

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

**MICROPALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO TAMENGO (GRUPO CORUMBÁ, FAIXA PARAGUAI SUL, MATO GROSSO DO SUL) E SUAS IMPLICAÇÕES
BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS**

Monografia - Trabalho de Formatura
TF-24/32

Leonardo Thomaz Rimi

Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso

Coorientador: Dr. Thiago de Freitas Toniolo

SÃO PAULO

2024

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso por me acolher durante este árduo último ano da graduação, e sempre incentivar o meu aprendizado e confiança em novos temas da paleontologia.

Ao meu coorientador Dr. Thiago de Freitas Toniolo pela minha introdução e treinamento sob o Laboratório de Estudos Paleobiológicos - GSA, IGc/USP, assim como aos diversos conhecimentos transmitidos ao longo do ano a respeito da morfologia e biodiversidade de microfósseis do Neoproterozoico.

Aos colegas integrantes do projeto ICDP-GRIND, especialmente ao Henrique Albuquerque Fernandes, à Karina Castaldello Mazzamuto e à Larissa Balazina Malta Rodrigues pela introdução ao projeto e compartilhamento de diversos dados geoquímicos e paleontológicos para a complementação deste trabalho.

Ao técnico de laboratório Isaac Jamil Sayeg pela ajuda com as análises MEV-EDS e mapeamento elementar das amostras analisadas.

Aos Profs. Paulo César Boggiani e Paulo de Oliveira por me incentivarem e introduzirem a esta nova área de estudo da micropaleontologia, assim como compartilhar o seu conhecimento nesta vasta área.

Aos meus pais, Deise e Paulo, minha irmã, Paula, e restante de minha família pelo contínuo suporte e incentivo durante meu percurso acadêmico da graduação.

Aos meus colegas da graduação, por tornarem estes últimos anos mais toleráveis, especialmente ao Grupo dos Urubu: Antônio (Cipó), Cássio (Friera), Matheus (Tarzan), Cauê (Joanete), Eduardo (Bocão), Rodrigo (Micose), Giovanni (Xarrete), Thiago (Progidio) e Vinicius (Ovolete) pelos ótimos campos e péssimos relatórios.

Aos meus amigos e colegas de Santo André, sem os quais não teria tido a capacidade de entrar neste incrível curso, que continuem a me incentivar e a fazer perguntas a respeito de geologia.

À FAPESP e ao projeto ICDP-GRIND, pelo financiamento das sondagens de testemunho e fornecimento das amostras para análise paleontológica neste trabalho.

*“Em rochas do Pré-Cambriano, tudo que você achar que é um microfóssil não será um, e
tudo que você não achar será um”*

Paulo César Boggiani

RESUMO

O registro microfossílico, especialmente de acritarcos, é abundante ao longo do Proterozoico, sendo assim uma importante ferramenta para descrever a biodiversidade do Neoproterozoico. O final dessa era foi marcada pela transição Ediacarano-Cambriano (aprox. 555-539 Ma), com o aparecimento dos primeiros metazoários biomíneralizantes, assim como pela dominância de acritarcos esferomorfos de baixa diversidade, conhecidas por *Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora* (LELP). Este trabalho apresenta a caracterização sistemática, e tafonômica de microfósseis encontrados na Formação Tamengo, Grupo Corumbá, registrando a transição Ediacarano-Cambriano por meio de organismos biomíneralizantes como *Corumbella wernerii* e *Cloudina lucianoi*. Amostras retiradas do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, localizada em Corumbá, MS, foram processadas através do tratamento palinológico. Este projeto está vinculado ao âmbito do *International Continental Drilling Project - Geological Research through Integrated Neoproterozoic Drilling* (ICDP-GRIND) de cunho multidisciplinar, sendo possível correlacionar diferentes unidades ediacaranas à Fm. Tamengo, como o Grupo Nama. Após a análise de 44 amostras, foram identificadas 8 espécies de acritarcos: *Leiosphaeridia jacutica* (N=5582), *Leiosphaeridia crassa* (N=4431), *Leiosphaeridia tenuissima* (N=35), *Leiosphaeridia minutissima* (N=245), *Germinosphaera* sp. (N=216), e pela primeira vez na Fm. Tamengo *Asseserium fusulentum*, *Asseserium cf. pyramidalis* e *Lagoeanoforma* sp.; outros palinomorfos como fragmentos de macroalgas (N=938), microfósseis vasiformes de afinidade incerta e microfósseis de paredes orgânicas não identificados, também foram observados. A contagem dos microfósseis foi feita com um posicionamento estratigráfico preciso, e revelou uma dominância quase exclusiva dos espécimes de *Leiosphaeridia jacutica* e *Leiosphaeridia crassa*. Caracterizados por vesículas esféricas simples sem processos, variando entre diâmetros de 20-800µm, esses espécimes podem ser representantes da assembleia LELP, incluindo uma extensão estratigráfica até outras associações microfossílicas, como CAMBAP (*Camaquã Basin Palynoflora*) e *Granomarginata-Lagoenaforma*, descritas em outras bacias Ediacaranas correlatas. Análises por Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (MEV-EDS) revelam feições tafonômicas como impregnação de minerais diagenéticos, compactação e dobramentos vesiculares. Estruturas morfológicas classificadas como pilomas também foram identificadas. A descrição palinológica do testemunho de sondagem possibilitou a interpretação de diferentes palinofácies transicionais caracterizadas pela dominância e diversidade dos acritarcos identificados. A descrição de espécies do gênero *Asseserium* sp. e *Lagoenaforma* sp. permitiram balizar a associação microfossílica da Fm. Tamengo com unidades ediacaranas do Gp. Nama, além da extensão da associação microfossílica *Granomarginata-Lagoenaforma*.

Palavras-chave: Ediacarano; Grupo Corumbá; Formação Tamengo; Microfósseis.

ABSTRACT

The microfossil record, especially of acritarchs, is abundant throughout the Proterozoic, and is therefore an important tool for describing the biodiversity of the Neoproterozoic. The end of this era was marked by the Ediacaran-Cambrian transition (approx. 555-539 Ma), with the appearance of the first biomimeticizing metazoans, as well as by the dominance of low-diversity spheromorph acritarchs, known as Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora (LELP). This work presents the systematic and taphonomic characterization of microfossils found in the Tamengo Formation, Corumbá Group, recording the Ediacaran-Cambrian transition through biomimeticizing organisms such as *Corumbella werneri* and *Cloudina lucianoi*. Samples taken from the core of drill hole 5064-3B-GRIND, located in Corumbá, MS, were processed through palynological treatment. This project is linked to the scope of the International Continental Drilling Project - Geological Research through Integrated Neoproterozoic Drilling (ICDP-GRIND) of multidisciplinary nature, being possible to correlate different Ediacaran units to the Tamengo Fm., such as the Nama Group. After the analysis of 44 samples, 8 species of acritarchs were identified: *Leiosphaeridia jacutica* (N=5582), *Leiosphaeridia crassa* (N=4431), *Leiosphaeridia tenuissima* (N=35), *Leiosphaeridia minutissima* (N=245), *Germinosphaera* sp. (N=216), and for the first time in the Tamengo Fm. *Asseserium fusulentum*, *Asseserium* cf. *pyramidalis* and *Lagoenoforma* sp.; Other palynomorphs, such as macroalgal fragments (N=938), vase-shaped microfossils of uncertain affinity and unidentified organic wall microfossils, were also observed. The microfossil count was performed with a precise stratigraphic positioning, and revealed an almost exclusive dominance of specimens of *Leiosphaeridia jacutica* and *Leiosphaeridia crassa*. Characterized by simple spherical vesicles without processes, ranging in diameter from 20 to 800 µm, these specimens may be representatives of the LELP assemblage, including a stratigraphic extension to other microfossil associations, such as CAMBAP (Camaquã Basin Palynoflora) and Granomarginata-Lagoenoforma, described in other related Ediacaran basins. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM-EDS) analyses reveal taphonomic features such as impregnation of diagenetic minerals, compaction and vesicular folding. Morphological structures classified as pilomes were also identified. The palynological description of the core drilled allowed the interpretation of different transitional palynofacies characterized by the dominance and diversity of the identified acritarchs. The description of species of the genus *Asseserium* sp. and *Lagoenoforma* sp. allowed the microfossil association of the Tamengo Fm. with Ediacaran units of the Nama Gp., in addition to the extension of the Granomarginata-Lagoenoforma microfossil association.

Keywords: Ediacaran; Corumbá Group; Tamengo Formation; Microfossils.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METAS E OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1. Porção Sul da Faixa Paraguai	4
3.1.1. Grupo Jacadigo	4
3.1.2. Grupo Corumbá	4
3.2. O Grupo dos Acritarcos	6
3.2.1. Afinidades morfológicas e biológicas.....	6
3.2.2. Bioestratigrafia do pré-cambriano.....	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4.1. Preparação das Amostras.....	9
4.2. Descrição e Identificação de Microfósseis	10
5. RESULTADOS OBTIDOS	10
5.1. Paleontologia Sistemática.....	10
5.2. Palinomorfos Não Identificados	27
5.2.1. Fragmentos de Macroalga.....	28
5.2.2. Formas não identificadas.....	29
5.3. Tafonomia e Preservação.....	31
5.3.1. Estruturas superficiais	31
5.3.2. Análises MEV – EDS	34
5.4. Bioestratigrafia	37
5.4.1. Contagem dos microfósseis	38
5.4.2. Distribuição estratigráfica.....	39
6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES	43
6.1. Assembleia de Microfósseis	43
6.2. Processos Tafonômicos.....	45
6.3. Interpretação Paleoambiental	47
6.4. Correlação Bioestratigráfica	51
7. CONCLUSÕES	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
9. APÊNDICES.....	67
APÊNDICE A (Tabela das amostras de lâminas e contagem dos Microfósseis Identificados).....	68
APÊNDICE B (Análises quantitativas MEV-EDS).....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A: Mapa geológico da área estudada em Mato Grosso do Sul.....	3
Figura 2: Anatomia básica de acritarcos	7
Figura 3: Gráfico de estimativa de barras da diversidade taxonômica de acritarcos	8
Figura 4: Assemblagens de acritarcos do Ediacarano e início do Cambriano	9
Figura 5: <i>Leiosphaeridia crassa</i> em preparações palinológicas	13
Figura 6: <i>Leiosphaeridia jacutica</i> em preparações palinológicas	16
Figura 7: <i>Leiosphaeridia minutissima</i> em preparações palinológicas	17
Figura 8: <i>Leiosphaeridia tenuissima</i> em preparações palinológicas.....	19
Figura 9: <i>Germinosphaera</i> sp. em preparações palinológicas	22
Figura 10: <i>Lagoenaforma</i> sp. em preparações palinológicas	24
Figura 11: <i>Asseserium</i> sp. em preparações palinológicas	26
Figura 12: Microfósseis vasiformes em preparações palinológicas	27
Figura 13: Fragmentos de Macroalga em preparações palinológicas	28
Figura 14: “Morfotipos com processos triangulares” em preparações palinológicas	30
Figura 15: “Morfótipo não identificado” em preparações palinológicas	31
Figura 16: Estruturas superficiais indicadoras de processos tafonômicos.....	32
Figura 17: Acritarcos com pilomas, ou estruturas de excistamento, em preparações palinológicas	33
Figura 18: Análises da amostra 060_2_W_03073_I (<i>Leiosphaeridia tenuissima</i>)	35
Figura 19: Análises da amostra 2-039_1_W_03042_III (<i>Leiosphaeridia jacutica</i>).....	36
Figura 20: Análises da amostra 2-042_2_W_03044_VI (<i>Germinosphaera</i> sp.)	37
Figura 21: Gráfico de porcentagem dos microfósseis contados e identificados.	38
Figura 22: Resíduo palinológico resistente a dissolução no ácido	39
Figura 23: Coluna lito-bioestratigráfica do furo de testemunho 5064-3B-GRIND	41
Figura 24: Processo teórico para a formação do Piloma, ou estrutura de Excistamento	47
Figura 25: Distribuição dos acritarcos nos ambientes plataformais e sua relação de dominância e diversidade	48
Figura 26: Coluna lito-bioestratigráfica do furo de testemunho 5064-3B-GRIND. Ajuste de curvas para as contagens de <i>L. jacutica</i> , <i>L. crassa</i> , <i>Germinosphaera</i> sp. e Fragmentos de Macroalga.....	50
Figura 27: Distribuição cronoestratigráfica e bioestratigráfica do Grupo Nama e Grupo Corumbá durante o Ediacarano	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre os espécimes de microfósseis unicelulares a coloniais identificados neste e em outros trabalhos sobre a Formação Tamengo	44
---	----

