhos, indicando inicialmente um ambiente deposicional lagunar com circulação aberta, intercalado por folhelhos de laguna muito restrita e posterior evolução para laguna com circulação restrita, com topo constituído por depósitos siliciclásticos deltaicos (Figura 3). Em nível de detalhe, a

**Tabela 2.** Tipos de microfácies e zonas faciológicas da pedreira Caltarem, Formação Itaituba, na região de Monte Alegre.

**Table 2.** Microfacies types and facies zones of the Caltarem quarry, Itaituba Formation in the region of Monte Alegre.

Microfácies	Microfácies Padrão (MFP) (Flügel, 2004)	Zona Faciológica (ZF) (Flügel, 2004)	Ambiente Deposicional	Principais componentes
<i>Wackestone</i> bioclástica bioturbada	MFP 09			Quartzo, intraclastos, raros fragmentos de foraminíferos e equinodermos indiferenciados.
<i>Wackestone/Packstone</i> bioclástica	MFP 10	ZF 7	Laguna com circulação aberta	Foraminíferos miliolídeos e fusulinídeos, crinoides, briozoários, espinhos de equinoide e productídeos, fragmentos de braquiópodes, outros equinodermos indiferenciados e trilobitas, intraclastos, quartzo e calcisferas.
<i>Wackestone</i> peloidal	MFP 16	ZF 8	Laguna com circulação restrita	Peloides, quartzo, foraminíferos bentônicos, espinhos de equinoides e productídeos, crinoides, fragmentos de braquiópodes, fragmentos de equinodermos indiferenciados e fragmentos de trilobitas, calcisferas.
Micrito não fóssilífero	MFP 23			Raros foraminíferos miliolídeos e fragmentos de braquiópodes





**Figura 6.** Tipos de microfácies. **A**, *wackestone* bioclástica bioturbada (MFP-09); **B e D**, *packstone* bioclástica (MFP-10); **C**, *wackestone* bioclástica (MFP-10); **E**, *wackestone* peloidal (MFP-16); **F**, *mudstone* (MFP-23). **Abreviações:** **Bra**, braquiópode; **Bri**, briozoário; **Ca**, calcisfera; **Cr**, crinoide; **Eq**, fragmento de equinodermo; **Fo**, foraminíferos; **Fu**, fusulinídeo; **Ic**, intraclasto; **Mi**, miliólídeo; **Pr**, espinho de productídeo; **Tr**, trilobita. Escalas: A–B, E = 200 µm; C–D, F = 300 µm.

**Figure 6.** Microfacies types. **A**, bioturbated bioclastic wackestone (MFP-09); **B e D**, bioclastic packstone (MFP-10); **C**, bioclastic wackestone (MFP-10); **E**, Peloidal wackestone (MFP-16); **F**, Mudstone (MFP-23). **Abbreviations:** **Bra**, brachiopod; **Bri**, bryozoan; **Ca**, calcisphere; **Cr**, crinoid; **Eq**, echinoderm fragmente; **Fo**, foraminifera; **Fu**, fusulinid; **Ic**, intraclast; **Mi**, milioloid; **Pr**, productid spines; **Tr**, trilobite. Scale bars: A–B, E = 200 µm; C–D, F = 300 µm.

