

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

***Sistemática e tafonomia de microfósseis vasiformes
neoproterozoicos do Brasil e seu significado
paleoecológico e filogenético***

Luana Pereira Costa de Moraes Soares

São Paulo

2017

Luana Pereira Costa de Moraes Soares

***Sistemática e tafonomia de microfósseis vasiformes
neoproterozoicos do Brasil e seu significado
paleoecológico e filogenético***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de doutora em Ciências
Área de concentração: Geotectônica

Orientador: Prof. Dr. Thomas Rich Fairchild

Co-Orientador: Prof. Dr. Daniel José Galafasse Lahr

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Soares, Luana Pereira Costa de Moraes
Sistemática e tafonomia de microfósseis
vasiformes neoproterozoicos do Brasil e seu
significado paleoecológico e filogenético. - São
Paulo, 2017.

159 p. : il.

Tese (Doutorado) : IGc/USP

Orient.: Fairchild, Thomas Rich

Co-orient: Lahr, Daniel José Galafasse

1. Microfósseis em forma de vaso 2.
Neoproterozoico 3. Faixa Paraguai I. Título

“Quem procura...acha!”

SUMARIO

I. RESUMO	2
II. INTRODUÇÃO.....	3
III. CONCLUSÃO.....	8
IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12

I. Resumo

Esta pesquisa investigou microfósseis neoproterozoicos em forma de vaso (“vase-shaped microfossils - VSMs”) da Formação Urucum (Grupo Jacadigo) e Formação Bocaina (Grupo Corumbá), ambas inseridas na Faixa Paraguai Sul, Brasil. Estes microfósseis foram comparados a outras ocorrências neoproterozoicas no mundo. O objetivo foi contribuir com o conhecimento de aspectos paleobiológicos, evolutivos e bioestratigráficos relacionados ao aparecimento de eucariontes unicelulares tecados em ecossistemas anteriores ao surgimento dos metazoários.

Os VSMs podem ser atribuídos a quitinozoários, tintinídeos e foraminíferos, porém, características diagnósticas importantes apontam o grupo Amoebozoa como afinidade biológica mais próxima.

A variedade morfológica e composicional observada em VSMs neoproterozoicos, inclusive nos exemplares brasileiros, documenta a mais antiga diversificação da vida unicelular eucariótica, presumivelmente heterotrófica, preservada no registro geológico. As diferentes fácies sedimentares contendo VSMs fornecem informações valiosas sobre fatores ambientais que podem ter sido importantes na diversificação bem como no seu possível desaparecimento entre o Neoproterozóico e o Mesozóico. Além disso, a ampla distribuição e variedade desses microfósseis sugerem uma possível aplicação bioestratigráfica.

Microscopia petrográfica (MP) e Eletrônica de Varredura (MEV), Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios X (EDS), Microscopia Confocal (MC), Espectroscopia Raman (ER), Catodoluminescência (CL) além de técnicas geoquímicas e geocronológicas foram aplicadas para caracterizar a composição e morfologia dos microfósseis, bem como para a rocha encaixante, visando inferir a natureza e paleoecologia dos organismos responsáveis pela produção das tecas e o ambiente em que viveram, se diversificaram e desapareceram.

Palavras-chave: Microfósseis em forma de vaso; Neoproterozoico; Faixa Paraguai.

II. INTRODUÇÃO

2.1. Apresentação do problema

A paleobiologia de organismos unicelulares eucarióticos proterozoicos é assunto de diversas linhas de pesquisa que procuram entender a evolução e diversificação de ecossistemas anteriores ao surgimento de metazoários. Neste contexto, microfósseis em forma de vaso (*vase-shaped microfossils* - VSMs) encontrados em rochas com até 746 Ma são interpretados como tecas de micro-organismos eucarióticos ameboides. Estes microfósseis atualmente são interpretados com as mais antigas evidências de predação entre eucariontes unicelulares. Portanto, seu estudo se aplica tanto a aspectos importantes da evolução e da ecologia de ecossistemas microbianos como à bioestratigrafia e a interpretação paleoambiental do Neoproterozoico.

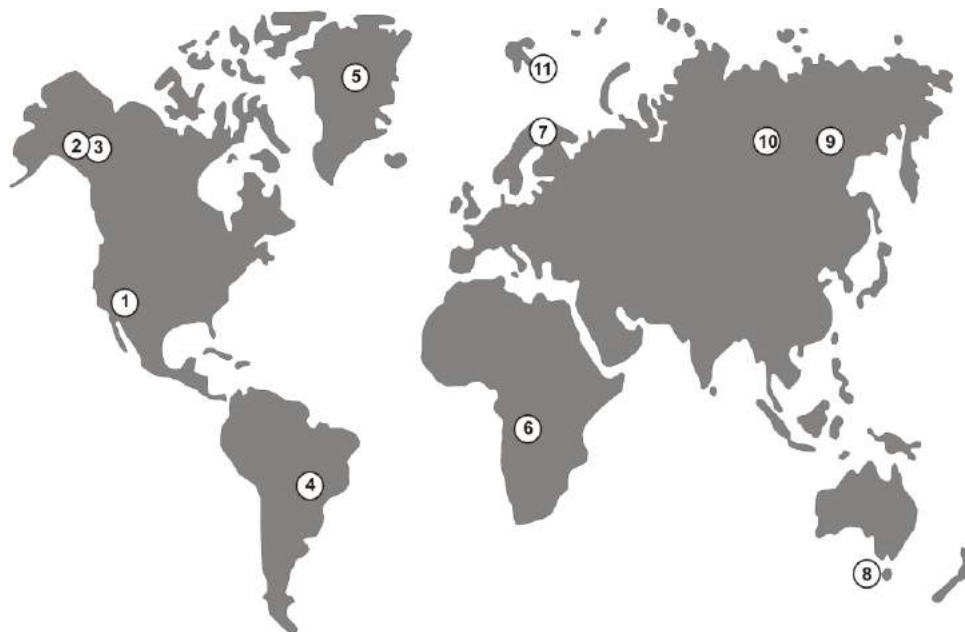
Este trabalho investigou questões paleobiológicas, paleoambientais, tafonômicas e bioestratigráficas de VSMs do Neoproterozoico do Brasil, em rochas disponíveis em coleções do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGC/USP) e em material novo coletado na porção sul da Faixa Paraguai, sudoeste do Brasil, nos municípios de Corumbá e Bonito, no estado do Mato Grosso do Sul. A análise sistemática dos VSMs do Brasil e a comparação deles com outros registros no mundo visaram refinar (i) a compreensão taxonômica do grupo bem como o paleoambiente em que viveram; (ii) as interpretações evolutivas de micro-organismos eucarióticos unicelulares e (iii) o uso bioestratigráfico destes fósseis no Neoproterozoico.