1. INTRODUÇÃO

O final da Era Neoproterozoica foi marcado pela transição do Ediacarano - Cambriano (aprox. 555 - 539 Ma). O período Ediacarano, especificamente, foi marcado pelo aparecimento das primeiras assembleias pluricelulares heterotróficas (Xiao *et al.*, 2014; Wood *et al.*, 2020), assim como os primeiros registros de predação macroscópica e bio-mineralização de metazoários (Bengtson & Zhao, 1992; Penny *et al.*, 2014; Moczydłowska *et al.*, 2021; Morais *et al.*, 2024). Vinculado ao projeto *International Continental Drilling Project - Geological Research through Integrated Neoproterozoic Drilling* (ICDP-GRIND), a relevância deste trabalho provém das importantes mudanças que foram registradas sobre a atmosfera, hidrosfera, geosfera e biosfera da Terra neste período. Destacando o evento glacial *Gaskiers*, assim como a sutura final do oeste de Gondwana (McGee *et al.*, 2018; Rooney *et al.*, 2020). Neste contexto, o estudo de unidades neoproterozoicas do Brasil e África, podem oferecer um importante *proxy* de estudo para a evolução biogeoquímica de bacias proto-gondwanicas, especialmente através do estudo de microfósseis pré-cambrianos, como acritarcos.

Por conta destas revoluções, rochas do período Ediacarano tem sido o foco de diversos estudos estratigráficos, minerais, geoquímicos e geocronológicos, especialmente dentro da unidade estratigráfica do Grupo Corumbá, Brasil (Boggiani, 1998; Trompette *et al.*, 1998; Boggiani *et al.*, 2010; Babinski *et al.*, 2013; McGee *et al.*, 2018; Amorim *et al.*, 2020; Hippertt *et al.*, 2023; 2024; Caxito *et al.*, 2024; Fernandes *et al.*, 2024). Dentre eles, estudos paleontológicos, junto de sua correlação *proxy* à geoquímica e estratigrafia, são de extrema importância para o entendimento da evolução da vida no planeta.

No Brasil, o registro paleontológico do Grupo Corumbá é extenso, com a ocorrência de metazoários como *Cloudina lucianoi*, *Corumbella wernerii*, *Paraconularia ediacarensis* (e.g. Pacheco *et al.*, 2015; Becker-Kerber *et al.* 2017; Leme *et al.*, 2022), macroalgas como *Vendotaenia antiqua*, *Tamengophyton espinosa*, *Ladariella hidria* e *Ladariophyton veinosa* (e.g. Zaine, 1991; Diniz *et al.*, 2021) e icnofósseis interpretados como Bilateria (Parry *et al.*, 2017; Diniz, 2022). O registro microfossilífero, foco deste trabalho, é relatado ao longo dos Grupos Corumbá, consistindo de microfósseis de paredes orgânicas como acritarcos, microfósseis vasiformes (VSM – *vase shaped microfossil*) e microbialitos (Hidalgo, 2002; Gaucher *et al.*, 2003; Tobias, 2014; Morais, 2013; 2017; Morais *et al.*, 2017; 2019; 2021b; Adorno, 2019; Toniolo, 2023), com a recente descrição de acritarcos fosfáticos tridimensionais similares a fauna de Doushantuo- Pertatataka, assim como microfósseis carbonáticos candidatos aos primeiros organismos biomíneralizantes (Morais *et al.*, 2021a; 2024).

Este trabalho apresenta a descrição de uma nova assembleia de microfósseis de parede orgânica sobre a Seção Corcal, Formação Tamengo, Grupo Corumbá, em associação a metazoários bio-mineralizantes. Novos gêneros (e.g. *Asseserium* sp. e *Lagoenaformae* sp.)

e novas estruturas possivelmente tafonômicas (*Pilomas/Excystments*) também foram identificadas pela primeira vez na Formação Tamengo. Esses novos achados corroboram para a correlação bioestratigráfica do Grupo Corumbá com o Grupo Nama, levando a associação de bacias proto-gondwanicas.

2. METAS E OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo a identificação do registro microfossilífero da Formação Tamengo (Grupo Corumbá), assim como correlações bioestratigráficas entre unidades correlatas a essa. Adicionalmente, análises tafonómicas dos microfósseis encontrados, análises de microestruturas e composição química permitiram descrever a sua preservação. O Grupo Nama foi escolhido como principal unidade a ser comparada com o registro microfossilífero deste trabalho, especialmente por causa da conexão deste trabalho ao projeto ICDP-GRIND, cujo possui como principal objetivo a correlação de bacias ediacaras do Grupo Corumbá e Grupo Nama.

Dentre os objetivos específicos deste trabalho estão:

- Realização da descrição sistemática dos espécimes de microfósseis presentes na Formação Tamengo (Grupo Corumbá), do testemunho 5064-3B-GRIND;
- Descrição da preservação dos microfósseis identificados, por meio de assinaturas tafonómicas, ultraestruturas junto da composição química e elementar deles;
- Comparação das associações de microfósseis da Formação Tamengo com as de outras unidades ediacaranas, especialmente a do Grupo Nama, correlato ao Grupo Corumbá.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre as províncias estruturais delimitadas no interior do território brasileiro, o contexto geológico regional está localizado sobre a Província Estrutural do Tocantins, a qual pode ser dividida entre os cinturões Brasília, Araguaia e Paraguai (Almeida *et al.*, 1981). A Faixa Paraguai pode ser interpretada como um cinturão de empurrões, resultante da colisão entre o Cráton Amazônico a noroeste, o Cráton Paranapanema a sudeste, o Cráton Pampia a sudoeste e o bloco Rio Apa a sudoeste durante os estágios finais da colagem Brasiliana/Pan-Africana e da amalgamação do oeste de Gondwana, por volta de 540 Ma (Trompette, 1994; McGee *et al.*, 2018).

Sendo dividida em uma porção norte e sul, a área de perfuração dos testemunhos do “ICDP-GRIND”, no Brasil, foi realizada pela porção sul da Faixa Paraguai, especificamente

sobre as pedreiras Sobramil (5064-3A-GRIND) e Corcal (5064-3B-GRIND), próximo às cidades de Corumbá e Ladário (Fig. 1A).

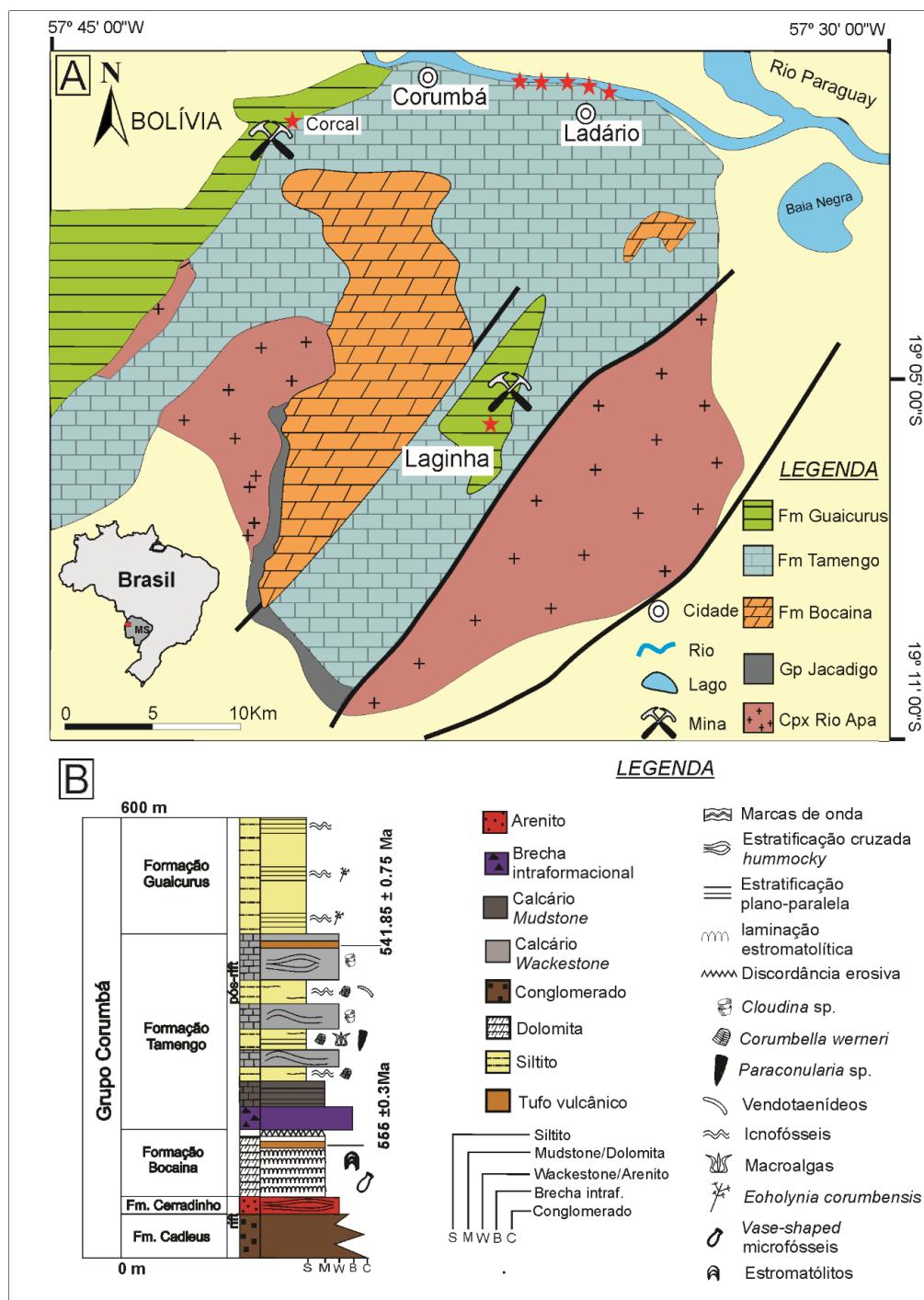


Figura 1: A: Mapa geológico da área estudada em Mato Grosso do Sul, focando na Pedreira de Corcal, incluindo as formações Tamengo e Guaicurus. B: Coluna estratigráfica do Grupo Corumbá com as principais ocorrências paleontológicas, datações, litologias e estruturas sedimentares (Retirado de Diniz, 2022).

3.1. Porção Sul da Faixa Paraguai

Autores, como Jones (1985) e Walde (1988), consideram que a região de Corumbá, área de estudo do presente trabalho, estaria localizada em uma área de Junção Tríplice, conectando as porções norte e sul da Faixa Paraguai com o Aulacógeno Chiquitos-Tucavaca localizado a oeste em território Boliviano. Estas três bacias teriam se formado durante os estágios da quebra de Rodínia, entre 650 a 540 Ma, com a junção do Aulacógeno Chiquitos-Tucavaca ocorrendo posteriormente, entre 506 a 488 Ma (Babinski *et al.*, 2013; Litherland *et al.*, 1986).