associação das microfácies indicam duas zonas faciológicas, ZF 7 e ZF 8, que caracterizam um ambiente deposicional lagunar (Figura 7). A zona faciológica 7 de Flügel (2004) corresponde a um ambiente lagunar com circulação aberta, localizada dentro da zona fótica, normalmente acima da base de ondas de bom tempo, águas com circulação moderada e salinidade e temperaturas semelhantes ao do mar adjacente, devido a sua conexão com o mar aberto (Wilson, 1975; Tucker & Wrigth, 1990). Esta zona é caracterizada na área de estudo pelas microfácies *wackestone* bioclástica bioturbada (MFP 09) e *wackestone/packstone* bioclásticas (MFP 10), bem como pela diversidade fossilífera. A conexão da laguna ao mar aberto possibilitou condições ambientais com energia moderada, promovendo o suprimento contínuo de nutrientes e remoção de parte dos sedimentos finos, favorecendo o desenvolvimento de organismos com morfologias delicadas e que não são adaptados a grandes variações nas condições ambientais, atestado pela ocorrência, por exemplo, de crinoides, briozoários ramosos e fusulinídeos. No entanto, a baixa abundância de bioclastos pode estar relacionada ao baixo conteúdo de carbonato de cálcio (Figura 3) e a eventuais influxos de sedimentos terrígenos, restringindo a ocorrência de organismos suspensívoros vulneráveis ao aumento da turbidez. Eventualmente, essa condição de laguna aberta desapareceu e possivelmente evoluiu para uma laguna muito restrita representada pelos folhelhos, com deposição predominante de terrígenos e pouco conteúdo fossilífero. Este ambiente deu lugar à ZF8 com circulação marítima restrita. A zona faciológica 8 de Flügel (2004) corresponde a um ambiente lagunar protegido, caracterizada pela circulação restrita de água e ocorrência de organismos adaptados a condições ambientais estressantes, devido às grandes flutuações nas taxas de salinidade, temperatura, oxigênio e energia (Tucker & Wrigth, 1990). Essas condições propiciaram a deposição das microfácies *wackestone* peloidal (MFP 16) e *mudstone* (MFP 23) com uma biota limitada a fragmentos de braquiópodes, de equinodermos e foraminíferos miliolídeos. Especificamente para a MFP 16, a abundância de peloides em meio a fragmentos bioclásticos com grande diversidade faunal, sugere uma inversão textural causada pelo retrabalhamento de ondas por tempestade, capazes de transportar os bioclastos até as lagunas protegidas.

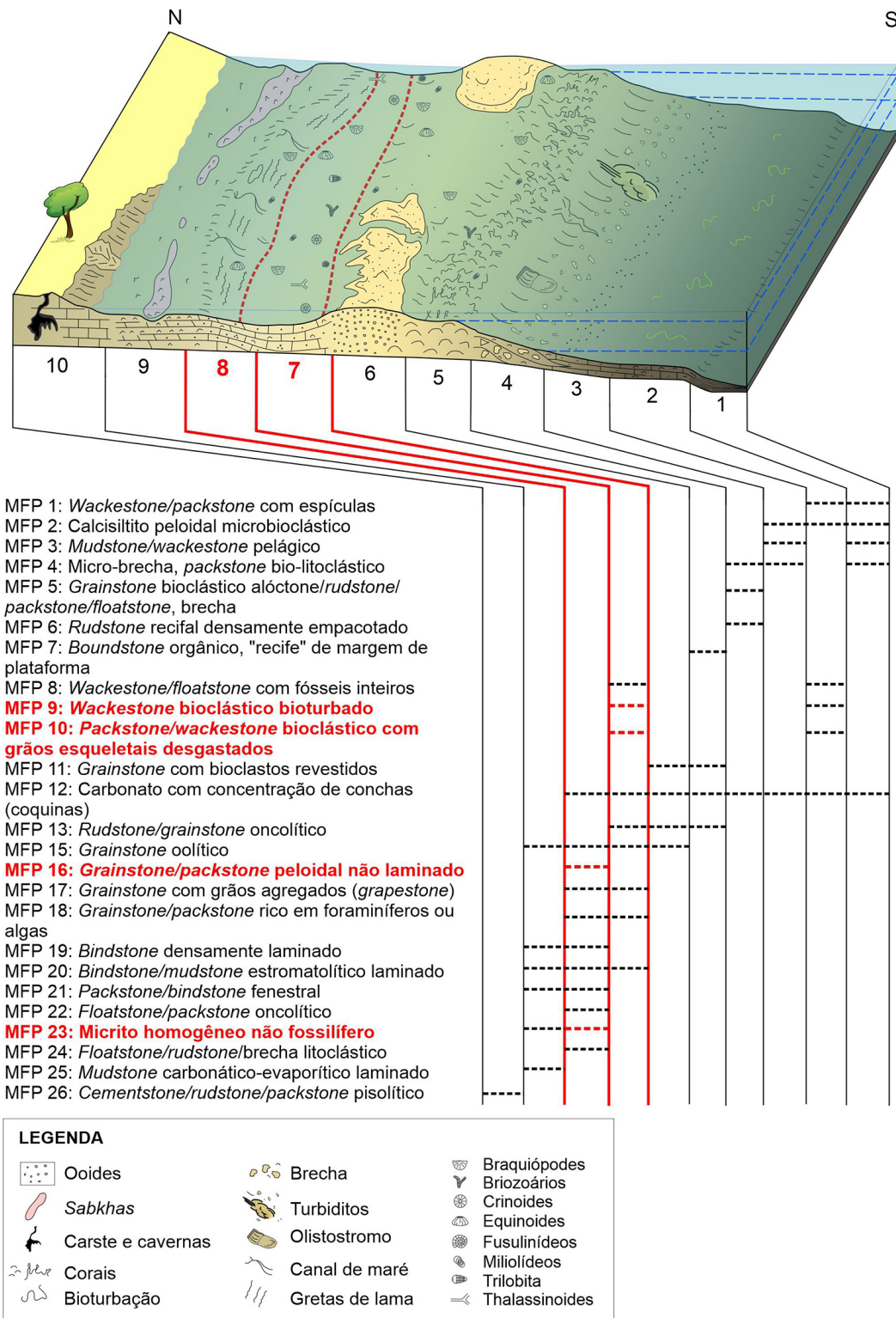
A macrofauna dos carbonatos e folhelhos da Formação Itaituba na região de Monte Alegre inclui uma abundância de braquiópodes (93%) comparada aos crinoides (5%) e briozoários (2%), o que favorece a interpretação de ambiente lagunar, uma vez que é esperado maior abundância de crinoides no Carbonífero em ambiente de plataforma aberta. Por serem invertebrados bentônicos, estenohalinos, epifaunais e suspensívoros, a distribuição dos crinoides é muito influenciada pelos fatores ecológicos do ambiente onde vivem, como o tipo do substrato, salinidade, temperatura e turbidez da água (Ruppert & Barnes, 1996). São os equinodermos com o mais rico registro fossilífero, sendo abundantes em rochas que foram depositadas em ambientes de plataforma interna e salinidade normal (Ruppert & Barnes, 1996; Clarkson, 1998). Na seção de estudo, assim como nas