2.2. Justificativa e objetivos

Durante o Neoproterozoico, a vida se diversificou e se tornou mais complexa tanto morfológica como ecologicamente, culminando, inclusive, no surgimento da predação e aparecimento de organismos macroscópicos (Knoll 1992; Porter 2011). Neste contexto, o surgimento de tecas atribuídas a micro-organismos eucarióticos unicelulares (VSMs) há pelo menos 746 Ma (Grupo Chuar, Arizona), representa um uma inovação com importantes implicações evolutivas. O surgimento da capacidade de sintetizar uma teca resultou de pressões seletivas pretéritas e teve consequências ecológicas igualmente significativas. A aquisição de tecas fez parte do escalonamento de estratégias de predação entre micro-organismos (Porter *et al.* 2003; Bosak *et al.* 2011; 2012; Porter 2011),

escalonamento este que posteriormente exerceria papel decisivo no aparecimento de carapaças e conchas em metazoários macroscópicos ao fim do Neoproterozoico (Knoll 2003; Dzik 2007; Wood 2011).

VSMs têm ampla distribuição mundial durante o Neoproterozoico (Fig.1). Além disso, apresentam ampla diversidade morfológica: corpos ovoides, discoides e esferoides de até 180 micrômetros de comprimento, com paredes resistentes orgânicas ou aglutinadas, com ou sem escamas, e uma abertura única ligada ou não a um “pescoço” (Bloesser 1977; Porter & Knoll 2000; Morais et al. 2017; Cohen et al. 2017).



- | | |
|---|---|
| 1. USA- Chuar Gr. (739 ± 6.1-729 ± 0.9 Ma) | 7. Sweden- Visingsö Gr. (886± 9 - 730 Ma) |
| 2. USA- Tindir Gr. (777-755 ± 18 Ma) | 8. Tasmania- Togari Gr. (780-716 Ma) |
| 3. Canada- Callison Lake Fm. (753 - 740 Ma) | 9. Mongolia- Tsagaan Oloom Fm. (773-635 Ma) |
| 4. Brazil- Urucum Fm. (889-587 Ma) | 10. Kazakhstan- Chichkan Fm. (800-750 Ma) |
| 5. Greenland- Eleonore Bay Gr. (780-716 Ma) | 11. Norway/Svalbard- Ryssö Fm. (800-700 Ma) |
| 6. Namibia- Rasthof Fm. (746-635 Ma) | |

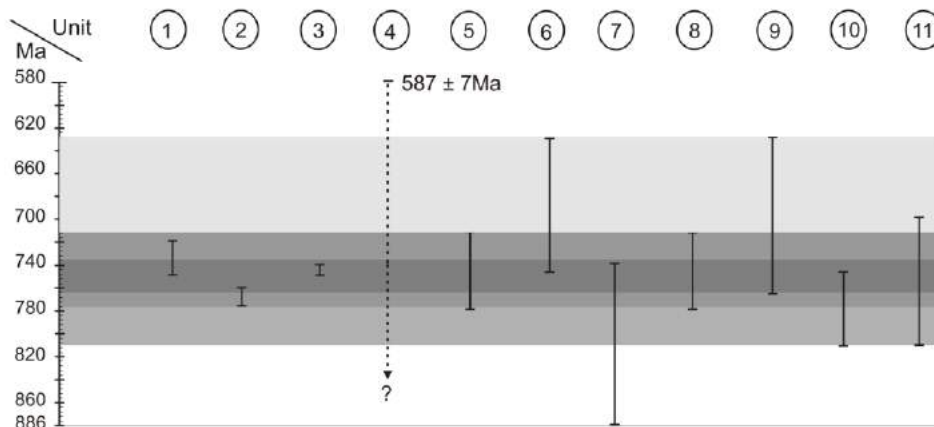


Figura 1: Distribuição geográfica e temporal das unidades Neoproterozoicas que contêm VSMs. Grupo Backlundtoppen, Svalbard, Noruega (Knoll and Calder, 1983); Formação Callison Lake, Canada (Strauss et al. 2014); Formação Chichkan, Cazaquistão (Sergeev & Schopf 2010); Grupo Chuar, Arizona, EUA (Porter et al. 2003); Grupo Eleonore Bay, Groenlândia (Vidal, 1979; Green et al. 1988); Formação Rasthof, Namibia (Bosak et al. 2011); Grupo Togari, Tasmânia (Saito et al., 1988; Turner et al., 1998); Formação Tsagaan Oloom, Mongólia (Bosak et al. 2011); Grupo Tindir, Alaska, EUA (Allison and Awramik, 1989; Macdonald et al., 2010); Formação Urucum, Brasil (Morais et al., 2017); e Grupo Visingsö, Suíça (Knoll and Vidal, 1980). As faixas em escalas de cinza mais escuro indicam a faixa de tempo com maior ocorrência de VSMs enquanto as mais claras indicam ocorrências mais pontuais.

VSMs fazem parte de um grupo biologicamente diverso (Fig. 2), incluídos em pelo menos quatro grupos distintos: tintinídeos, quitinozoários, foraminíferos e tecamebas (Bloeser et al. 1977; Schopf 1992; Porter et al. 2003; Bosak et al. 2012). Porém, atualmente admite-se que os mais antigos micro-organismos responsáveis pela síntese das tecas pertençam ao grupo dos arcellinídeos, dentro do grande grupo Amoebozoa.

É importante notar aqui que a hierarquia filogenética dos possíveis análogos modernos não segue a classificação Lineana tradicional, mas adota designações que melhor refletem distâncias evolutivas entre grupos (Adl *et al.* 2005, 2012). Ainda assim, a sistemática Lineana ainda tem aplicação importante na caracterização dos VSMs como objetos paleontológicos, sem conotações filogenéticas, para facilitar comunicação científica.

Os euglídeos, pertencentes ao grupo Cercozoa (Fig. 2), também produzem tecas e têm hábitos semelhantes aos dos arcellinídeos (Porter & Knoll 2000; Porter *et al.* 2003; Bosak *et al.* 2011; 2012), mas são filogeneticamente muito distantes (Lara et al. 2007 e 2008). Contudo, a morfologia e composição dos VSMs descritos no Neoproterozoico são mais semelhantes aos arcellinídeos (Porter & Knoll 2000; Porter *et al.* 2003; Morais et al. 2017).