Trompette *et al.* (1998) interpretam a região de Corumbá como um sistema deposicional de grabens, com falhas normais de orientação preferencial NE-SW. Estando localizado na extremidade leste do Aulacógeno Chiquitos-Tucavaca, a deposição do Sistema de Grabens de Corumbá é interpretada como um resultado da flexura do embasamento cratônico proximal (Trompette *et al.*, 1998).

3.1.1. Grupo Jacadigo

A deposição do Grupo Jacadigo teve início junto da instalação da depressão sul da Faixa Paraguai (Trompette *et al.*, 1998), pela sua unidade basal, a Formação Urucum com um máximo de 700 m de espessura, e logo acima a Formação Santa Cruz com aprox. 400 m de espessura (Almeida, 1945). A Formação Urucum está, localmente, sobreposta acima do embasamento do Cráton Amazonas e Bloco Rio Apá a partir de falhas normais, nela rochas arcoseanas e carbonáticas são descritas, assim como diamictitos glaciais (Freitas *et al.*, 2011). Pela Formação Santa Cruz são descritos depósitos autigênicos de hematita-jaspilito, assim como depósitos de óxido de manganês associados (Freitas *et al.*, 2011).

Descrito ao longo de morros isolados ao sul de Corumbá, com altitudes de até 1000 m como o Maciço de Urucum, assim como a sudoeste da área de trabalho (Fig. 1A), o Grupo Jacadigo possui uma idade de deposição mínima $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}_{\text{Cml}}$ (Criptomelano) de 587 ± 7 Ma, representando a idade mínima para a deposição do grupo (Piacentini *et al.*, 2013).

3.1.2. Grupo Corumbá

Aflorante ao longo de toda porção sul da Faixa Paraguai, desde a Serra da Bodoquena até a região de Corumbá, o Grupo Corumbá é subdividido, estratigráficamente, de base para topo, em: Formação Cadiueus, Formação Cerradinho, Formação Bocaina, Formação Tamengo e Formação Guaicurus (Almeida, 1965; Boggiani, 1998) (Fig. 1B). A Formação Puga ocorre estratigráficamente abaixo desse grupo, análises geoquímicas apresentam valores típicos de capas carbonáticas de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de $-5\text{\textperthousand}$ (Boggiani *et al.*, 2003; Alvarenga *et al.*, 2004), indicando uma possível origem glaciogênica para essas rochas, durante a glaciação Marinoana, por volta de 636 Ma.

As Formações Cadiueus e Cerradinho foram depositadas durante a fase inicial rítfe da bacia de Corumbá (Boggiani, et al., 2010). Aflorantes somente ao longo da margem ocidental do Planalto da Bodoquena, ambas as unidades basais são descritas com fácies predominantemente terrígenas, compostas de ortoconglomerados polimíticos arcoseanos intercalados por folhelhos roxos (Fm. Cadiueus), gradando para arenitos quartzíticos, intercalados por folhelhos negros e carbonatos oólíticos (Fm. Cerradinho) (Almeida, 1965; Boggiani, 1998; Alvarenga et al., 2010). O ambiente de deposição dessas unidades teria se dado a partir de leques aluviais com pulsos tectônicos que levariam a um fluxo deposicional de oeste para leste, seguido pelo afogamento predominante da bacia, com a instalação de fan-deltas em um ambiente submerso (Boggiani, 1998). Hiatt et al (2020) corroboram à uma idade do final do Criogeniano para essas formações, baseado em feições glaciogênicas de furos de sondagem, postulando uma deposição durante a glaciação Marinoana em associação com a Formação Puga.

O restante do Grupo Corumbá foi depositado durante a fase de *drift* e expansão da bacia de Corumbá, com a base da Formação Bocaina indicando o primeiro contato erosivo do grupo a partir das duas fases tectônicas, representado na região de Corumbá pela superfície de aplinamento da Pedra Branca (Boggiani, 1998; Hippert et al., 2023). A Formação Bocaina é composta por calcários dolomíticos e rochas fosfáticas, com fácies estromatolíticas, *rudstones* psolíticos, *flakestones*, e de estromatólitos fosfatizados. A deposição desta formação foi marcada por uma extensa plataforma carbonática limitada por áreas de mares epicontinentais, prevalecendo uma extensa área para a proliferação microbiana (Boggiani, 1998; Gaucher et al., 2003; Morais et al., 2021b; 2024). Parry et al. (2017) dataram níveis de tufo vulcânicos, obtendo uma idade média de zircão (U-Pb CA-ID-TIMS) de $555,18 \pm 0,30/0,34/0,70$ Ma (MSWD = 1,6; n = 8). Morais et al. (2024) dataram microbialitos na região da Serra da Bodoquena, obtendo uma idade de carbonatos (U-Pb LA-ICP-MS) de $570 \pm 11/18$ Ma (MSWD=1,3; n = 81) e de $570 \pm 16/21$ Ma (MSWD=1,5; n = 81).

A Formação Tamengo teria registrado um soerguimento inicial perante sua base (Boggiani et al, 2010; Fernandes et al., 2022), em que brechas carbonáticas seriam o registro de um acentuado rebaixamento do nível do mar, formando uma quebra de talude (Boggiani, 1998). Calcáreos calcíticos, como *grainstones* e *wackestones* oolíticos, e ritmitos de *mudstones* com folhelhos negros teriam marcado a elevação do nível do mar, em um evento de transgressão ao longo de toda a plataforma (Boggiani, 1998). Macrofósseis de metazoários como *Cloudina lucianoi*, *Corumbella wernerii*, *Paraconularia ediacarensis* (e.g. Pacheco et al., 2015; Becker-Kerber et al., 2017; Leme et al., 2022) e *Vendotaenia antiqua* foram descritos nesta formação (Gaucher et al., 2003) (Fig. 1B). A Formação Guaicurus, por fim, é representada por pelitos siliciclásticos, representando um maior aporte terrígeno da bacia durante este estágio (Boggiani, 1998) (Fig. 1B).

A seção geológica da pedreira Corcal (Fig. 1A), área de estudo do presente projeto, é caracterizada por níveis de pelitos com fragmentos de *Corumbella werneri*, intercalados muitas vezes por *wackestone*, *packstones* e *grainstones* constituídos por intraclastos, oóides e bioclastos de *Cloudina lucianoi*. Níveis de *mudstones* também estão presentes sobre a seção (Amorim et al., 2020). Parry et al. (2017) também dataram níveis de tuhos vulcânicos encontrados na porção superior da seção da pedreira Corcal, Formação Tamengo, obtendo idades médias de zircão (U-Pb CA-ID-TIMS) de $542,37 \pm 0,28/0,32/0,68$ Ma (MSWD = 0,68; n = 4) e de $541,85 \pm 0,75/0,77/0,97$ Ma (MSWD = 3,3; n = 5).

3.2. O Grupo dos Acritarcos

Estabelecido por William R. Evitt (1963), o “Grupo Acritarcha” (do grego *akritēs* = incerto, *arché* = origem) é definido como um grupo polifilético utilizado para agrupar diversos microrganismos, de parede orgânica resistente, que apresentam similaridades orgânicas. Diversos autores interpretam acritarcos como cistos de algas plantônicas, porém certos espécimes ainda apresentam uma afinidade incerta (Martin, 1993, Javaux & Marshall, 2006). Sua distribuição estratigráfica é extensa, com exemplares desde o Arqueano até o Presente (Grey, 2005). Em cunho deste trabalho, será utilizado o sistema informal de nomenclatura de Acritarcos (Evitt, 1963), devido a simplicidade dos espécimes encontrados.

3.2.1. Afinidades morfológicas e biológicas

A morfologia de acritarcos descritos aqui é relativamente simples, com poucas diferenças entre espécimes, sendo assim difícil a identificação de características específicas para a análise cladística do grupo (Agić, 2016). Ainda assim, autores como Downie et al. (1963), propuseram uma divisão formal do Grupo Acritarcha em subgrupos, de acordo com suas feições morfológicas características, estes sendo: Acanthomorphitae (Fig. 2), Diacromorphitae, Dinetromorphitae, Dispaeromorphita, Herkomorphitae, Netromorphitae, Oomorphitae, Platymorphitae, Polygonomorphitae, Prismatomorphitae, Pteromorphitae, Sphaeromorphitae (Fig. 2), e Stephanomorphitae.

A anatomia básica de acritarcos consiste de uma vesícula (ou testa) de composição orgânica que pode ter uma superfície lisa ou ornamentada, ou características entre ambos os extremos (enrugadas) (Fig. 2) (Agić, 2016). O formato da vesícula pode variar entre esférico, elipsoidal, alongado, até poligonal. A superfície da vesícula também pode apresentar cicatrizes alongadas ou circulares (pilomas) (Fig. 2), interpretadas como cicatrizes de ruptura de cistos, levando a uma similaridade a organismos como dinoflagelados (Downie et al., 1963; Strother, 1996). Atualmente os acritarcos são comumente divididos em dois grandes grupos, os Sphaeromorphitae (Esferomorfos) e os Acanthomorphitae (Acantomorfos), dividindo-os em acritarcos sem e com processos alongados (Fig. 2).

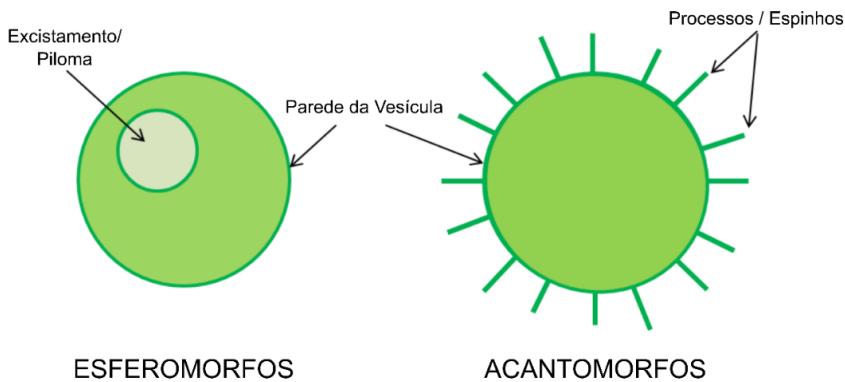


Figura 2: Anatomia básica de acritarcos, demonstrando os dois grupos mais comuns de acritarcos do registro estratigráfico Pré-Cambriano, Sphaeromorphitae (Esferomorfos) microfósseis sem ornamentação, e Acanthomorphitae (Acantomorfos) microfósseis com ornamentação (Modificado de Agić, 2016).

De maneira concisa, acritarcos são protistas unicelulares que representam alguns dos primeiros exemplares de organismos eucarióticos no registro fóssil, porém sua afinidade evolutiva ainda é discutida. Dentre os principais candidatos para sua afinidade temos estágios ontogenéticos (cistos, ovos, tecas) de organismos unicelulares, autótrofos e heterótrofos, e também multicelulares (como por exemplo ovos de crustáceos ou fragmentos de metazoários) (Evitt, 1963; Martin, 1993; Colbath & Grenfell, 1995; Butterfield, 2004, 2005, 2010).

Análises específicas da composição molecular e ultraestrutura de acritarcos levaram certas espécies a serem interpretadas como algas verdes (Talyzina & Moczydłowska, 2000; Javaux *et al.*, 2004; Moczydłowska, 2016), cistos de dinoflagelados (Strother, 1996; Arouri *et al.*, 1999), fungos (Butterfield, 2005; Retallack, 2015) e embriões de metazoários (Yin *et al.*, 2004, 2007; Cohen *et al.*, 2009). Acritarcos podem apresentar uma janela exclusiva para os primeiros mecanismos evolutivos de organismos eucarióticos, assim como os primeiros passos utilizados para a pluricelularidade.

3.2.2. Bioestratigrafia do pré-cambriano

Como dito anteriormente, os acritarcos apresentam um extenso registro estratigráfico, com exemplares do pré-cambriano presentes em rochas Arqueanas (3,2 Ga, Grupo Moodies, África do Sul, Javaux *et al.*, 2010), Paleoproterozoicas (2,15 – 1,95 Ga, Grupo Hutuo, China, Yin *et al.*, 2020), Mesoproterozoicas (1,59 – 1,27 Ga, Grupo Dismal Lakes, Canadá, Loron *et al.*, 2021), e Neoproterozoicas (Fig. 3).