demais bacias sedimentares brasileiras, os crinoides foram preservados sob a forma de colunais isoladas e pluricolunais em sua maioria. Algumas pluricolunais, apresentaram incrustação de briozoários cystoporados (Fistuliporidae). A preservação de crinoides em colunais isoladas e pluricolunais, além da incrustação de briozoários cystoporados, sugere a interpretação da permanência destes restos esqueletais por algum tempo na interface água-sedimento por período suficiente à formação da colônia incrustante, como já citado por Moutinho (2006), para a borda sul da bacia.

Nossas interpretações estão de acordo com as reconstruções paleoambientais propostas para a Formação Itaituba, que indicam o desenvolvimento de uma plataforma carbonática na Bacia do Amazonas durante o Pensilvaniano (Figueiras, 1983; Neves, 2009; Lima, 2010; Máximo, 2012; Silva, 2014; Moutinho *et al.*, 2016a; Scmazzon *et al.*, 2016; Neves & Barbosa, 2019; Sousa, 2019), sendo especificamente compatíveis às reconstruções paleoambientais propostas por Lima (2010), Silva (2019) e Silva *et al.* (2022), para a borda norte e Neves e Barbosa (2019) e Silva *et al.* (2022), para a borda sul, próximo à cidade de Itaituba. Por outro lado, nossos dados mostraram um ambiente consideravelmente mais raso que as fácies identificadas por Moutinho *et al.* (2016a, b), o que pode indicar uma tendência de aprofundamento em direção à borda sul da Bacia do Amazonas durante a deposição da Formação Itaituba, corroborando com Silva *et al.* (2022).

## CONCLUSÕES

Os crinoides identificados nos carbonatos da pedreira Caltarém, Formação Itaituba correspondem a organismos identificados como *Cyclocaudex* aff. *typicus* e *Pentaridica* sp. Esta é a primeira ocorrência do gênero *Pentaridica* nos carbonatos da Formação Itaituba, assemelhando-se à *P. simplicis*, do Pensilvaniano Médio do Texas-EUA e Pensilvaniano Médio (Atokano) de Sonora-México. A ocorrência de *Cyclocaudex* já é conhecida nos depósitos da borda sul, na região de Itaituba. No entanto, os novos achados têm apontado para uma grande similaridade à *C. typicus*, que também ocorre no Pensilvaniano Médio do Texas, EUA. As quatro microfácies reconhecidas, MFP 9, MFP 10, MFP 16 e MFP 23, indicam um paleoambiente lagunar com deposição de carbonatos em condições de laguna com circulação aberta progredindo para circulação restrita. A associação de crinoides, briozoários e foraminíferos fusulinídeos da Zona Faciológica 7 sugere que o ambiente lagunar estava conectado ao mar aberto, apresentando águas bem oxigenadas, com energia moderada, salinidade normal, baixa taxa de sedimentação, com disponibilidade de nutrientes e carbonato de cálcio. Enquanto a ausência desta associação fossilífera, associada a ocorrência de foraminíferos miliolídeos, equinoides e braquiópodes nas fácies carbonáticas da zona faciológica 8, indica um ambiente estressante com variações nas taxas de salinidade, baixo nível de oxigênio e nutrientes. Por fim, os resultados deste estudo contribuem para o entendimento da paleobiodiversidade e do paleoambiente do Pensilvaniano na Bacia do Amazonas.