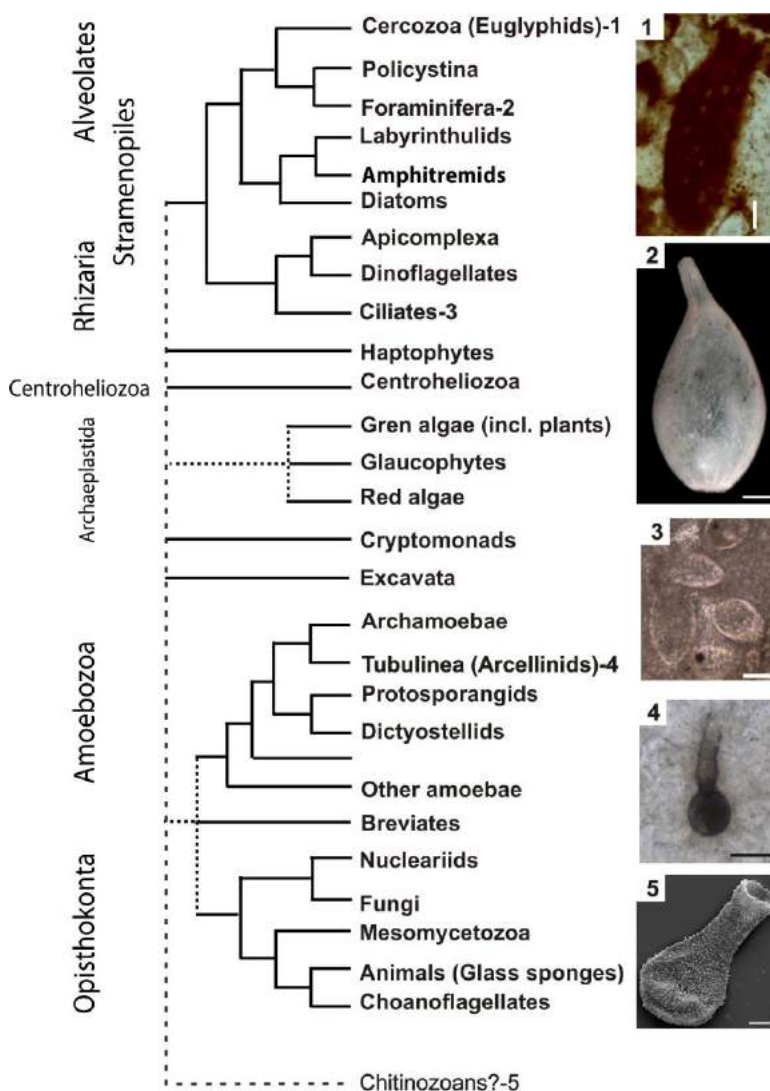


Figura 2. Árvore filogenética simplificada de protistas, com destaque de grupos de tecamebas com registro fóssil considerável a direita. (1) Cercozoa (possível euglífideo encontrado próximo ao topo da Formação Bocaina, Ediacarana, Grupo Corumbá, Serra da Bodoquena, Brasil) (GP/5E 2544); (2) foraminífero moderno (<https://depts.washington.edu/forams/order-lagenida/genus-lagena/>); (3) tintinídeos do Jurássico, México (GP/5E-4280), e (4) VSMs interpretado como arcelinídeo (*Tubulinea*) (GP/5T-2529 F); (5) quitinozoário, um grupo extinto com afinidade biológica desconhecida (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Whole_chitinozoan_cropped.jpg). Escalas = 25 μm (1), 50 μm (2–4) e 10 μm (5).

O registro de VSMs em rochas neoproterozoicas permite inferências não apenas sobre a evolução do grupo, mas também sobre a paleoecologia (inclusive aspectos paleoambientais) dos micro-organismos tecados da época (Green *et al.* 1988; Kaufman *et al.* 1992; Zhang *et al.* 1998; Shimidt *et al.* 2004; Li *et al.* 2008; Knoll & Vidal 2010). Por

exemplo, utilizando-se o conceito de atualismo, as semelhanças entre os fósseis e tecas de diferentes grupos de arcellinídeos atuais podem servir de base para formular hipóteses ecológicas (nicho ocupado, hábito, etc.) para os fósseis, levando em consideração, evidentemente, a distância temporal dos fósseis e as limitações do registro.

A diversidade bem como o potencial de VSMs na compreensão da paleobiologia e biologia evolutiva dos primeiros organismos unicelulares heterotróficos no Neoproterozoico justificam essa pesquisa e destacam alguns objetivos.

As avaliações paleontológicas tratam da descrição morfológica e identificação taxonômica dos microfósseis. O registro destes organismos em rochas depositadas antes e depois dos intensos eventos glaciais do Neoproterozoico (735-635 Ma) eleva o potencial significado destas análises, pois estes eventos provavelmente impuseram importantes pressões seletivas sobre as comunidades de micro-organismos, o que certamente influenciou os processos de sobrevivência, diversificação e extinção. No âmbito da biologia evolutiva, o projeto tem como objetivo testar duas hipóteses: a hipótese nula, que pressupõe que as assembleias de VSMs pertencem à mesma linhagem monofilética; e uma hipótese alternativa, que pressupõe que os VSMs encontrados em diversas localidades representam biotas pertencentes a linhagens diferentes, de modo que as semelhanças e diferenças entre os fósseis teriam resultado de convergência e outros processos evolutivos diversos.

Com base nas hipóteses acima, alguns objetivos específicos foram levantados:

- (A) Montagem de acervo de amostras e lâminas petrográficas com os diferentes VSMs que ocorrem na Faixa Paraguai Sul;
- (B) Inserção dos VSMs brasileiros no cenário mundial, através da diagnose e descrição formal em artigos científicos;
- (C) Comparação da taxonomia defendida nesta pesquisa com outras ocorrências conhecidas mundialmente;
- (D) Investigação da paleobiologia dos grupos observados, visando compreender os microfósseis dos pontos de vista tafonômico, diversidade intraespecífica, ciclo de vida, modo de reprodução, diversidade morfológica interespecífica e paleoambiente sugerido através de dados sedimentológicos e geoquímicos.

- (E) Estabelecimento do valor dos VSMs (i) para complementar interpretações de processos evolutivos diversos nos principais grupos de Arcellinida, inclusive nos eventos de diversificação, e (ii) do seu registro como documento histórico de eventos climáticos, paleogeográficos e geoquímicos globais como evidenciados no registro geológico.
- (F) Identificação e atribuição biológica de outros microfósseis pertencentes a mesma paleobiota onde os VSMs são descritos.

III. Conclusões

Dada a abrangência da presente tese de doutorado, as conclusões específicas são definidas dentro de subcapítulos, traçando um paralelo entre os conhecimentos que precedem esta pesquisa, bem como os novos apresentados neste documento.

3.1. Taxonomia e bioestratigrafia de VSMs

O que se sabia? - A história evolutiva dos eucariontes é mundialmente registrada através de relógios moleculares, bem como pelos fósseis. Durante o Fanerozóico, que abrange os últimos 542 milhões de anos, esta história é bem documentada por restos ou vestígios de animais e plantas. Porém, a origem dos eucariontes é mais profunda e precede a formação de indivíduos multicelulares em centenas de milhares de anos. Para esclarecer a origem deste grupo, depósitos sedimentares neoproterozoicos são investigados quanto ao conteúdo paleontológico, caráter geoquímico e geocronológico. A comparação destes dados distribuídos mundialmente permite um esclarecimento da história evolutiva dos eucariontes, que indica que VSMs representam os primeiros registros não-ambíguos de organismos predadores.

O que se sabe agora? - Neste contexto, esta tese de doutoramento apresentou a diversidade de microfósseis em forma de vaso – VSMs, na Formação Urucum (Grupo Jacadigo), bem como destacou a notoriedade e singularidade dos microfósseis da

Formação Bocaina (Grupo Corumbá), ambos inseridos em depósitos neoproterozoicos da Faixa Paraguai Sul, Brasil.

A definição taxonômica de VSMs brasileiros permitiu a comparação com outros distribuídos mundialmente. Além disso, os gêneros *Limeta* e *Palaeoamphora* descritos inicialmente apenas no Brasil, foram reconhecidos em outras localidades como Canadá, Estados Unidos e Svalbard, uma ilha que pertence a Noruega. Esta descoberta ampliou o cenário para interpretações paleoevolutivas de um grupo que tem potencial para se tornar uma ferramenta bioestratigráfica importante para o Neoproterozoico. As implicações morfológicas dentro de um contexto paleoecológico ainda são questões sob investigação.