Ainda que não apresentem nenhuma afinidade evolutiva concisa entre os espécimes, por possuírem um grande registro estratigráfico, acritarcos podem ser utilizados como marcadores bioestratigráficos e de biozonas. Dentre uma das assembleias mais

antigas, se reconhece uma gama de acritarcos da Formação Beidajan (1,38 – 1,76 Ga, Grupo Ruyang, China, Xiao *et al.*, 1997), em que uma de suas espécies, *Valeria lophostriata*, ocorre mundialmente ao longo da transição do Paleoproterozoico e Mesoproterozoico. Outro exemplar de um fóssil *index* seria a espécie *Trachyhystrichosphaera aimika*, comumente encontrada na transição do Mesoproterozoico e Toniano (Pang *et al.*, 2020a).

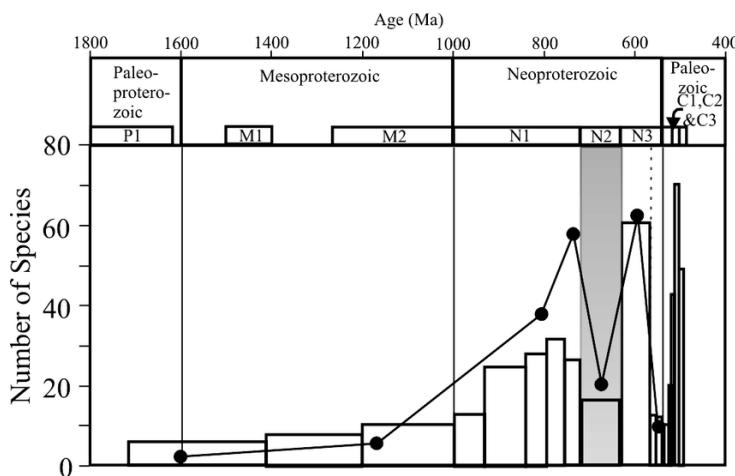


Figura 3: Gráfico de estimativa de barras da diversidade taxonômica de acritarcos ao longo do Proterozoico até o início do Paleozoico (Adaptado de Knoll, 1994; modificado de Huntley *et al.*, 2006).

Acritarcos passaram por eventos de extinção e recuperação durante o Neoproterozoico, sendo comumente categorizados em assembleias distintas (Gaucher & Sprechmann, 2009) (Fig. 3). Umas das primeiras assembleias é representada por uma diversificação durante o Toniano até início do Criogeniano (>1000 – 770 Ma) com uma diversidade entre 30 a 60 espécies (Butterfield & Rainbird, 1998; Huntley *et al.*, 2006; Knoll *et al.*, 2006). O restante do Criogeniano (770 – 635 Ma) foi marcado por pelo menos duas grandes crises, marcadas pela presença quase exclusiva da espécie *Bavlinella faveolata* logo abaixo de depósitos glaciais, marcando assim eventos de bioperturbação por meio de eutrofização dos oceanos (Gaucher & Germs, 2007).

O Ediacarano pode ser dividido em três assembleagens de acritarcos (Gaucher & Sprechmann, 2009) (Fig. 4): *Early Ediacaran Leiosphere Palynoflora* (EELP), uma lenta recuperação de acritarcos esferomorfos; *Ediacaran Complex Acanthomorph Palynoflora* (ECAP), uma drástica explosão na diversidade de acritarcos com ornamentação, ou acantomórficos, característicos da assembleia de Duoshantuo-Pertatataka, na China (Zhou *et al.*, 2007); e *Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora* (LELP), uma assembleia de baixa diversidade composta quase exclusivamente por acritarcos esferomórficos. A causa para o desaparecimento da ECAP e estabelecimento da LELP ainda é debatido, porém este evento também promoveu a diversidade de metazoários e vendobiontes na transição do Ediacarano – Cambriano (Gaucher & Sprechmann, 2009).

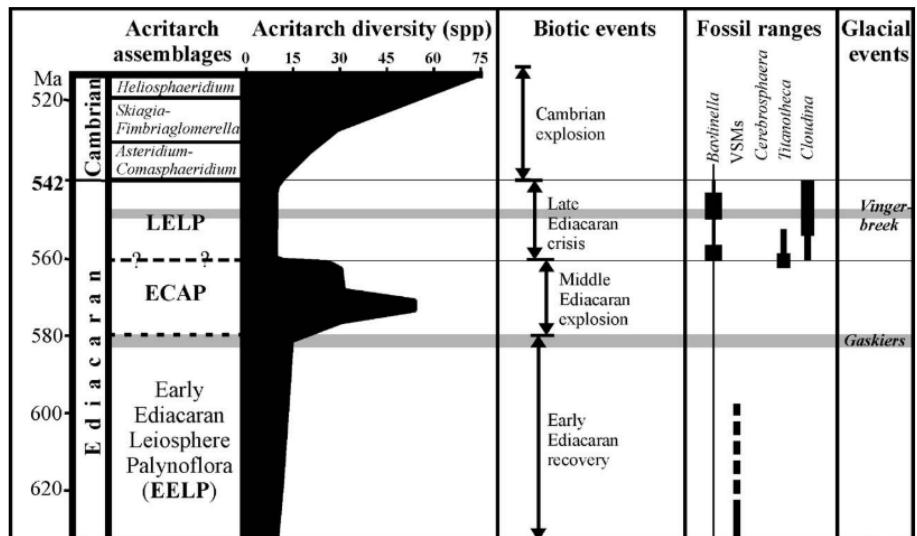


Figura 4: Assemblagens de acritarcos do Ediacarano e início do Cambriano, associados a sua diversidade e possíveis eventos glaciais (Retirado de Gaucher & Sprechmann, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras, objeto de estudo do presente trabalho, estão inseridas no *International Continental Drilling Project (ICDP)*: “*GRIND- Geological Research through Integrated Neoproterozoic Drilling*”, de cunho multidisciplinar, com o objetivo de estudar as mudanças químicas e biológicas dos oceanos da Terra durante a transição Ediacarano - Cambriano (TEC), nos Grupos Nama (Namíbia) e Corumbá (Brasil). Perfis em testemunhos fornecem amostras que não foram intemperizadas, possibilitando uma maior preservação dos fósseis.

Estas amostras provêm do testemunho 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo, Grupo Corumbá, Mato Grosso do Sul. As amostras já estavam disponíveis para análise e preparação palinológica no Laboratório de Estudos Paleobiológicos - GSA, IGc/USP. Foram analisadas um total de 44 amostras, 41 de calcários e 3 de folhelhos.

4.1. Preparação das Amostras

A preparação das amostras foi realizada com cautela e extrema minuciosidade para prevenir a partição dos microorganismos preservados nelas, além de evitar contaminação. Por esta razão, este trabalho teve como base a sequência de procedimentos laboratoriais para preparação palinológica utilizada por Toniolo (2023).

Essa preparação consiste na fragmentação das amostras e posterior dissolução em ácido clorídrico, para amostras de carbonatos, e em ácido fluorídrico, para amostras silicicísticas ou de folhelhos orgânicos, durante 24 horas, todos à temperatura ambiente (25 C°). Após isso será realizada a neutralização da amostra residual não dissolvida, por meio da adição de água destilada, e separação do material orgânico restante em um microscópio de luz refletida para separação, contagem e identificação de palinomorfos.

4.2. Descrição e Identificação de Microfósseis

1) Microscopia óptica: Diante dos palinomorfos separados, foi realizada a identificação e contagem deles, com aqueles menores que 50 µm foram triados e confeccionados em uma lâmina palinológica para serem fotografados em um microscópio petrográfico Carl Zeiss – modelo Axioplan 2. Os microfósseis identificados ao microscópio foram descritos e medidos, registrando-se parâmetros como largura, comprimento, ornamentação, diâmetro da abertura, espessura da parede, etc.

2) Identificação dos microfósseis: Para a identificação e contagem dos palinomorfos, e outros microfósseis, foi utilizada a literatura disponível a respeito do registro atualmente presente da Formação Tamengo e Grupo Corumbá (Hidalgo, 2002; Gaucher *et al.*, 2003; Tobias, 2014; Adorno, 2019; Morais *et al.*, 2019; 2021a; 2021b; Toniolo, 2023).

3) Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (SEM – EDS): Foram feitas imagens MEV e mapeamentos EDS com objetivo de melhor caracterizar as ultraestruturas e a composição elementar dos microfósseis, dos sedimentos, e dos produtos diagenéticos. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (Lab. Mev) do IGc – USP, com o equipamento MEV – LEO 440I, e EDS com detector de estado sólido do tipo Si (lítio) INCA 300 Oxford, a partir de lâminas recobertas por carbono. O mapeamento EDS permite a quantificação de elementos como C, O, P, S, Si e Fe, o que pode explicar diferentes texturas nas paredes dos microfósseis e elucidar os diferentes modos de preservação (eg. silificação, carbonização, fosfatização). Além disso, em alguns casos, essa técnica permite identificar a biomobilização de elementos (Al, K, Fe) nos locais anteriormente ocupados por estruturas como paredes celulares, cloroplastos e pirenóides (Javaux & Marshal, 2006).

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Paleontologia Sistemática

Os espécimes descritos estão apresentados em ordem alfabética a partir dos táxons identificados, classificando-os em três categorias distintas de acordo com sua afinidade biológica: acritarcos esferomórficos considerados como protistas (*Leiosphaeridia crassa* Naumova, 1949 (N=4431), *Leiosphaeridia jacutica*, Timofeev, 1966 (N=5582), *Leiosphaeridia minutissima*, Naumova, 1949 (N=245), e *Leiosphaeridia tenuissima*, Eisenack, 1958 (N=35)), microrganismos eucarióticos *incertae sedis* (*Germinosphaera* sp. (N=216), *Asseserium fusulentum* (N=3), *Asseserium* cf. *pyramidalis* (N=2) e *Lagoenaforma* sp. (N=11)), e microfósseis vasiformes (VSM's).

A taxonomia supragenérica segue o sistema informal de classificação de acritarcos estabelecido por Evitt (1963). Para *Leiosphaeridia* Eisenack, 1958 segue-se Downie &

Sarjeant (1963), para *Germinosphaera* Mikhailova, 1986 segue-se Miao *et al.* (2019), para *Lagoenaforma* Agić *et al.*, 2022 segue-se os mesmos autores de Agić *et al.* (2022) e para *Asseserium* Moczydłowska & Nagovitsin, 2012 também segue os mesmos autores de Moczydłowska & Nagovitsin (2012). Caracteres como “?” e “cf.” indicam incerteza sobre a identificação do gênero ou espécie, com o caractere “cf.” determinando que a identificação da espécie é provável, porém incerta. Os materiais analisados e processados se encontram etiquetados e organizados por número de amostra dentro do Laboratório de Estudos Paleobiológicos - GSA, IGc/USP, e foram catalogados junto à Coleção Paleontológica do IGc/USP (Apêndice A). Também está incluso em apêndice a tabela de contagem dos microfósseis identificados em abundância, junto da quantidade de preparações palinológicas realizadas (Apêndice A).

Grupo Acritarcha Evitt, 1963

Subgrupo Sphaeromorphitae Downie *et al.*, 1963

Gênero *Leiosphaeridida* Eisenack, 1958. *emend.* Downie & Sarjeant, 1963

Espécie-tipo: *Leiosphaeridida baltica* Eisenack, 1958.

Diagnose: “Corpos esféricos a elipsoidais sem processos, frequentemente colapsados ou dobrados, com ou sem pilomas. Paredes granulares, pontuadas ou sem ornamentação; finas. Sem divisões e sem sulcos ou cintas longitudinais ou transversais” (Downie & Sarjeant 1963, tradução livre).