**Figura 7.** Modelo paleoambiental indicando a distribuição das zonas faciológicas e microfácies características dos subambientes de uma plataforma, com destaque em vermelho para as quatro microfácies padrão e duas zonas faciológicas interpretadas para os depósitos da Formação Itaituba na região de Monte Alegre (adaptado do modelo de Wilson, 1975), sendo 1, bacia marinha profunda; 2, plataforma profunda; 3, sopé de talude; 4, talude; 5, recifes de margem de plataforma; 6, baixios arenosos de margem de plataforma; 7, plataforma interior com circulação marinha aberta; 8, plataforma interior com circulação restrita; 9, plataforma evaporítica e 10, rochas carbonáticas afetadas por águas meteóricas.

**Figure 7.** Paleoenvironmental model indicating the distribution of the microfacies and faciological zones characteristic of platform sub-environments; in red are the four pattern microfacies and two faciological zones interpreted for the Itaituba Formation deposits in the Monte Alegre region (adapted from Wilson model, 1975). 1, deep marine basin; 2, deep shelf; 3, too of a slope; 4, slope; 5, platform margin reefs; 6, platform margin sand shoals; 7, platform interior open marine circulation; 8, platform interior with restricted circulation; 9, evaporitic platform; 10, carbonate rocks meteorically affected.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Oeste do Pará pelo apoio financeiro a esta pesquisa, à empresa Caltarém, a qual possibilitou o estudo de campo, nas pessoas de S. Macedo, Â.M. Lima e C. Alves, e as turmas da disciplina Prática de Campo em Paleontologia (GEOL201607), como também aos dois revisores anônimos, que contribuíram de forma ímpar para a versão final deste manuscrito.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. & Carneiro, C. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: V. Mantesso-Neto; A. Bartorelli; C.D.R. Carneiro & B.B. Brito-Neves. *Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, Editora Beca, p. 43–58.
- Altiner, D. & Savini, R. 1995. Pennsylvanian foraminifera and biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil). *Revue de Paleobiologie*, **14**:417–453.
- Anelli, L.E. 1999. *Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): Taxonomia; análise cladística das subfamílias Oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e Neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda)*. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 184 p.
- Baccelle, L. & Bosellini, A. 1965. Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie. In: *Annali della Università di Ferrara, Sezione IX, Scienze Geologiche e Paleontologiche*, **4**, p. 59–62.
- Buitrón-Sánchez, B.E.; Almazán-Vázquez, E. & Vachard, D. 2007a. Middle Permian crinoids (Echinodermata, Crinoidea) from Cerros Los Monos, Caborca, Sonora, Mexico and paleogeographic considerations. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **24**:344–353.
- Buitrón-Sánchez, B.E.; Chacón-Wences, O.; Vachard, D.; Palafox-Reyes, J.J.; Jiménez-López, J.C. & Sour-Tovar, F. 2015. Pennsylvanian biota of the Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: biostratigraphic and paleogeographic considerations. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **86**:521–527. doi:10.1016/j.rmb.2015.04.006
- Buitrón-Sánchez, B.E.; Gómez-Espinosa, C.; Almazán-Vázquez, E. & Vachard, D. 2007b. A late Atokan regional encrinite (early late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora state, NW Mexico. *Geological Society, London, Special Publications*, **275**:201–209. doi:10.1144/gsl.sp.2007.275.01.13