3.2. Tafonomia dos VSMs

O que se sabia? - Paredes rígidas em VSMs suportaram processos tafonômicos e são mundialmente reconhecidas por apresentarem caracteres diagnósticos essenciais para a atribuição biológica do grupo. Porém, a composição da parede sempre foi perdida (e.g. moldes) ou substituída por calcificação, fosfatização, silicificação ou piritização.

O que se sabe agora? - A preservação de VSMs das formações Urucum e Bocaina é qualitativamente superior no quesito composição quando comparada a todos os outros depósitos descritos no mundo, embora não apresente a mesma diversidade. Apesar disso, até agora apenas dois indivíduos foram seguramente atribuídos a VSMs na Formação Bocaina e por este motivo, a maior parte da argumentação sobre a tafonomia está baseada no que foi observado na Formação Urucum.

Os clastos microfossilíferos da Formação Urucum são predominantemente dolomíticos, com pequenas quantidades de quartzo detrítico e autigênico. Embora a matriz dolomítica dos clastos seja altamente recristalizada, VSMs estão inseridos dentro de anéis fibrosos, que provavelmente funcionaram como uma barreira de defesa contra a recristalização da rocha. A origem destes anéis foi interpretada como vestígios de oóides

que teriam se formado a partir de VSMs como centros de nucleação. Esta barreira seria responsável por preservar os fósseis tridimensional e composicionalmente.

3.3. Biomineralização em VSMs

O que se sabia? - A capacidade de biomineralizar foi uma inovação evolutiva marcante no grupo dos Eucariontes que perdurou em grupos filogeneticamente distintos e distantes. Muito se debateu sobre a origem da biomineralização e atualmente acredita-se que a este advento tem uma origem profunda na filogenia dos eucariontes. Porém, a afinidade biológica de organismos neoproterozoicos com essa capacidade ainda é desconhecida. Neste contexto, VSMs sempre foram interpretados como possíveis biomineralizadores, porém, a ausência de espécimes com a parede preservada sempre impossibilitou esta conclusão.

O que se sabe agora? - Na Formação Urucum, a excelente preservação de uma parede organo-silicosa em matriz dolomítica, com pouca influência de quartzo detrítico ou autigênico, permite argumentar veementemente que este grupo pode ser o primeiro com afinidade biológica conhecida a apresentar uma teca biomineralizada.

Além da composição organo-silicosa evidenciada por petrografia, imagens derivadas de espectroscopia confocal acoplada ao Raman demonstraram uma relação intrínseca entre o querogênio e algumas áreas delimitadas por quartzo, formando buracos semelhantes a escamas (**ver subcapítulo 4.1.1. Figura 5.7-8**). Porém, esta técnica deverá ser utilizada em diferentes espécimes para a conclusão definitiva desta hipótese.

3.4. Paleobiologia da Formação Bocaina (Grupo Corumbá)

O que se sabia? - A Formação Bocaina já foi alvo de estudos micropaleontológicos, onde se descreveram filamentos e estruturas circulares atribuídas a colônias de cianobactérias formadoras de estromatólitos, típicos desta formação. Além disso, tecas vasiformes com câmaras internas, cobertas pelo mineral titanita foram atribuídas ao foraminífero *Titanotheca*, descrita por Gaucher and Sprechmann (1999). Todos os fósseis descritos

estão associados a rochas fosfáticas, mundialmente reconhecidas por fornecerem fósseis bem preservados.

O que se sabe agora? – Pontualmente, a Formação Bocaina apresentou dois VSMs, mas nenhum apresentou características diagnósticas de *Titanotheca*, sendo atribuídos aos grupos Amoebozoa (Arcelinida) ou Rhizaria (Euglífídeos). Enquanto um pode ser atribuído ao gênero *Bonniea* (Amoebozoa), o outro chama a atenção por apresentar uma abertura denteada e buracos semelhantes a escamas. Microfósseis assim já foram interpretados como possíveis Euglífídeos e identificados como *Melicerion poikilon* porém, a abertura não foi preservada em nenhum deles, o que não permitiu sua inclusão dentro de Rhizaria. No caso Urucum, o espécime está completo e foi atribuído ao gênero *Melicerion*, um possível euglífídeo. A dificuldade em se estabelecer esta relação se deve ao fato de que Euglífídeos, embora muito parecidos com indivíduos pertencentes ao grupo Amoebozoa, serem mais recentes (Jurássico) e filogeneticamente muito distantes. A descoberta de novos indivíduos poderá confirmar essa hipótese.

Além de VSMs, estruturas em forma de folha – *sheet-like* – chamaram a atenção por apresentarem possível afinidade biológica com animais. Eles também são encontrados em uma única lâmina petrográficas e estão associados a rochas fosfáticas. A composição organo-fosfática, bem como as terminações convolutas destacam a importância do reconhecimento destes fósseis no contexto Neoproterozoico, onde os animais somente são reconhecidos na Formação Tamengo, sobrejacente a Formação Bocaina. Porém, neste caso também é necessário encontrar novos espécimes e testá-los com técnicas avançadas que fornecem imagens tridimensionais.

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADL, S. M.; SIMPSON, A. G.; FARMER, M. A.; ANDERSEN, R. A.; ANDERSON, O. R.; BARTA, J. R.; BOWSER, S.S.; BRUGEROLLE, G.; FENSOME, R.A.; FREDERIOQ, S.; JAMES, T. Y.; KARPOV, S.; KUGRENS, P.; KRUG, J.; LANE, C.E.; LEWIS, L.A.; LODGE, J.; LYNN, D.H.; MANN, D.G.; MCCOURT, R.M.; MENDOZA, L.; MOESTRUP, O.; MOZLEY-STANDRIDGE, S.E.; NEROD, T.A.; SHEARER, C.A.; SMIRNOV, A.V.; SPIEGEL, F.W. and TAYLOR, M.F.J.R. 2005. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. **52**: 399-451.

ADL, S.M.; SIMPSON, A.G.B.; LANE, C.E.; LUKES, J.; BASS, D.; BOWSER, S.S.; BROWN, M.W.; BURKI, F.; DUNTHORN, M.; HAMPL, V.; HEISS, A.; HOPPENRA, M.; LARA, E.; GALL, L.; LYNN, D.H.; MCMANUS, H.; MITCHELL, E.A.D.; MOZLEY-STANRIDGE, S.E.; PARFREY, L.W.; PAWLOWSKI, J.; RUECKERT, S.; SHADWICK, L.; SCHOCH, C.L.; SMIRNOV, A.; SPIEGEL, F.W. 2012. The Revised Classification of Eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. **59**: 429-493.

ALLISON, C.W.; AWRAMIK, S.M. 1989. Organic-walled microfossils from earliest Cambrian or latest Proterozoic Tindir Group rocks, northwest Canada. *Precambrian Research*, v. **43**:253–224.

ALMEIDA, F.F.M. 1945. Geologia do Sudoeste Mato-Grossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM*, v. **116**: 118p.

ALMEIDA, F.F.M. 1985. Alguns problemas das relações geológicas entre o Cráton Amazônico e as faixas de dobramento marginais a leste. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 2, Goiânia. Ata Goiânia: *Sociedade Brasileira de Geologia.*, v. **1**:3-14.