Discussão: O gênero *Leiosphaeridida* é comumente descrito como vesículas de composição orgânica de formato esférico e sem ornamentação. Embora a classificação seguida neste trabalho considere este gênero como parte do grupo Acritarcha (Jankauskas *et al.*, 1989; Grey, 2005; Sergeev & Schopf, 2010) é importante ressaltar que, por ser um grupo polifilético, alguns autores classificam algumas espécies de *Leiosphaeridida* como cistos de algas verdes, conhecidas como Chlorophyceae (Moczydłowska *et al.*, 2011; Moczydłowska, 2016). O diagnóstico de Downie & Sarjeant (1963) não considera a cor da vesícula para a classificação de espécies, sendo que a cor de microfósseis com paredes orgânicas pode ser alterada facilmente por processos diagenéticos como o aumento de temperatura sobre mesodiagênese (Staplin, 1969). Jankauskas *et al.* (1989) propuseram que as espécies deste gênero fossem diferenciadas de acordo com o tamanho e espessura da vesícula, o tamanho limite entre espécies é de 70 µm, com a espessura sendo classificada de acordo com a opacidade da vesícula.

Leiosphaeridida crassa (Naumova, 1949) Jankauskas (in Jankauskas *et al.*, 1989)

Figuras: 5a – 5k

- 1949 *Leiotriletes crassa*; Naumova 1949, p. 54, pl. I, Fig. 5, 6; pl. II, Fig. 5, 6
 1959 *Trachytriletes asperatus*; Timofeev, p. 100, pl. 10, Fig. 4
 1966 *Kildinella hyperboreica*; Timofeev, p. 29, pl. 5, Fig. 3
 1966 *Polyedrosphaeridium bullatum*; Timofeev, p. 44, pl. 5, Fig. 9
 1969 *Leiosphaeridia* of type A; Volkova, pl. XLVI, Fig. 4-6, 8-15, pl. XLVIII, Fig. 1-9, 11-13, pl. XLIX
 1969 *Polyedrosphaeridium bullatum*; Timofeev, p. 26, pl. 5, Fig. 6; pl. 32, Fig. 5
 1973 *Leiopsophosphaera crassa*; Pykhova, p. 99, pl. 2, Fig. 3
 1989 *Leiosphaeridia crassa* Jankauskas et al., pp. 75-76, pl. 9, 1256 Fig. 5-10
 1990 *Leiosphaeridia crassa*; Fensome et al., 1990, p. 274
 1992 *Leiosphaeridia crassa*; Zang & Walter: Plate IX, A-K; Plate XII, K; Plate XIV, E, H
 1994 *Leiosphaeridia crassa*; Butterfield et al., pp. 40, 42, Fig. 16f, 23k
 1994 *Leiosphaeridia crassa*; Hofmann and Jackson, p. 22, Fig. 13.3, 15.19-15.29
 1994 *Leiosphaeridia crassa*; Knoll, Fig. 4b H
 1995 *Leiosphaeridia crassa*; Zang, p. 166, Fig. 21d, 28c-d
 1999 *Leiosphaeridia crassa*; Buick & Knoll, p. 756, Fig. 5.2-5.4
 2004 *Leiosphaeridia crassa*; Javaux et al., Fig. 4e-i
 2004 *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev & Lee, pp. 21, 23, pl. 3, Fig. 4-5
 2004 *Leiosphaeridia crassa*; Tiwari & Pant, p. 1736, Fig. 3v
 2005 *Leiosphaeridia crassa*; Grey, Fig. 63A-C
 2005 *Leiosphaeridia crassa*; Marshall et al., Fig. 1e
 2006 *Leiosphaeridia crassa*; Javaux & Marshal, Fig. 3.4-3.6
 2008 *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev et al., pl. 7, Fig. 5-6
 2009 *Leiosphaeridia crassa*; Stanevich et al., p. 32, pl. 3, Fig. 3-4
 2009 *Leiosphaeridia crassa*; Tiwari & Pant, Fig. 7d-e, 8h, 8o-p
 2009 *Leiosphaeridia crassa*; Yin et al., Fig. 3a, 3h, 3l, 4d, 4f, 4h, 5a, 5c
 2010 *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev & Schopf, p. 395, Fig. 15.3-15.6
 2013 *Leiosphaeridia crassa*; Tang et al., Fig. 4b
 2014 *Leiosphaeridia crassa*; Babu et al., Fig. 3f
 ??2014 *Leiosphaeridia crassa*; Lottaroli et al., Fig. 10.2
 2014 *Leiosphaeridia crassa*; Riedman et al., Fig. 2 A, L, O
 2015 *Leiosphaeridia crassa*; Nagovitsin & Kochnev, Fig. 1.55-1.56
 2015 *Leiosphaeridia crassa*; Tang et al., Fig. 4d
 2016 *Leiosphaeridia crassa*; Baludikay et al., Fig. 8a-c
 2016 *Leiosphaeridia crassa*; Porter & Riedman, p. 830, Fig. 11.2
 2016 *Leiosphaeridia crassa*; Riedman & Porter, Fig. 11.5
 2016 *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev et al., Fig. 4.2
 2017 *Leiosphaeridia crassa*; Agić et al., p. 110, Fig. 8a-c
 2017 *Leiosphaeridia crassa*; Beghin et al., pl. 2, Fig. c-d
 2017 *Leiosphaeridia crassa*; Javaux & Knoll, p. 209, Fig. 4.6
 2017a *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev et al., Fig. 3.14
 2017b *Leiosphaeridia crassa*; Sergeev et al., pl. I, fig. 6.
 2018 *Leiosphaeridia crassa*; Anderson et al., pp. 10, 12, Fig. 8a-e
 2019 *Leiosphaeridia crassa*; Arrouy et al., Fig. 6d-e
 2019 *Leiosphaeridia crassa*; Li et al., Fig. 4f
 2019 *Leiosphaeridia crassa*; Adorno, Fig. 16: 1-5
 2020 *Leiosphaeridia crassa*; Arvestål & Willman, p. 11, Fig. 6j-k, 6m
 2020 *Leiosphaeridia crassa*; Knoll et al., p. 6, Fig. 3g
 2020 *Leiosphaeridia crassa*; Shukla et al., p. 502, Fig. 6g
 2021b *Leiosphaeridia crassa*; Moraes et al., Fig. 5I
 2022 *Leiosphaeridia crassa*; Agić et al., Fig. 6 B,D
 2023 *Leiosphaeridia crassa*; Pandey et al., Fig. 8E-G
 2023 *Leiosphaeridia crassa*; Toniolo, Fig. 21A-D, 21F
 2024 *Leiosphaeridia crassa*; Denezine, Fig. 3.6
 Para sinónímia adicional veja Jankauskas et al. (1989, p. 75)

Material-tipo: Holótipo: *Leiotriletes crassus* Naumova 1949, Prancha 1, Fig. 3, Cambriano inferior, Formação Lontova, Estônia. Neótipo: LitNIGRI, No. 16-800-2942/9, espécime 2; Bashkirian Peri-Urals. Sondagem Sergeev-800, 2942.4-2946.4 m; Vendiano, horizonte Redkino, Formação Bashkibashev. (Jankauskas et al., 1989, p.76, Plate 9, Fig. 5).

Diagnose: “Vesículas esferoidais de pequeno e médio tamanho, com paredes lisas e grossas. O tamanho da vesícula é de 10 – 70 µm (usualmente 15 – 30 µm), a espessura da

parede é de 0,7 – 1,5 µm. Holótipo 20 – 30 µm, lectótipo 34 µm. Vesículas fossilizadas são achataadas, com contorno circular uniforme.” (Jankauskas *et al.*, 1989, traduzido do russo para o inglês por Arvestål & Willman 2020; tradução livre para o português).

Ocorrência: É muito comum em associações de microfósseis do Pré-Cambriano e do Fanerozoico (Grey, 2005).

Descrição: Vesículas de contornos subcirculares, sem ornamentação, com diâmetro entre 2 e 69 µm. Contém poucas dobras em sua superfície, além de serem muito opacas à luz transmitida, sugerindo espessura da parede grossa (em relação à *L. minutissima*, que apresenta dimensões parecidas). Raramente contém fraturas radiais (Fig. 5b), que quando presentes, não se estendem até a parte central (polo) da vesícula. Poucos indivíduos fragmentados.

Discussão: Pykhova (1973) alterou o nome desta espécie de *Leiotriletes crassus* Naumova, 1949 para *Leiopsophosphaera crassa*, como se pode notar a nova grafia para o segundo termo do nome da espécie (Fensome *et al.*, 1990; Grey, 2005). Posteriormente, Jankauskas *et al.*, (1989) altera mais uma vez a atribuição genérica e erige neótipo para a espécie, que passa a ser denominada de *Leiosphaeridia crassa* (Pykhova 1973). Esses autores também consideraram que a presença de fratura radiais (Fig. 5b) é uma característica diagnóstica de *L. obsuleta* (Jankauskas *et al.*, 1989), porém, as amostras apresentadas aqui demonstram como estas fraturas podem ocorrer de maneira aleatória entre *L. jacutica* e *L. crassa*. Trata-se do microfóssil orgânico com maior quantidade identificado nas amostras estudadas.

Material analisado: N = 5582 (Apêndice A). Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (Todas as amostras apresentaram exemplares).

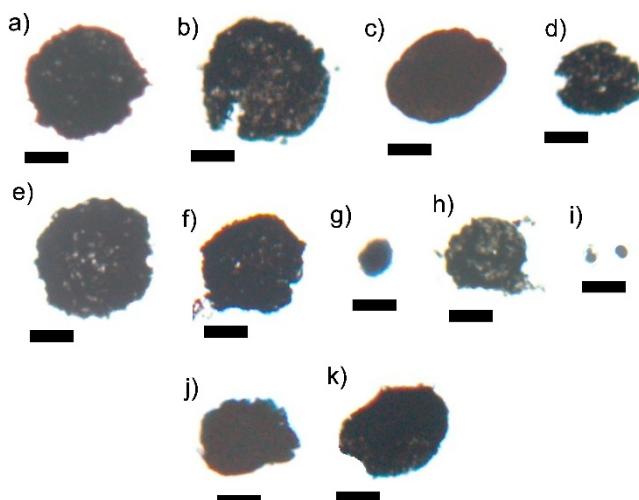


Figura 5: *Leiosphaeridia crassa* em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 25 µm para todos os espécimes. **a)**: Preparação 038_1_W_03054B. **b)** e **k)**:

Preparação 031_1_W_03038B. **e**): Preparação 033_1_W_03052B. **c**): Preparação 025_2_W_03035A. **d**): Preparação 019_2_W_03014A. **f**): Preparação 042_2_W_03044B. **g**): Preparação 025_2_W_03035B. **h**): Preparação 077_1_W_03100B. **i**): Preparação 047_2_W_03074B. **j**): Preparação 031_1_W_03038A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

Leiosphaeridia jacutica (Timofeev, 1966) Mikhailova & Jankauskas

(in Jankauskas et al., 1989)