- Buitrón-Sánchez, B.E.; Gómez-Espinosa, C.; Almazán Vázquez, E.; Vachard, D.; Laguarda-Figueras, A. & Solís-Marín, F. 2008. A review of the crinoid columnals (Echinodermata-Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico. *Revista de Biología Tropical*, **56**:1–12. doi:10.15517/rbt.v56i3.27020
- Campanha, V.A. & Rocha-Campos, A.C. 1979. Alguns microfósseis da Formação Piauí (Neocarbonífero), Bacia do Parnaíba. *Boletim Ig*, **10**:57–67. doi:10.11606/issn.2316-8978.v10i0p57-67
- Carvalho, M.G.P. & Fonseca, V.M.M. 1988. Contribuição ao conhecimento dos Trilobitas carboníferos das bacias do Amazonas e Parnaíba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **60**:110.
- Chen, Z.-Q.; Tazawa, J.-I.; Shi, G.R. & Matsuda, N.S. 2005. Uppermost Mississippian brachiopods from the Basal Itaituba Formation of the Amazon Basin, Brazil. *Journal of Paleontology*, **79**:907–926. doi:10.1666/0022-3360(2005)079[0907:UMBFTB]2.0.CO;2
- Clarkson, E.N.K. 1998. *Invertebrate Paleontology and Evolution*. 4ª ed. London, Blackwell Science, 452 p.
- Cordani, U.G.; Brito Neves, B.B.; Fuck, R.A.; Porto, R.; Thomaz Filho, A. & Cunha, F.M.B. 2009. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (República). *Boletim de Geociências da Petrobras*, **17**:133–204.
- Cunha, P.R.C.; Gonzaga, F.G.; Coutinho, L.F.C. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**:47–55.
- Cunha, P.R.C.; Melo, J.H.G. & Silva, O.B. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**:227–251.
- Daemon, R.F. & Contreiras, C.J.A. 1971. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **25**, 1971. *Resumos*, São Paulo, SBG, p. 79–88.
- Derby, O.A. 1894. The Amazonian Upper Carboniferous Fauna. *The Journal of Geology*, **2**:480–501. doi:10.1086/607000
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (ed.) *Classification of Carbonate Rocks*, AAPG, p. 108–121.
- Ferreira, C.S. & Fernandes, A.C.S. 1985. Nota sobre alguns crinóides do Devoniano da Amazônia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **57**:139.
- Figueiras, J.M.F. 1983. *Petrologia dos carbonatos da Formação Itaituba na região de Aveiro – PA*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 143 p.
- Flügel, E. 2004. *Microfacies of carbonate rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Berlin-Heidelberg, New York, Springer Verlag, 976 p. doi:10.1007/978-3-662-08726-8
- Folk, R.L. 1965. Some aspects of recrystallization in ancient limestones. In: L.C. Pray & R.S. Murray (eds.) *Dolomitization and Limestone Diagenesis*, **13**, SEPM, p. 13–48. doi:10.2110/pec.65.07.0014
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Hemphill Publishing Co., 170 p.
- Friedman, G.M. 1959. Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, **29**:87–97. doi:10.1306/74d70894-2b21-11d7-8648000102c1865d
- Friedman, G.M. 1965. Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, **35**:643–655. doi:10.1306/74d7131b-2b21-11d7-8648000102c1865d
- Harrington, H.J. 1962. Paleogeographic development of South America. *AAPG Bulletin*, **46**:1773–1814. doi:10.1306/BC7438F1-16BE-11D7-8645000102C1865D
- Irwin, M.L. 1965. General theory of epeiric clear water sedimentation. *AAPG Bulletin*, **49**:445–459. doi:10.1306/a6633632-16c0-11d7-8645000102c1865d
- Katzer, F. 1933. Geologia do estado do Pará (Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de História Natural e Etnografia*, Belém, **9**:3–269. Traduzido do original: Katzer, F. 1903. *Grundzüge der Geologie des unteren Amazonasgebietes (des states Pará in Brasilien)*. Leipzig, 296 p.
- Lane, N.G. 1964. Inadunate crinoids from the Pennsylvanian of Brazil. *Journal of Paleontology*, **38**:362–366.