ALVARENGA, C.; SANTOS, R.; DANTAS, E. 2004. CO-Sr isotopic stratigraphy of cap carbonates overlying Marinoan-age glacial diamictites in the Paraguay Belt, Brazil. *Precambrian Research*, **131**(1-2): 1-21.

- AYALA, F.J.; RZHETSKY, A.; AYALA, F.J. 1998. Origin of the metazoan phyla: molecular clocks confirm paleontological estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. **95**: 606-611.
- BABINSKI, M.; BOGGIANI, P.C.; TRINDADE, R.I.F.; FANNING, C.M. 2013. Detrital zircon ages and geochronological constraints on the Neoproterozoic Puga diamictites and associated BIFs in the southern Paraguay Belt, Brazil. *Gondwana Research*, v. **23**: 988–997.
- BAILEY, J.V.; JOYE, S.B.; KALANETRA, K.M.; FLOOD, B.E.; CORSETTI, F.A. 2007. Evidence of giant sulphur bacteria in Neoproterozoic phosphorites. *Nature*, v. **445**: 198-201.
- BEGON, M.; HARPER, J. L; TOWNSEND, C. R. 1990. Ecology: Individuals, populations and communities. 2^o Edition. Boston, USA: *Blackwell Scientific*, 1068 p.
- BECKER-KERBER, B.; PACHECO, M.L.A.F.; RUDNITZKI, I.D.; GALANTE, D.; RODRIGUES, F.; LEME, J.M. 2017. Ecological interactions in Cloudina from the Ediacaran of Brazil: implications for the rise of animal biomineralization. *Scientific Reports*, v. **7**: 5482.
- BENGTSON, S. 1994. The advent of animal skeletons. In: BENGTSON, S. (ed.). The Early life on Earth. New York, USA: *Columbia University Press*, 656 p.
- BERNEY, C.; PAWLOWSKI, J. 2006. A molecular time-scale for eukaryote evolution recalibrated with the continuous microfossil record. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. **273**: 1867-1872.
- BLACK, L.P.; KAMO, S.L.; ALLEN, C.A.M.; ALEINIKOFF, J.N.; DAVIS, D.W.; KORSCH, R.J.; FOUODOULIS, C. 2003. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U–Pb geochronology. *Chemical Geology*, v. **200**: 155-170.
- BLOESSER, B.; SCHOPF, J.W.; HORODYSKI, R.J.; BREED, W.J. 1977. Chitinozoans from the Late Precambrian Chuar Group of the Grand Canyon, Arizona. *Science*, **195**: 676-679.
- BLOESER, B. 1985. Melanocyrrillium, a new genus of structurally complex late Proterozoic microfossils from the Kwagunt Formation (Chuar Group), Grand Canyon, Arizona. *Journal of Paleontology*, v. **59**: 741-765.

- BOGGIANI, P.C. 1998. Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) - Mato Grosso do Sul. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências, *Universidade de São Paulo*, 181 p.
- BOGGIANI, P.C. 2004. Faixa Paraguai. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo, p.113-121.
- BOGGIANI, P.C.; COIMBRA, A.M. 2002. Morraria do Puga, MS - Típica associação neoproterozóica de glaciação e sedimentação carbonática. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M.L.C. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), v. **01**: 195-201.
- BOSAK, T.; LAHR, D.J.G.; PRUSS, S.B.; MACDONALD, F.A.; DALTON, L.; MATYS, E. 2011. Agglutinated tests in post- Sturtian cap carbonates of Namibia and Mongolia. *Earth and Planetary Science Letters*, v. **308**: 29-40.
- BOSAK, T.; MACDONALDO, F.A.; LAHR, D.J.G.; MATYS, E. 2012. Putative Cryogenian ciliates from Mongolia. *Geology*, v. **39**: 1123-1126.
- BRASIER, M.D. 1979. Early fossil record. *Chemistry in Britain*, v. **15**: 588-592.
- BRASIER, M. 1986. Why do lower plants and animals biomineralize? *Paleobiology*, v. **12**: 241-250.
- BROCKS, J.J.; LOGAN, G.A.; BUICK, R.; SUMMONS, R.E. 1999. Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes. *Science*, v. **285**: 1033-1036.
- BOBROV, A.; MAZEI, Y. 2004. Morphological variability of testate amoebae (Rhizopoda: Testacealobosea and Testaceafilosea) in natural populations. *Acta Protozoologica*, v. **43**: 133-146.
- CANFIELD, D.E.; POULTON, S.W.; NARBONNE, G.M. 2007. Late-Neoproterozoic deep-ocean oxygenation and the rise of animal life. *Science*, v. **315**: 92-95.

- COHEN, P.A.; KNOLL, A.H. 2012. Scale Microfossils from the Mid-Neoproterozoic Fifteenmile Group, Yukon Territory. *Journal of Paleontology*, v. **86**: 775-800.
- COHEN, P.A.; STRAUSS, J.V.; ROONEY, A.D.; SHARMA, M.; TOSCA, N. 2017. Controlled hydroxyapatite biomineralization in an ~810 million-year-old unicellular eukaryote. *Science Advances*, v. 3: e1700095.
- COHEN, P.A.; IRVINE, S.W.; STRAUSS, J.V. 2017. Vase-shaped microfossils from the Tonian Callison Lake Formation of Yukon, Canada: taxonomy, taphonomy and stratigraphic palaeobiology. *Palaeontology*, v. **60**: 683-701.
- CORSETTI, F.A.; AWRAMICK, S.M.; PIERCE, D. 2003. A complex microbiota from snowball Earth times: Microfossils from the Neoproterozoic Kingston Peak Formation, Death Valley, USA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, v. **100**: 4399-4404.
- DAVIES, P.J. ; MARTIN, K. 1976. Radial Aragonite ooids, Lizard Island, Great Barrier Reef, Queensland, Australia. *Geology*. V. **4**: 120-122.
- DAVIES, P.J.; BUBELA, B.; FERGUSON, J. 1978. The formation of ooids. *Sedimentology*, v. **25**: 703-730.
- DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, G. 2007. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras. Porto Alegre, Brasil: *Editora da PUCRS*, 60p.
- DOUZERY, E.J.; SNELL, E.A.; BAPTESTE, E.; DELSUC, F.; PHILIPPE, H. 2004. The timing of eukaryotic evolution: does a relaxed molecular clock reconcile proteins and fossils? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, v. **101**: 15386-15391.
- DOWNIE, C.; EVITT, W.R.; SARJEANT, W.A.S. 1963. Dinoflagellates, hystrichospheres, and the classification of the acritarchs. Stanford, USA: *School of Earth Sciences, Stanford University*, 16 p.
- DUNHAM R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. HAM (Ed.) Classification of Carbonate rocks. *Am. Ass. Petrol. Geol.*, p.108-121 (Memoir1).