Figuras: 6a – 6s

- 1966 *Kildinella jacutica*; Timofeev, p. 30, pl. 7, Fig. 2
 1986 *Leiosphaeridia* spp.; Damassa & Knoll, Fig. 5F, H-J
 1989 *Leiosphaeridia jacutica*; Jankauskas et al., p. 77, pl. 12, Fig. 3, 7, 9
 1992 *Leiosphaeridia jacutica*; Butterfield & Chandler, Fig. 5E
 1994 *Leiosphaeridia jacutica*; Butterfield et al., Fig. 16(H)
 1994 *Leiosphaeridia jacutica*; Hofmann & Jackson, p. 22, Fig. 17.1–17.4
 2001 *Leiosphaeridia jacutica*; Sergeev, Fig. 8(7-10)
 2004 *Leiosphaeridia jacutica*; Javaux et al., Fig. 4(A-D, M)
 2005 *Leiosphaeridia jacutica*; Grey, Fig. 63G
 2005 *Leiosphaeridia jacutica*; Marshall et al., Fig. 1(C)
 2010 *Leiosphaeridia jacutica*; Nemerov et al., Fig. 6(8, 9)
 2010 *Leiosphaeridia jacutica*; Prasad et al., Prancha 1.3
 2012 *Leiosphaeridia crassa*; Fairchild et al., Fig. 4C
 2013 *Leiosphaeridia jacutica*; Tang et al., Fig. 4(D)
 2014 *Leiosphaeridia jacutica*; Babu et al., Fig. 3(L)
 2015 *Leiosphaeridia jacutica*; Chiglino et al., Fig. 5(B)
 2015 *Leiosphaeridia jacutica*; Nagovitsin & Kochnev, Fig. 4(43)
 2015 *Leiosphaeridia jacutica*; Tang et al., Fig. 4(F-G); 5(A)
 2015 *Leiosphaeridia jacutica*; Vorob'eva et al., Fig. 7(6)
 2016 *Leiosphaeridia jacutica*; Baludikay et al., Fig. 8(D)
 2016 *Leiosphaeridia jacutica*; Porter & Riedman, Fig. 13(3)
 2016 *Leiosphaeridia jacutica*; Riedman & Porter, Fig. 11.6
 2016 *Leiosphaeridia jacutica*; Sergeev et al., Fig. 4(1, 6-7)
 2016 *Leiosphaeridia jacutica*; Singh & Sharma, Pl. 1, Fig. 9-10
 2017 *Leiosphaeridia jacutica*; Beghin et al., Pl. 2, Fig. C-D
 2017 *Leiosphaeridia jacutica*; Javaux & Knoll, Fig. 4(4-6)
 2017a *Leiosphaeridia jacutica*; Sergeev et al., Fig. 3(1, 9-11)
 2017b *Leiosphaeridia jacutica*; Sergeev et al., pl. I, fig. 5.
 2017 *Leiosphaeridia jacutica*; Tang et al., Fig. 3(D)
 2018 *Leiosphaeridia jacutica*; Sanchez & Fairchild, Fig. 8
 2018 *Leiosphaeridia jacutica*; Anderson et al., p. 12, Fig. 8f-k
 2019 *Leiosphaeridia jacutica*; Adorno, Fig. 16: 13-14
 2019 *Leiosphaeridia jacutica*; Arrouy, Fig. 6B,C
 2020 *Leiosphaeridia jacutica*; Arvestál & Willman, Fig. 6 I, L
 2020 *Leiosphaeridia jacutica*; Knoll et al., Fig. 2B, D, E
 2020b *Leiosphaeridia jacutica*; Pang et al., Fig. 2f
 2020 *Leiosphaeridia jacutica*; Shukla et al., pp. 502–503, Fig. 6I
 2021 *Leiosphaeridia jacutica*; Han et al., Fig. 3a-d
 2022 *Leiosphaeridia jacutica*; Agić et al., Fig. 6A
 2023 *Leiosphaeridia jacutica*; Pandey et al., Fig. 8K-M
 2023 *Leiosphaeridia jacutica*; Toniolo, Fig. 22A-F, 23A-F
 2024 *Leiosphaeridia jacutica*; Denezine, Fig. 3.5
 Para sinonímia adicional veja Jankauskas et al. (1989, p. 80)

Material-tipo: Holótipo: Preparação número 452/1, Laboratório de bioestratigrafia, ЛАГЕД AH CCCP, Coleção Rio Maya, Grupo Lakhanda, suíte Neryuen (Timofeev, 1966; pl. 7, Fig. 2).

Diagnose: “Vesículas largas com paredes grossas, densas, não muito transparentes; dobras compressionais bem definidas, grandes ou pequenas, com formato lanceolar. Diâmetro das vesículas entre 70–800 µm. Espécimes com fenda mediana muito raros, enquanto que vesículas contendo “núcleos” de citoplasma condensado são comuns” (Jankauskas *et al.*, 1989, p. 78; traduzido do russo para o inglês por Arvestål & Willman 2020; tradução livre para o português).

Ocorrência: É muito comum em associações de microfósseis do Pré-Cambriano e do Fanerozoico (Grey, 2005).

Descrição: Vesículas de contornos subcirculares a ligeiramente ovais com diâmetro entre 70 e 800, sem ornamentação, intensamente opacas à luz transmitida. Por vezes apresenta-se com fraturas radiais próximas à margem da vesícula (Fig. 6j). Vesícula comumente colapsada e fragmentada (Fig. 6k). Quase sempre apresenta sinais de corrosão, evidentes em seu contorno externo.

Discussão: Espécie de *Leiosphaeridia* fortemente opaca à luz transmitida, com diâmetro superior à 70 µm. Trata-se do microfóssil orgânico mais bem preservado identificado nas amostras estudadas, devido ao fato que suas vesículas apresentam um formato circular muito mais comumente que as outras espécies, similar ao espécime da Fig. 6o. Este formato é raro de se preservar em amostras metamorfizadas, onde a vesícula é normalmente deformada do seu formato esférico original.

Material analisado: N = 4431 (Apêndice A). Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (Todas as amostras apresentaram exemplares).

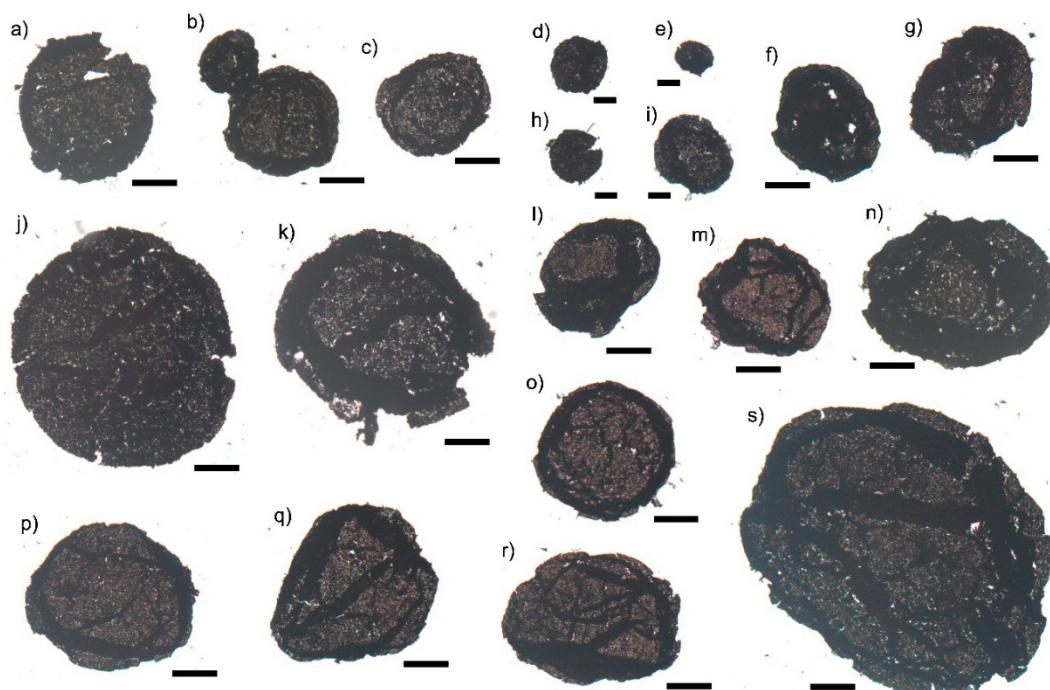


Figura 6: *Leiosphaeridia jacutica* em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 50 µm para d), e), h), i) e 100 µm para a), b), c), f), g), j), k), l), m), n), o), p), q), r), s). a) e b): Preparação 038_1_W_03054A. c) e k): Preparação 033_1_W_03052B. d), j) e h): Preparação 033_1_W_03052A. e), l), m), p), r) e s): Preparação 042_2_W_03044A. f), g), i) e o): Preparação 039_1_W_03042A. n): Preparação 038_1_W_03054B. q): Preparação 039_1_W_03042B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores des cruzados.

Leiosphaeridia minutissima (Naumova, 1949) Jankauskas (in Jankauskas et al., 1989)

Figuras: 7a e 7b

- 1949 *Leiotriletes minutissimus*; Naumova, p. 52, pl. 1, Fig. 1, 2, pl. 2, Fig. 1, 2
 1989 *Leiosphaeridia minutissima*; Jankauskas et al., p. 79, pl. 9, Fig. 1–4, 11
 1992 *Leiosphaeridia minutissima*; Butterfield & Chandler, Fig. 3A-I
 1994 *Leiosphaeridia minutissima*; Hofmann & Jackson, p. 21, Fig. 15.9–15.15
 1999 *Leiosphaeridia minutissima*; Buick & Knoll, p. 756, Fig. 5.3–5.6
 2003 *Leiosphaeridia minutissima*; Gaucher & Germs, Fig. 6.10–6.12
 2005 *Leiosphaeridia minutissima*; Blanco & Gaucher, Fig. 11b
 2005 *Leiosphaeridia minutissima*; Grey, p. 184, Fig. 63D
 2005 *Leiosphaeridia minutissima*; Prasad et al., pl. 9, Fig. 1, 3
 2005a *Leiosphaeridia minutissima*; Gaucher et al., Fig. 6d
 2008 *Leiosphaeridia minutissima*; Gaucher et al., p. 491, Fig. 3a
 2010 *Leiosphaeridia minutissima*; Nemerov et al., Fig. 6.7
 2013 *Leiosphaeridia minutissima*; Tang et al., Fig. 4a
 2015 *Leiosphaeridia minutissima*; Chiglino et al., p. 642, Fig. 5a
 2015 *Leiosphaeridia minutissima*; Nagovitsin & Kochnev, Fig. 4.57–4.58
 2015 *Leiosphaeridia minutissima*; Schopf et al., p. 724, Fig. 13.10
 2015 *Leiosphaeridia minutissima*; Tang et al., Fig. 4c
 2016 *Leiosphaeridia minutissima*; Porter & Riedman, p. 830, Fig. 11.1, 11.5, 11.6
 2016 *Leiosphaeridia minutissima*; Riedman & Porter, Fig. 11.7
 2017 *Leiosphaeridia minutissima*; Agić et al., pp. 110–112, Fig. 8g–h
 2017 *Leiosphaeridia minutissima*; Beghin et al., pl. 2, Fig. g–h
 2017 *Leiosphaeridia minutissima*; Javaux & Knoll, p. 210, Fig. 4.7–4.8
 2017 *Leiosphaeridia minutissima*; Shi et al., Fig. 11.6–11.7
 2017a *Leiosphaeridia minutissima*; Sergeev et al., Fig. 3.13
 2017a *Leiosphaeridia minutissima*; Sergeev et al., pl. 1, Fig. 8.
 2017 *Leiosphaeridia minutissima*; Tang et al., Fig. 3a
 2018 *Leiosphaeridia minutissima*; Javaux & Lepot, Fig. 2e
 2018 *Leiosphaeridia minutissima*; Yin et al., Fig. 4h, 4j, 4l
 2019 *Leiosphaeridia minutissima*; Arrouy et al., Fig. 5a–g, 5j
 ?2019 *Leiosphaeridia minutissima*; Lei et al., Fig. 3.13–3.14
 2019 *Leiosphaeridia minutissima*; Li et al., Fig. 4e
 2019 *Leiosphaeridia minutissima*; Shang et al., p. 24, Fig. 21a
 2020 *Leiosphaeridia minutissima*; Arvestål & Willman, pp. 11–12, Fig. 6c–g
 2020 *Leiosphaeridia minutissima*; Knoll et al., Fig. 2A, C
 2020b *Leiosphaeridia minutissima*; Pang et al., Fig. 2n
 2020 *Leiosphaeridia minutissima*; Shukla et al., p. 502, Fig. 6e, 6k, 6m
 2021 *Leiosphaeridia minutissima*; Golubkova et al., Prancha III (1)
 2021 *Leiosphaeridia minutissima*; Loron et al., Fig. 6.2
 2021b *Leiosphaeridia minutissima*; Morais et al., Fig. 5J–M
 2023 *Leiosphaeridia minutissima*; Pandey et al., Fig. 8H–J
 2023 *Leiosphaeridia minutissima*; Toniolo, Fig. 24A–C
 2024 *Leiosphaeridia jacutica*; Denezine, Fig. 3.1–3.3, 3.7, 3.10
 Para sinonímia adicional veja Jankauskas et al. (1989, p. 86)

Material-tipo: Holótipo: Naumova 1949, Prancha 1, Fig. 1, Cambriano inferior, Formação Lontova, Estônia. Neótipo: LitNIGRI, No. 16-800-2942/9, espécime 2; Bashkirian Peri-Urals.