- Ledéser B.; Hébert R.L.; Grall C.; Genter A.; Dezayes C.; Bartier D. & Gérard A. 2009. Calcimetry as a useful tool for a better knowledge of flow pathways in the Soultz-sous-Forêts Enhanced Geothermal System. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **181**:106–114. doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.01.001
- Lemos, V.B. & Medeiros, R.A. 1996. O Limite Morrowano/Atokano na Bacia do Amazonas, Brasil, com Base em Conodontes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **10**:165–173.
- Lemos, V.B. & Scomazzon, A.K. 2001. Carboniferous biostratigraphy of the Amazonas Basin, Brazil based on conodonts. In: J.H.G. Melo & G.S.T. Terra (eds.) *Correlação de seqüências paleozóicas sul-americanas*, Ciência Técnica Petróleo, Seção: Exploração de Petróleo, **20**:131–138.
- Lemos, V.B. & Silva, O.A. 1996. Ciclos sedimentares e ocorrências de conodontes e fusulinídeos na Bacia do Acre – Plataforma carbonática da Formação Cruzeiro-Eirunepê, Permiano Inferior. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, 1996. *Anais*, Belém, SBG, p. 188–191.
- Lima, H.P. 2010. *A sucessão siliciclástica carbonática Neocarbonífera da Bacia do Amazonas, regiões de Monte Alegre e Itaituba (PA)*. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 149 p.
- Logan, B.W. & Seminiuk, V. 1976. *Dynamic metamorphism: process and products in Devonian carbonate rocks, Canning Basin, Western Australia*. Sydney, Special Publication Geological Society of Australia, 6, 138 p.
- Marino, L.M.; Scheffler, S.M. & Fernandes, A.C.S. 2007. As partes dissociadas de crinoides da Formação Itaituba (Pensilvaniano, Bacia do Amazonas), Brasil. In: I.S. Carvalho; R.C.T. Cassab; C. Schwanke; M.A. Carvalho; A.C.S. Fernandes; M.A.C. Rodrigues; M.S.S. Carvalho; M. Arai & M.E.Q. Oliveira (eds.) *Paleontologia: cenários da vida*, Editora Interciência Ltda, 1, p. 121–129.
- Máximo, M.S. 2012. *Estudo paleoambiental dos carbonatos pensilvanianos da borda norte da Bacia do Amazonas – Região do Rio Jatapú*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Dissertação de Mestrado, 119 p.
- Medeiros, R.S.P.; Nogueira, A.C.R.; Silva Junior, J.B.C. & Sial, A.N. 2019. Carbonate-clastic sedimentation in the Parnaíba basin, northern Brazil: record of carboniferous epeiric sea in the western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, **91**:188–202. doi:10.1016/j.jsames.2019.01.018
- Mendes, J.C. 1956a. Orthotetacea e Dalmanellacea do Carbonífero Superior do Rio Tapajós (Série Itaituba). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **5**:11–31.
- Mendes, J.C. 1956b. Spiriferacea carboníferos do rio Tapajós (série Itaituba), Estado do Pará, Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo*, **13**:23–81. doi:10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1956.121795
- Mendes, J.C. 1957. Rynchonellacea, Rostrospiracea e Terebratulacea do Carbonífero do rio Tapajós, Brasil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, **6**:15–34.
- Mendes, J.C. 1959. Chonetacea e Productacea Carboníferos da Amazônia. *Boletim Da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade De São Paulo, Geologia*, **17**:5–84. doi:10.11606/issn.2526-3862.bffcluspgeologia.1959.121845
- Montalvão, R.M.G. & Bezerra, P.E.L. 1980. Geologia e Tectônica da Plataforma (Cráton) Amazônica (parte da Amazônia Legal Brasileira). *Revista Brasileira de Geociências*, **10**:1–27.
- Monteiro, D.B. 2017. *Taxonomia e Paleobiologia de Ophiuroidea, Asteroidea e Crinoidea (Echinodermata) da Formação Pirabas (Mioceno inferior), Estado do Pará*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 135 p.
- Moore, R.C. & Jeffords, R.M. 1968. *Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts of their columns*. Lawrence, The University of Kansas Paleontological Institute, Serial Number 46 - Echinodermata, Article 9, 114 p.
- Moutinho, L.P. 2002. *Estudo da Fauna de Invertebrados em Afloramentos da Região de Tapajós, Formação Itaituba–Pensilvaniano da Bacia do Amazonas*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 155 p.
- Moutinho, L.P. 2006. *Assinaturas tafonômicas dos invertebrados da Formação Itaituba - Aplicação como ferramenta de análise estratigráfica e paleoecológica na seção pensilvaniana aflorante na porção sul da Bacia do Amazonas*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 325 p.
- Moutinho, L.P.; Nascimento, S.; Scomazzon, A.K. & Lemos, V.B. 2016a. Trilobites, scolecodonts and fish remains occurrence and the depositional paleoenvironment of the upper Monte Alegre and lower Itaituba formations, Lower – Middle Pennsylvanian of the Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**:76–94.
- Moutinho, L.P.; Scomazzon, A.K.; Nascimento, S. & Lemos, V.B. 2016b. Taphofacies of Lower-Middle Pennsylvanian marine invertebrates from the Monte Alegre and Itaituba formations, part of the outcropped marine sequence of the Tapajós Group (Southern Amazonas Basin, Brazil) e regional palaeoecological models. *Journal of South American Earth Sciences*, **70**:83–114. doi:10.1016/j.jsames.2016.05.003
- doi:10.1016/j.jsames.2016.06.011
- Nascimento, S.; Scomazzon, A.K.; Moutinho, L.P.; Lemos, V.B. & Matsuda, N.S. 2005. Conodont biostratigraphy of the lower Itaituba Formation (Atokan, Pennsylvanian), Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **8**:193–202.
- Nascimento, S.; Smaniotto, L.P.; Souza, P.A.; Lemos, V.B. & Scomazzon, A.K. 2009. Biostratigraphy (conodonts and palynology) from a selected strata of the Itaituba Formation (Pennsylvanian of the Amazonas Basin) at Itaituba locality, Pará State, Brazil. *Pesquisa em Geociências*, **36**:37–47. doi:10.22456/1807-9806.17873
- Neves, C.A.O. 1990. Prospectos potenciais e áreas prioritárias para exploração na Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **4**:95–103.
- Neves, K.M.M. & Barbosa, V.P. 2019. Caracterização paleoambiental a partir de microfácies carbonáticas da Formação Itaituba (Pensilvaniano Inferior da Bacia do Amazonas), no município de Itaituba (PA). *Pesquisas em Geociências*, **46**:1–20. doi:10.22456/1807-9806.95467
- Neves, M.P. 2009. *Petrografia de carbonatos da Formação Itaituba (Carbonífero Superior), Bacia do Amazonas, região de Monte Alegre, PA*. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Monografia de Conclusão de Curso, 71 p.
- Petri, S. 1952. Fusulinidae do Carbonífero do Rio Tapajós, Estado do Pará. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **1**:30–42.