- DZIK, J. 2007. The Verdun Syndrome: Simultaneous Origin of Protective Armour and Infaunal Shelters at the Precambrian – Cambrian transition. *Geological Society of London, Special Publication*, v. **286**: 405-414.
- EARDLEY, A.J. 1938. Sediments of Great Salt Lake Utah. *Bull. AAPG*, v. **22**: 1305-1411
- FAIRCHILD, T.R.; BARBOUR, A.P.; HARALYI, N.L.E. 1978. Microfossils in the “Eopaleozoic” Jacadigo Group at Urucum, Mato Grosso, Southwest Brazil. *Boletim do Instituto de Geociências - USP*, v. **9**: 74-79.
- FERGUSON, J.; BUBELA, B.; DAVIES, P.J. 1978. Synthesis and possible mechanism of formation of radial carbonate ooids. *Chemical Geology*, v. **22**: 285-308.
- FONTANETA, G.T. 2012. Dolomitização e Fosfogênese na Formação Bocaina, Grupo Corumbá (Ediacarana). *Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo*, 139p.
- FLANNERY, M.B.; STOTT, A.W.; BRIGGS, D.E.; EVERSLED, R.P. 2001. Chitin in the fossil record: identification and quantification of D-glucosamine. *Organic Geochemistry*, v. **32**: 745-754.
- FOLK, R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestones. *AAPG Bulletin*, v. **43**: 1-38.
- FOLK, R.L. 1987. Detection of organic matter in thin sections of carbonate rocks using a white card. *Sedimentary geology*, v. **54**: 193-200.
- FREITAS, B.T. 2010. Tectônica e sedimentação do Grupo Jacadigo. *Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*, 144 p.
- FREITAS, B.T.; WARREN, L.V; BOGGIANI, P.C.; ALMEIDA, R.P.; PIACENTINI, T. 2011. Tectono-sedimentary evolution of the Neoproterozoic BIF-bearing Jacadigo Group, SW-Brazil. *Sedimentary Geology*, v. **238**: 48-70.
- FRIEDMAN, G.M.; AMIEL, A.J.; BRAUN, M.; MILLER, D.S. 1973. Generation of carbonate particles and laminites in algal mats – Exemple from sea-marginal hypersaline Pool, Gulf Aqaba, Red Sea. *Bull. AAPG*, v. **57**: 541-557

- GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. 1999. Upper Vendian skeletal fauna of the Arroyo del Soldado Group, Uruguay. *Beringeria*, v. **23**: 55-91.
- GAUCHER, C.; BOGGIANI, P.C.; SPRECHMANN, P.; SIAL, A.; FAIRCHILD, T.R. 2003. Integrated correlation of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado and Corumbá Groups (Uruguay and Brazil): palaeogeographic, palaeoclimatic and palaeobiologic implications. *Precambrian Research*, v. **120**: 241-278.
- GREEN, J.W.; KNOLL, A.H.; SWETT, K. 1988. Microfossils from oolites and pisolites of the Upper Proterozoic Eleonore Bay Group, Central East, Greenland. *Journal of Paleontology*, v. **62**: 835-852.
- HALVERSON, G.P.; WADE, B.P.; HURTGEN, M.T.; BAROVICH, K.M. 2010. Neoproterozoic chemostratigraphy. *Precambrian Research*, v. **182**: 337-350.
- HOFFMAN, P.F.; KAUFMAN, A.J.; HALVERSON, G.P.; SCHRAG, D. P. 1998. A Neoproterozoic snowball earth. *Science*, v. **281**: 1342-1346.
- HORODYSKI, R. J.; MANKIEWICZ, C. 1990. Possible Late Proterozoic skeletal algae from the Pahrump Group, Kingston Range, southeastern California. *American Journal of Science*, v. **290**: 149-169.
- JAVAUX, E.J.; KNOLL, A.H.; WALTER, M.R. 2001. Morphological and ecological complexity in early eukaryotic ecosystems. *Nature*, v. **412**: 66-69.
- JAVAUX, E.J.; KNOLL, A.H. WALTER, M.R. 2004. TEM evidence for eukaryotic diversity in mid-Proterozoic oceans. *Geobiology*, v. **2**: 121-132.
- JAVAUX, E.J.; MARSHALL, C.P.; BEKKER, A. 2010. Organic-walled microfossils in 3.2-billion-year-old shallow-marine siliciclastic depositis. *Nature*, v. **463**: 934-938.
- JIANG, G.; SOHL, L.E.; CHRISTIE-BLICK, N. 2003. Neoproterozoic stratigraphic comparison of the Lesser Himalaya (India) and Yangtze block (south China): Paleogeographic implications. *Geology*, v. **31**: 917-920.

- JUSTO, L.J.E.C. 2000. Fosfato da Serra da Bodoquena – Mato Grosso do Sul. Goiânia, GO: Programa de Avaliação Geológico-Econômica de Insumos Minerais para a Agricultura no Brasil. Brasília: CPRM, 31p.
- KAUFMAN, A.J.; KNOLL, A.H.; AWRAMIK, S.M. 1992. Biostratigraphic and chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic sedimentary successions: Upper Tindir Group, northwestern Canada, as a test case. *Geology*, v. **20**: 181-185.
- KNOLL, A.H. 1992. The Early Evolution of Eukaryotes: a geological perspective. *Science*, v. **256**: 622-627.
- KNOLL, A.H. 2003. The geological consequences of evolution. *Geobiology*, v. **1**: 3-14.
- KNOLL, A.H.; CALDER, S. 1983. Microbiotas of the Late Precambrian Ryssö Formation, Nordaustlandet, Svalbard. *Palaeontology*, v. **26**: 467–496.
- KNOLL, A.H.; CARROLL, S.B. 1999. Early animal evolution: Emerging views from comparative Biology and Geology. *Science*, v. **284**: 2129-2137.
- KNOLL, A.H.; VIDAL, G. 1980. Late Proterozoic vase-shaped microfossils from the Visingsö Beds, Sweden. *Geologiska Föreningen I Stockhol Förhandlingar*, v. **102**: 207–211.
- KNOLL, A.H.; JAVAUX, E.J.; HEWITT, D.; COHEN, P. 2006. Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, v. **361**: 1023-1038.
- KNOLL, A. H. 2014. Paleobiological perspectives on early eukaryotic evolution. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, v. **6**: a016121.
- LAHR, D.J.; BOSAK, T.; LARA, E.; MITCHELL, E.A. 2015. The Phanerozoic diversification of silica-cycling testate amoebae and its possible links to changes in terrestrial ecosystems. *PeerJ*, **3**:e1234. doi.org/10.7717/peerj.1234.
- LARA, E.; HEGER, T.J.; MITCHELL, E.A.D.; MEISTERFELD, R.; EKELUND, F. 2007. SSU rRNA reveals a sequential increase in shell complexity among the Euglyphid testate amoebae (Rhizaria: Euglyphida). *Protist*, v. **158**: 229-237.