Drillhole Sergeev-800, 2942,4- 2946,4 m; Ediacariano, Horizonte Redkino, Formação Bashkibashev. (Jankauskas et al., 1989, p.76, Prancha 9, Fig. 5).

Diagnose: “Vesículas esféricas lisas, de tamanho pequeno a médio, com paredes finas, por vezes muito finas. Diâmetro da vesícula de 10–70 µm (usualmente 15–20 µm), holótipo 25 µm, lectótipo 36 µm. Espessura da parede de até 0,7 µm. O contorno é uniforme e circular. Numerosas dobras de compressão tipicamente presentes, randomicamente distribuídas e variando em tamanho e formato” (Jankauskas et al., 1989, traduzido do russo para o inglês por Arvestål & Willman, 2020, tradução livre para o português).

Ocorrência: É muito comum em associações de microfósseis do Pré-Cambriano e do Fanerozoico (Grey, 2005).

Descrição: Vesículas de contornos subcirculares, sem ornamentação, com diâmetro entre 10 e 20 µm. Contém poucas dobras em sua superfície, além de serem menos opacas à luz transmitida do que os espécimes de *L. crassa*, sugerindo que a espessura da sua parede é relativamente mais fina.

Discussão: O basônimo original de *L. minutissima* era *Leiotriletes minutissimus* Naumova, 1949, alterado no diagnóstico de Jankauskas et al. (1989) junto de *L. crassa*. Os espécimes descritos aqui apresentam uma vesícula translúcida com diâmetro menor que 30 µm, com dobras na parede da vesícula que dão um aspecto similar a grãos de pólen a eles.

Material analisado: N = 35 (Apêndice A). Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (014_2_W_03012, 027_1_W_03048, 028_2_W_03049, 043_2_W_03066, 045_1_W_03067, 050_2_W_03068, 052_1_W_03069, 058_3_W_03072, 060_2_W_03073 e 073_1_W_03098).

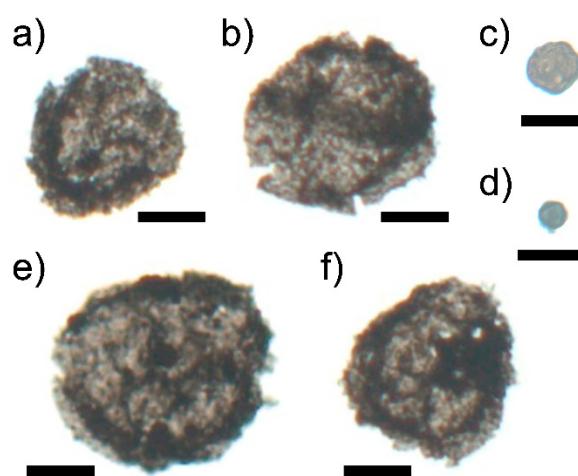


Figura 7: *Leiosphaeridia minutissima* em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 25 µm para todos os espécimes. a), b) e e): Preparação 050_2_W_03068B c): Preparação 045_1_W_03067B. d): Preparação 052_1_W_03069B. f): Preparação 050_2_W_03068A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores desruzados.

Leiosphaeridia tenuissima Eisenack, 1958

Figuras: 8a - 8f

- 1958a *Leiosphaeridia tenuissima* Eisenack, p. 391, pl. 1, Figs. 2, 3
1958b *Leiosphaeridia tenuissima*; Eisenack, pl. 2, Figs. 1, 2
1989 *Leiosphaeridia tenuissima*; Jankauskas et al., p. 81, pl. 9, Figs. 12, 13
1994 *Leiosphaeridia tenuissima*; Butterfield et al., p. 42, Fig. 16i
1994 *Leiosphaeridia tenuissima*; Hofmann and Jackson, p. 22, Fig. 15.16–15.18
1998 *Leiosphaeridia tenuissima*; Zhang et al., p. 32, Fig. 9.7
1998 *Leiosphaeridia* spp. div.; Zhang et al., p. 32, Fig. 9.8, 9.9
1999 *Leiosphaeridia tenuissima*; Turnau and Racki, p. 267, pl. 5, Fig. 1
2000 *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher, p. 68, pl. 11, Fig. 5.
2003 *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher and Germs, Fig. 6.6
2004 *Leiosphaeridia tenuissima*; Javaux et al., Fig. 4j–l
2004 *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher et al., Fig. 4d
2005a *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher et al., p. 549, Fig. 8g–h
2005b *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher et al., Fig. 6a–b, 6e–h.
2005 *Leiosphaeridia tenuissima*; Blanco and Gaucher, Fig. 11a
2005 *Leiosphaeridia tenuissima*; Grey, p. 184, Fig. 63h
2005 *Leiosphaeridia tenuissima*; Marshall et al., Fig. 1d
2005 *Leiosphaeridia tenuissima*; Prasad et al., pl. 1, Fig. 3, pl. 2, Fig. 10, pl. 3, Fig. 15, pl. 4, Fig. 17, pl. 8, Figs. 16, 17
2006 *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher and Germs, p. 207, Figs. 7d, f, g, 8b–f
2007 *Leiosphaeridia tenuissima*; Javaux, Fig. 1.18, 1.19
2008 *Leiosphaeridia tenuissima*; Gaucher et al., p. 491, Fig. 3b–i
2009 *Leiosphaeridia tenuissima*; Stanevich et al., p. 32, pl. 3, Fig. 5
2010 *Leiosphaeridia tenuissima*; Prasad et al., pl. 1, Fig. 1
2010 *Leiosphaeridia tenuissima*; Buick, Fig. 1e
2013 *Leiosphaeridia tenuissima*; Tang et al., Fig. 4c
2014 *Leiosphaeridia tenuissima*; Liu et al., Fig. 101
2014 *Leiosphaeridia tenuissima*; Vorob'eva and Petrov, Fig. 6b
2015 *Leiosphaeridia tenuissima*; Schopf et al., p. 724, Fig. 13.9
2015 *Leiosphaeridia tenuissima*; Nagovitsin and Kochnev, Fig. 4.59
2015 *Leiosphaeridia tenuissima*; Chiglino et al., p. 640, Fig. 4a–c
2015 *Leiosphaeridia tenuissima*; Tang et al., Fig. 4e
2015 *Leiosphaeridia tenuissima*; Vorob'eva et al., Fig. 7.8
2016 *Leiosphaeridia tenuissima*; Baludikay et al., Fig. 8f
2016 *Leiosphaeridia tenuissima*; Porter and Riedman, p. 834, Fig. 13.4
2016 *Leiosphaeridia tenuissima*; Sergeev et al., Fig. 4.2
2016 *Leiosphaeridia tenuissima*; Singh and Sharma, p. 81, pl. 1, Figs. 12, 15
2017 *Leiosphaeridia tenuissima*; Beghin et al., pl. 2, Fig. j
2017 *Leiosphaeridia tenuissima*; Tang et al., Fig. 3b
2017 *Leiosphaeridia tenuissima*; Agić et al., p. 112, Fig. 8d, f
2017 *Leiosphaeridia tenuissima*; Suslova et al., Fig. 3.13, 3.14
2017a *Leiosphaeridia tenuissima*; Sergeev et al., Fig. 3.12
2017b *Leiosphaeridia tenuissima*; Sergeev et al., pl. 1, Figs. 7, 9
2019 *Leiosphaeridia tenuissima*; Anderson et al., p. 512, Figs. 8l, m, 15k
2019 *Leiosphaeridia tenuissima*; Arrouy et al., Figs. 6a, 7a–d
2019 *Leiosphaeridia tenuissima*; Li et al., Fig. 4g
2019 *Leiosphaeridia tenuissima*; Tang et al., Fig. 1.2–1.5
2019 *Leiosphaeridia tenuissima*; Wan et al., Fig. 4f
2020 *Leiosphaeridia tenuissima*; Arvestål and Willman, p. 12, Fig. 6a, b
2020 *Leiosphaeridia tenuissima*; Shukla et al., p. 502, Fig. 6a–d, 6f
2020b *Leiosphaeridia tenuissima*; Pang et al., Fig. 2c
2021 *Leiosphaeridia tenuissima*; Han et al., Fig. 3e
2021 *Leiosphaeridia tenuissima*; Tang et al., Fig. 9a
2021 *Leiosphaeridia tenuissima*; Loron et al., Fig. 6.1, 6.3
2023 *Leiosphaeridia tenuissima*; Golubkova et al., pl. 1, Figs. 4, 5, pl. 6, Fig. 2
2023 *Leiosphaeridia tenuissima*; Toniolo, Fig. 25A-B
2024 *Leiosphaeridia tenuissima*; Denezine et al., Fig. 3.9, 3.13
Para sinonímia adicional veja Eisenack (1958, p. 391)

Material-tipo: Holótipo: Preparação A3, número 4, retirado do folhelho Dictyonema, Ordoviciano Báltico, Nikolskaya, sudeste de Leningrado (Eisenack, 1958a, Prancha 1, Fig. 2).

Diagnose: “Vesículas com paredes extremamente finas e delicadas, cristalinas e translúcidas, sem poros nas paredes da vesícula; apenas preservado de uma maneira colapsada em um formato de discos quase circulares. Tamanho aproximado de 100 µm” (Eisenack, 1958a, traduzido do alemão para o inglês por Denezine *et al.*, 2024; tradução livre para o português).

Ocorrência: É muito comum em associações de microfósseis do Pré-Cambriano e do Fanerozoico (Grey, 2005).

Descrição: Vesículas de contornos subcirculares a ligeiramente ovais, sem ornamentação e com diâmetro entre 154 e 225 µm, ligeiramente menos opacas à luz transmitida do que *L. jacutica*, com dobras usualmente mais finas também. Não apresenta cicatriz de rompimento do cisto, inclusões celulares, evidência de divisão celular nem corpos internos.

Discussão: A opacidade das vesículas não é um critério confiável para acessar a espessura da parede dos acritarcos, embora seja o único critério para distinguir algumas espécies de Leiosphaeridia (Jankauskas *et al.*, 1989) Como observado por Butterfield *et al.* (1994) na Formação Svangerfjellet (Neoproterozoico, Noruega), vesículas de *L. jacutica* podem adquirir aspecto evanescente por efeito da dissolução química.

Material analisado: N = 245 (Apêndice A). Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (012_2_W_03011, 014_2_W_03012, 021_2_W_03015, 017_2_W_03020, 027_1_W_03036, 028_2_W_03037, 040_2_W_03043, 027_1_W_03048, 030_1_W_03051, 043_2_W_03066, 045_1_W_03067, 050_2_W_03068, 054_1_W_03070, 056_2_W_03071, 058_3_W_03072, 060_2_W_03073, 064_2_W_03093, 068_1_W_03095, 070_2_W_03096 e 073_1_W_03098).