- Playforf, G. & Dino, R. 2000. Palynostratigraphy of upper Paleozoic strata (Tapajós Group), Amazonas Basin Brazil. Parte one. *Paleontographica Abteilung B*, **255**:1–86. doi:10.1127/palb/255/2000/1
- Ruppert, E.E. & Barnes, R.D. 1996. *Zoologia dos invertebrados*. 6ª Edição. São Paulo, Editora Roca, 1028 p.
- Scheffler, S.M.; Dias-Da-Silva, S.; Júnior, J.M.G.; Fonseca, V.M.M. & Fernandes, A.C.S. 2011. Middle Devonian Crinoids from the Parnaíba Basin (Pimenteiras Formation, Tocantins State, Brazil). *Journal of Paleontology*, **85**:1188–1198. doi:10.1666/10-142.1
- Scheffler, S.M. & Fernandes, A.C.S. 2007. Crinoidea da Formação Ponta Grossa (Devoniano, Bacia do Paraná), Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **65**:83–98.
- Scheffler, S.M.; Fernandes, A.C.S.F. & Fonseca, V.M.M. 2014. Crinoids columnals (Echinodermata) of the Ererê Formation (late Eifelian–early Givetian, Amazon Basin), State of Pará, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **49**:63–72. doi:10.1016/j.jsames.2013.11.001
- Scheffler, S.M.; Fonseca, V.M.M. & Fernandes, A.C.S. 2015. New crinoids from the Maecuru formation (Middle Eifelian; Amazon Basin, State of Pará, Brazil). *Geobios*, **48**:57–69. doi:10.1016/j.geobios.2014.11.002
- Scheffler, S.M.; Francisco, A.P.S. & Bosetti, E.P. 2017. Sobre os Equinodermos Devonianos da Bacia do Paraná: Mudanças Faunísticas e Implicações para a Utilidade Bioestratigráfica. *Anuario do Instituto de Geociências*, **40**:102–116. doi:10.11137/2017\_3\_102\_116
- Scheffler, S.M.; Silva, C.F.D.; Fernandes, A.C.S. & Fonseca, V.M.M.D. 2010. Crinóides da borda leste da bacia do Parnaíba (Formação Cabeças, Devoniano Médio). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, **5**:165–173. doi:10.46357/bcnaturais.v5i2.640
- Scomazzon, A.K. 2004. *Estudo de conodontes em carbonatos marinhos do Grupo Tapajós, Pensilvaniano inferior a médio da Bacia do Amazonas com aplicação de isótopos de Sr e Nd neste intervalo*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 294 p.
- Scomazzon, A.K. & Lemos, V.B. 2005. *Diplognathodus* occurrence in the Itaituba Formation, Amazonas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **8**:203–208.
- Scomazzon, A.K.; Moutinho L.P.; Nascimento, S.; Lemos, V.B. & Matsuda, N.S. 2016. Conodont biostratigraphy and paleoecology of the marine sequence of the Tapajós Group, Early-Middle Pennsylvanian of Amazonas Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **65**:25–42. doi:10.1016/j.jsames.2015.11.004
- Scotese, C.R. & McKerrow, W.S. 1990. Revised World maps and introduction. *Geological Society, London, Memoirs*, **12**:1–21. doi:10.1144/gsl.mem.1990.012.01.01
- Sibley, D.F. & Gregg, J.M. 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Research*, **57**:967–975. doi:10.1306/212f8c8a-2b24-11d7-86480001102c1865d
- Silva, P.A.S. 2014. *Paleoambiente e diagênese da Formação Itaituba, Carbonífero da Bacia do Amazonas, com base em testemunho de sondagem, região de Uruará, Pará*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 91 p.
- Silva, P.A.S. 2019. *O mar epicontinental Itaituba na região central da Bacia do Amazonas: paleoambiente e correlação com os eventos paleoclimáticos e paleoceanográficos do carbonífero*. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Tese de Doutorado, 138 p.
- Silva, P.A.S.; Nogueira, A.C.R.; Soares, J.L.; Bandeira, J.; Scomazzon, A.K.; Nascimento, S.; Moutinho, L.P. & Dias, S.K.R. 2022. Pennsylvanian mixed siliciclastic-carbonate deposits of the Amazonas basin, North of Brazil: The record of an epicontinental sea in Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, **114**:103691. doi:10.1016/j.jsames.2021.103691
- Simões, M.G.; Neves, J.P.; Taboada, A.C.; Pagani, M.A.; Varejão, F.G. & Assine, M.L. 2020. Macroinvertebrates of the Capivari marine bed, late Paleozoic glacial Itararé Group, northeast Paraná Basin, Brazil: Paleoenvironmental and paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, **98**:102433. doi:10.1016/j.jsames.2019.102433
- Sousa, E.S. 2019. *Microfácies e diagênese dos carbonatos da Formação Itaituba, borda norte da Bacia do Amazonas, município de Uruará (AM)*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Dissertação de Mestrado, 88 p.
- Strimple, H.L. 1960. A new cromyocrinid from Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **9**:75–77.
- Távora, V.A.; Monteiro, D.B. & Reis, S.B. 2015. Sistemática e Paleobiologia de Microfósseis de Equinodermas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **38**:116–127. doi:10.11137/2015\_1\_116\_127
- Torres-Martínez, M.A.; Villanueva-Olea, R. & Sour-Tovar, F. 2020. Columnar ossicles of Permian crinoids, including two new genera, from the Gruperá Formation (Asselian-Sakmarian) of Chiapas, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **72**:0005. doi:10.18268/bsgm2020v72n2a280819
- Tucker, M.E. & Wright, V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 482 p.
- Vasquez, L.V.; Rosa-Costa, L.R.; Silva, C.G.; Ricci, P.F.; Barbosa, J.O.; Klein, E.L. & Oliveira, J.G. 2008. *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas–SIG: Texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala, 1:1.000.000*. Belém, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém.
- Villanueva-Olea, R.; Castillo-Espinoza, K.M.; Sour-Tovar, F.; Quiroz-Barroso, S.A. & Buitrón-Sánchez, B.E. 2011. Placas columnares de crinoides del Carbonífero de la Región de Santiago Ixtaltepec, Municipio de Nochixtlán, Oaxaca; consideraciones estratigráficas y paleobiogeográficas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **63**:429–443.
- Villanueva-Olea, R.; Quiroz-Barroso, S.A.; Quiroz-Barragán, J.; Torres-Martínez, M.A. & Sour-Tovar, F. 2021. Placas columnares de crinoideos de la Formación Las Delicias, Pérmico inferior y medio de Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **73**:A040820. doi:10.18268/BSGM2021v73n1a040820
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Berlin-Heidelberg, New York, Springer Verlag, 471 p.