- LARA, E.; HEGER, T.J.; EKELUND, F.; LAMENTOWICZ, M.; MITCHELL, E.A. 2008. Ribosomal RNA Genes Challenge the Monophyly of the Hyalospheniidae (Amoebozoa: Arcellinida) *Protist*, v. **159**: 165-176.
- LEEUWEN, P.V.; GRAF, J.L. 1987. The Urucum-Mutun iron and manganese deposits, Mato Grosso do Sul, Brazil and Sta. Cruz, Bolivia. Part II. Stratigraphy, lithology and origin: *Geologie en Mijnbouw*, v. **65**, p. 327–343.
- LI, Y.; GUO, J.; ZHANG, X.; ZHANG, W. LIU, Y.; YANG, W.; LI, Y.; LIU, L.; SHU, D. 2008. Vase-shaped microfossils from the Ediacaran Weng'an biota, Guizhou, South China. *Gondwana Research*, v. **14**: 263-268.
- LORAU, J.P., PURSER, B.H. 1973. Distribution and ultrastructure of Holocene ooids in the Persian Gulf. In: PURSER, B.H. (ed.). *The Persian Gulf*. Berlin, Germany: *Springer*, p. 279-328.
- MACIEL, P. 1959. Tilito cambriano (?) no Estado de Mato Grosso. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, v. **81**: 31-39.
- MACDONALD, F.A.; SCHMITZ, M.D.; CROWLEY, J.L.; ROOTS, C.F.; JONES, D.S.; MALOOF, A.C.; STRAUSS, J.C.; COHEN, P.A.; JOHNSTON, D.T.; SCHRAG, D.P. 2010. Calibrating the cryogenian. *Science*, v. **327**: 1241-1243.
- MACDONALD, F.A.; PRAVE, A.R.; PETTERSON, R.; SMITH, E. F.; PRUSS, S. B.; OATES, K. FALLICK, A.E. 2013. The Laurentian record of Neoproterozoic glaciation, tectonism, and eukaryotic evolution in Death Valley, California. *Geological Society of America Bulletin*, v. **125**: 1203-1223.
- MARENCO, K.N.; BOTTJER, D.J. 2007. Ecosystem engineering in the fossil record: early examples from the Cambrian Period. In: CUDDINGTON, K.; BYERS, J.E.; WILSON, W.G.; HASTINGS, A. (Eds.); *Ecosystem Engineers: Plants to Protists*. Burlington, MA: *Elsevier Inc.*, p. 163-184.

- MARTÍ MUS, M.; MOCZYDŁOWSKA, M. 2000. Internal morphology and taphonomic history of the Neoproterozoic vase-shaped microfossils from the Visings Group, Sweden. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, v. **80**: 213–228.
- MOCZYDŁOWSKA, M. 2008. The Ediacaran microbiota and the survival of Snowball Earth conditions. *Precambrian Research*, v. **167**: 1-15.
- MOCZYDŁOWSKA, M.; PEASE, V.; WILLMAN, S.; WICKSTRÖM, L.; AGIĆ, H. 2017. A Tonian age for the Visingsö Group in Sweden constrained by detrital zircon dating and biochronology: implications for evolutionary events. *Geological Magazine*, p. 1-15
- MORAIS, L.; FAIRCHILD, T.R.; LAHR, D.J.; RUDNITZKI, I.D.; SCHOPF, J.W.; GARCIA, A.K.; KUDRYAVTSEV, A.B.; ROMERO, G.R. 2017. Carbonaceous and siliceous Neoproterozoic vase-shaped microfossils (Urucum Formation, Brazil) and the question of early protistan biomineralization. *Journal of Paleontology*, v. **91**: 393-406
- NOFFKE, N. 2009. The criteria for the biogenicity of microbially induced sedimentary structures (MISS) in Archean and younger, sandy deposits. *Earth-Science Reviews*, v. **96**: 173-180.
- NOGUEIRA, A.C.R., RICCOMINI, C. 2006. O Grupo Araras (Neoproterozóico) na parte norte da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. **36**: 576-587.
- PACHECO, M.L.F.; GALANTE, D.; RODRIGUES, F.; LEME, J.D.M.; BIDOLA, P.; HAGADORN, W.; MARQUES, A.C. 2015. Insights into the skeletonization, lifestyle, and affinity of the unusual Ediacaran fossil *Corumbella*. *PLoS ONE*, v. **10**: e0114219.
- PALMER, A.R. 1983. Relative cost of producing skeletal organic matrix versus calcification: evidence from marine gastropods. *Marine Biology*, v. **75**: 287-292.
- PAPINEU, D. 2010. Global biogeochemical changes at both ends of the Proterozoic: insights from phosphorites. *Astrobiology*, v. **10**: 165-181.

- PARFREY, L.W.; LAHR, D.J.; KNOLL, A.H.; KATZ, L.A. 2011. Estimating the timing of early eukaryotic diversification with multigene molecular clocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. **108**: 13624-13629.
- PASTERIS, J.D.; WOPENKA, B. 2003. Necessary, but not sufficient: Raman Identification of Disordered Carbon as a Signature of Ancient Life. *Astrobiology*, v. **3**: 727-738.
- PETERSON, K.J.; BUTTERFIELD, N.J. 2005. Origin of the Eumetazoa: testing ecological predictions of molecular clocks against the Proterozoic fossil record. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. **102**: 9547-9552.
- PIACENTINI, T.; BOGGIANI, P.C.; YAMAMOTO, J.K.; FREITAS, B.T.; CAMPANHA, G.A.C. 2007. Formação Ferrífera associada à sedimentação glaciogênica da Formação Puga (Marinoano) na Serra da Bodoquena, MS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. **37**: 530-541.
- PIACENTINI, T.; VASCONCELOS, P.M.; FARLEY, K.A. 2013. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on the age and thermal history of the Urucum Neoproterozoic banded iron-formation, Brazil. *Precambrian Research*, v. **228**: 48–62.
- PLANAUSKY, N.J.; TARHAN, L.G.; BELLEFROID, E.J.; EVANS, D.A.; REINHARD, C.T.; LOVE, G.D.; LYONS, T.W. 2015. Late Proterozoic transitions in climate, oxygen, and tectonics, and the rise of complex life. In: POLLY, P.D.; HEAD, J.J.; FOX, D.L. (Eds.). Earth-Life Transitions: Paleobiology in the Context of Earth System Evolution. *The Paleontological Society Papers*, v. **21**: 47-82.
- PORTER, S. 2011. The rise of predators. *Geology*, v. **39**: 607-608.
- PORTER, S.M.; KNOLL, A.H.; AFFATON, P. 2004. Chemostratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates from the Volta basin, West Africa. *Precambrian Research*, v. **130**: 99-112.
- PORTER, S.M. 2016. Tiny vampires in ancient seas: evidence for predation via perforation in fossils from the 780–740 million-year-old Chuar Group, Grand Canyon, USA. *Proceedings of the Royal Society B*, v. **283**: 20160221.

- PORTER, S.M.; KNOLL, A.H. 2000. Testate amoebae in the Neoproterozoic Era: evidence from vase-shaped microfossils in the Chuar Group, Grand Canyon. *Paleobiology*, v. **26**: 360-385.
- PORTER, S.M.; MEISTERFELD, R.; KNOLL, A.H. 2003. Vase-shaped microfossil from the Neoproterozoic Chuar Group, Grand Canyon: A classification guided by modern testate amoebae. *Journal of Paleontology*, **77** (3): 409-429.
- RICHTER, D. K. 1983. Calcareous ooids: a synopsis. In: PERYT, T.M. (Ed.). Coated Grains: New York: *Springer-Verlag*, p. 71-99.
- ROONEY, A.D.; STRAUSS, J.V.; BRANDON, A.D.; MACDONALD, F.A. 2015. A Cryogenian chronology: Two long-lasting synchronous Neoproterozoic glaciations. *Geology*, v. **43**: 459-462.
- RUSNAK, G.A. 1960. Some observations of recent oolites. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. **30**: 471-480
- SAITO, Y.; TIBA, T.; MATSUBARA, S. 1988. Precambrian and Cambrian cherts in Northwestern Tasmania. *Bulletion of the national Science Museum, Tokyo, Series C*, v. **14**: 59-70.
- SALA, O. 2008. Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho. 2ª Edição, Editora UNESP, 280 p.
- SIMONE, L. 1980. Ooids: A Review. *Earth-Science Review*. 16: 319-355.
- SCHMIDT, A.R.; RAGAZZI, E.; COPPELLOTTI, O.; ROGHI, G. 2006. A microworld in Triassic amber. *Nature*, v. **444**: 835-835.
- SCHOPF, J.W. 1992. Evolution of the Proterozoic biosphere: benchmarks, tempo, and mode. In: SCHOPF, J.W.; KLEIN, C. (Eds.). The Proterozoic Biosphere, a Multidisciplinary Study. Cambridge, UK: *Cambridge University Press*, p. 583-600.
- SCHOPF, J.W.; KUDRYAVTSEV, A.B.; AGRESTI, D.G.; CZAJA, A.D.; WADOWIAK, T.J. 2005. Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils. *Astrobiology*, v. **5**: 333-371.

- SCHWEITZER, M.H.; AVCI, R.; COLLIER, T.; GOODWIN, M. 2008. Microscopic, chemical and molecular methods for examining fossil specimens. *Comptes Rendus Palevol*, v. **7**: 159-184.
- SCHMIDT, A.R.; SCHONBORN, W.; SCHAFER, U. 2004. Diverse fossil Amoebae in German Mesozoic Amber. *Paleontology*, v. **47**: 185-197.
- SERGEEV, V. N.; SCHOPF, J.W. 2010. Taxonomy, paleoecology and biostratigraphy of the late Neoproterozoic Chichkan microbiota of South Kazakhstan: The marine biosphere on the eve of metazoan radiation. *Journal of Paleontology*, v. **84**: 363-401.
- STRAUSS, J.V.; ROONEY, A.D.; MACDONALD, F.A.; BRANDON, A.D.; KNOLL, A.H. 2014. 740 Ma vase-shaped microfossils from Yukon, Canada: implications for Neoproterozoic chronology and biostratigraphy. *Geology*, v. **42**: 659-662.
- STRAUSS, J.V.; MACDONALD, F.A.; HALVERSON, G.P.; TOSCA, N.J.; SCHRAG, D.P.; KNOLL, A.H. 2015. Stratigraphic evolution of the Neoproterozoic Callison Lake Formation: Linking the break-up of Rodinia to the Islay carbon isotope excursion. *American Journal of Science*, v. **315**: 881-944.
- SIBLEY, D.F., GREGG, J.M., 1987. Classification of dolomite rocks texture. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. **57**:967-975.
- SIMONE, L. 1980. Ooids: A Review. *Earth-Science Review*, v. **16**: 319-355.
- TILLMANN, U. 2004. Interactions between planktonic microalgae and protozoan grazers. *Journal of eukaryotic microbiology*, v. **51**: 156-168.
- TOWE, K.M. 1970. Oxygen-collagen priority and the early metazoan fossil record. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America*, v. **65**: 781-788.
- TRAVERSE A. 2007. Differential Sorting of Palynomorphs into Sediments: Palynofacies, Palynodebris, Discordant Palynomorphs. In: TRAVERSE, A. (Ed.). 2007. Paleopalynology. 2^o Edition. Dordrecht, Netherlands: *Springer Netherlands*, v. **28**, 813 p.

- TUCKER, M.E. 1978. Cements and fabrics of Late Precambrian dolomites (Finnmar). *6th Meeting of Carbonate Sedimentologist*, Liverpool 1978. Liverpool.
- TUCKER, M.E. (Ed.). 1992. *Sedimentary Petrology*. Oxford, UK: *Blackwell Scientific Publications*. 260 p.
- TUCKER, M.E.; WRIGHT, V.P. (eds). 1990. *Carbonate Sedimentology*. Oxford, UK: *Blackwell Scientific Publications*, 482 pp.
- TURNER, N.J.; BLACK, L.P.; KAMPERMAN, M. 1998. Dating of Neoproterozoic and Cambrian orogenies in Tasmania. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. **45**: 789-806.
- URBAN, H.; STRIBRNY, B. 1985. The Geology and Genesis of the iron and manganese deposits of the Urucum district, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Zentralblatt Geologie, Palaontologie*, p. 1515-1527.
- VERMEIJ, G.J. 1989. The origin of skeletons. *Palaios*, v. **4**: 585-589.
- VIDAL, G. 1979 Acritarchs from the upper Proterozoic and lower Cambrian of East Greenland. *Grønlands Geologiske Undersøgelse*, v. **134**: 1-55.
- WEINER, S.; TRAUB, W.; LOWENSTAM, H.A. 1983. Organic matrix in calcified exoskeletons. *In*: WESTOBROEK, P.; JONG, E.W. (Eds.). 1983. *Biom mineralization and Biological Metal Accumulation*. Dordrecht, Netherlands: *Springer Netherlands*, pp. 205-224.
- WILLIAMS, I.S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. *In*: MCKIBBEN, M.A.; SHANKS, W.C.; RIDLEY, W.I. (Eds.). *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*. *Reviews in Economic Geology*, vol. **7**: 1-35.
- WOESE, C. 1998. The universal common ancestor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. **95**: 6854-6859.
- WOESE, C.R.; KANDLER, O.; WHEELIS, M.L. 1990. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. **87**: 4576-4579.

- WOOD, R.A. 2011. Paleoecology of the earliest skeletal metazoan communities: Implications for early biomineralization. *Earth-Science Reviews*, v. **106**: 184-190.
- WOOD, R.; ZHURAVLEV, A.Y. 2012. Escalation and ecological selectivity of mineralogy in the Cambrian Radiation of skeletons. *Earth-Science Reviews*, v. **115**: 249-261.
- XIAO, S.; KNOLL, A.H. 1999. Fossil preservation in the Neoproterozoic Doushantuo phosphorite Lagerstätte, South China. *Lethaia*, v. **32**: 219-238.
- YIN, L.; ZHU, M.; KNOLL, A.H.; YUAN, X.; ZHANG, J.; HU, J. 2007. Doushantuo embryos preserved inside diapause egg cysts. *Nature*, v. **446**: 661-663.
- YIN, L.-M.; BORJIGIN, T.; KNOLL, A.H.; BIAN, L.-Z.; XIE, X.-M.; BAO, F.; OU, Z.J. 2016. Sheet-like microfossils from hydrothermally influenced basinal cherts of the lower Cambrian (Terreneuvian) Niutitang Formation, Guizhou, South China. *Palaeoworld*, v. **26**: 1-11.
- ZAINE, M.F. 1991. Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, *Universidade de São Paulo*, 218 pp.
- ZHANG, Y.; YIN, L.; XIAO, S.; KNOLL, A.H. 1998. Permineralized fossils from the Terminal Proterozoic Doushantuo Formation, South China. *In*: Supplement to v. **72** of the *Journal of Paleontology*. *Memoir the Paleontological Society*, v. **50**, 52pp.