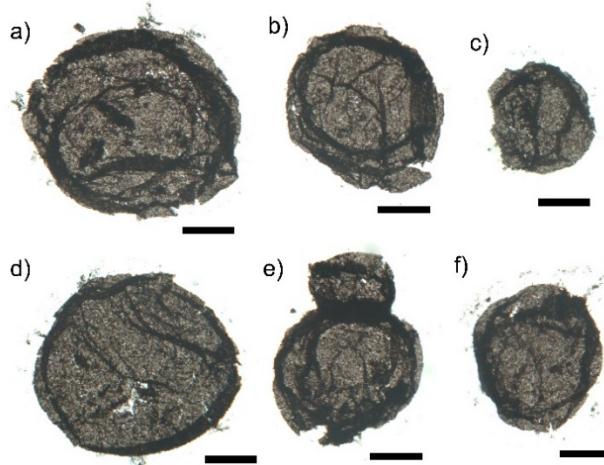


Figura 8: *Leiosphaeridia tenuissima* em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 100 µm para todos os espécimes. a), b), c) e d): Preparação 060_2_W_03073A.

e) e f): Preparação 060_2_W_03073B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

Reino, Filo, Classe, Ordem e Família *incertae sedis*

Gênero *Germinosphaera* Mikhailova 1986 *emend.* Miao, et al., 2019

Espécie-tipo: *Germinosphaera bispinosa* Mikhailova, 1986

Diagnose: “Vesículas esferoidais, com contorno em formato de gotas a levemente irregulares, possui uma vesícula em psilatas com uma parede pouco esculpida possuindo um a múltiplos processos. Processos são simples, tubulares e ocasionalmente se ramificando nas pontas. Processos, caso haja mais de um, são distribuídos irregularmente pela parede da vesícula e estão predominantemente distribuídos pelo plano equatorial da vesícula.” (Miao et al., 2019; tradução livre).

Discussão: Duas espécies foram originalmente descritas para o gênero *Germinosphaera* por Mikhailova (1986), *Germinosphaera unispinosa* e *Germinosphaera bispinosa*, com mais duas adicionais descritas por Jankauskas et al. (1989), *Germinosphaera guttaformis* e *Germinosphaera tadasii*. Sendo distinguidas pelo número de processos assim como pela natureza da vesícula, Butterfield et al. (1994) consideraram a possibilidade destes processos serem semelhantes aos diferentes estágios de crescimento de zoósporos, emendando assim o diagnóstico do gênero assim como de *G. unispinosa* com *G. bispinosa*. Miao et al. (2019) complementaram a emenda do diagnóstico do gênero, assim como observaram que o diâmetro de vesículas de *G. tadasii* e *G. jankauskasi* se sobreponha com *G. bispinosa*. Atualmente, três espécies deste gênero são válidas: *Germinosphaera bispinosa* Mikhailova, 1986, *Germinosphaera guttaformis* Jankauskas et al., 1989, e *Germinosphaera alveolata* Miao et al., 2019 (Miao et al., 2019).

Germinosphaera sp.

Figuras: 9a – 9l

?2005 *Germinosphaera* sp.; Grey: Fig. 62 A
?2019 *Germinosphaera* sp.; Lehn et al., Fig. 3 G-J
?2019 *Germinosphaera bispinosa*; Li et al., Fig. 10 D, F, G
?2019 *Germinosphaera bispinosa*; Miao et al., Fig. 5 d-f
?2023 *Germinosphaera* sp.; Toniolo; Fig. 26 A, B, C, D
?2024 *Germinosphaera bispinosa*; Denezine et al., Fig. 3, 4, 8, 11

Material-tipo: Holótipo: Número 882/2 da região de Krasnoyarsk, rio Uderei; Ripheano superior, Formação Dashkin (Mikhailova, 1986, fig. 6).

Ocorrência: É muito comum em associações de microfósseis do Proterozoico superior e do Paleozoico (Miao et al., 2019).

Descrição: Vesículas sem ornamentação (i.e. “psilatas”), esféricas com diâmetro entre 76 e 406 µm, com um único processo tubular, fragmentado, com largura entre 10 e 107 µm e comprimento entre 17 e 219 µm, que parte da margem (equatorial) da vesícula e corresponde a 11% até 126% do diâmetro dela. Podem apresentar dobras de compressão finas ou espessas, distribuídas randomicamente ou próximas à margem equatorial (Fig. 9g e 9j). Fraturas radiais estão presentes ao longo da margem da vesícula em alguns exemplares (Fig. 9d e 9e).

Discussão: O diâmetro das vesículas dos espécimes descritos pode ser dividido em dois grupos principais: menores ou iguais a 100 µm (Fig. 9b, c, d, i), e maiores que 100 µm (Fig. 9a, e, f, g, h, j, k, l). Vale ressaltar que o diâmetro da vesícula não é uma característica diagnóstica para diferenciar espécies deste gênero (Miao *et al.*, 2019). O comprimento e largura dos processos não apresenta nenhum diagnóstico de acordo com os grupos de diâmetro das vesículas, sendo mantido apenas uma nomenclatura aberta para os espécimes descritos aqui. Da mesma maneira, essas características morfológicas não foram específicas o suficiente para incluir estas espécies sobre o gênero *Lagoenaformae*, especialmente pelo formato diferente do processo único.

Material analisado: N = 216 (Apêndice A). Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (Todas as amostras apresentaram exemplares, exceto as amostras 036_2_W_03041 e 077_1_W_03100).

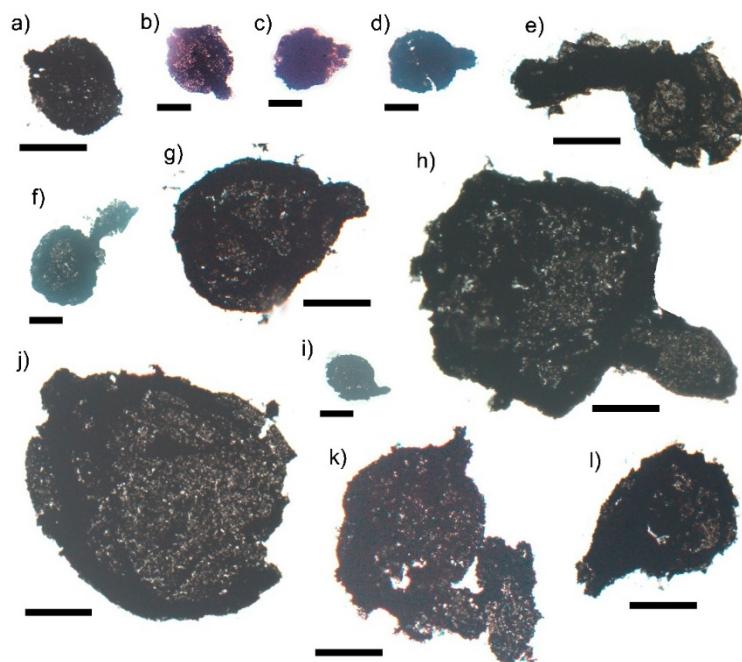


Figura 9: *Germinosphaera* sp. em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 50 µm para b), c), d), f), i) e 100 µm para a), e), g), h), j), k), l). a): Preparação 033_1_W_03052A. b): Preparação 029_2_W_03050A c): Preparação 029_2_W_03050B. d): Preparação 031_1_W_03038A. e) e f): Preparação 060_2_W_03073A. g) e k): Preparação 039_1_W_03042A. h): Preparação 038_1_W_03054A. i): Preparação 058_3_W_03072A. j): Preparação 038_1_W_03054B. l): Preparação 019_2_W_03014B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

Reino, Filo, Classe, Ordem e Família *incertae sedis*
Gênero *Lagoenaforma* Agić et al., 2022

Espécie-tipo: *Lagoenaforma collaris* Agić et al., 2022

Diagnose: “Vesículas ovais a alongadas com uma protrusão semelhante a um pescoço. A base do pescoço é levemente mais larga. Os pescoços são abertos distalmente e terminam se alargando para fora; nunca afunilando-se. Estes pescoços podem chegar a 1/3 do comprimento total da vesícula. A textura da parede é lisa a enrugada.” (Agić et al., 2022; tradução livre).

Discussão: O gênero *Lagoenaforma* foi descrito a partir de 10 espécimes encontrados nas Formações Stáhpogieddi (Noruega), Dabis (Namíbia) e Gibbett Hill (Newfoundland, Canadá), datados do Ediacarano superior (Agić et al., 2022). Sua afinidade biológica ainda se mantém incerta, porém apresenta similaridades com microfósseis similares a chitinozoas do Neoproterozoico do Irã e China (Sabouri et al., 2003; Zang, 1988), e com microfósseis mineralizados em formato de vaso (VSM’s) da Formação Urucum no Brasil (Morais et al., 2017). Pela similaridade deste gênero com o táxon de *Germinosphaera*, seu diagnóstico se mostrou difícil. Jankauskas et al. (1989) descreveram a espécie de *G. guttaformis*, a qual possui um processo de formato similar ao “pescoço” de *Lagoenaforma*, os espécimes descritos aqui se diferenciam desta espécie pelo seu corpo mais alongado (Fig. 10c, d, f, g, h, i) e textura da parede “enrugada” (Fig. 10a).

Lagoenaforma sp.

Figuras: 10a – 10g

? cf. 1988 ‘chitinozoan-like microfossil, Form II’; Zang, pl. 16, figs A, B
?1989 *Germinosphaera guttaformis*; Jankauskas et al., pl. 47, fig. 7
?2003 ‘Chitinozoa-like microfossils’; Sabouri et al., pl. 3, fig. 10
?2022 *Lagoenaforma collaris*; Agić et al., Fig. 5a-c

Material-tipo: Holótipo: TSGf18449c 78×15, amostra D16-HA-80 (Fig. 5a) do Membro Indreelva Ediacarano, Formação Stáhpogieddi, Grupo Vestertana na Noruega (Agić et al., 2022).

Ocorrência: Folhelhos e siltitos Ediacaranos do Membro Indreelva, Formação Stáhpogieddi, Grupo Vestertana na Noruega; Membro Mara, Formação Dabis, Grupo Nama na Namíbia; Formação Gibbett Hill, Grupo Signal Hill em Newfoundland, Canadá (Agić *et al.*, 2022) e Formação Tamengo, Grupo Corumbá, Brasil, presente trabalho.

Descrição: Vesículas elipsoidais a alongadas com comprimento total, contando o “pescoço”, de 65 a 625 µm. O “pescoço” possui um comprimento entre 17 e 307 µm, e largura entre 10 e 83 µm, com os comprimentos sendo em sua maioria todos próximos a um terço do comprimento total da vesícula, exceto o espécime encontrado na preparação 060_2_W_03073A.12, que possui um “pescoço” com metade do comprimento total da vesícula (Fig. 10b). Alguns espécimes apresentam uma parede com textura enrugada (Fig. 10a, d), além de apresentarem o “pescoço” com a mesma largura da vesícula (Fig. 10d).

Discussão: Parte dos espécimes apresentam uma vesícula principal circular (Fig. 10a, b, e, f, i, j), diferenciando do diagnóstico original de Agić *et al.* (2022) onde a vesícula principal é alongada a elipsoidal. Se concluiu a classificá-los como *Lagoenaforma* sp. devido ao único processo de formato similar ao “pescoço” do gênero, além da textura enrugada predominante ao longo da parede da vesícula. Este “pescoço” possui um comprimento entre um terço à metade do comprimento total da vesícula, e apresenta uma terminação mais alargada que o corpo dele. O restante dos espécimes encontrados é semelhante ao diagnóstico original (Fig. 8d, g, h, k), com um deles apresentando dimensões similares (Fig. 10c). Agić *et al.* (2022) identificaram este gênero na Formação Dabis, Grupo Nama, unidade correlata à Formação Tamengo. Este gênero é aqui descrito pela primeira vez no Grupo Corumbá.

Material analisado: N = 11. Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (010_1_W_03010, 019_2_W_03014, 028_2_W_03037, 031_1_W_03038, 056_2_W_03071, 058_3_W_03072, 060_2_W_03073, 047_2_W_03074, 070_2_W_03096 e 062_1_W_03097).

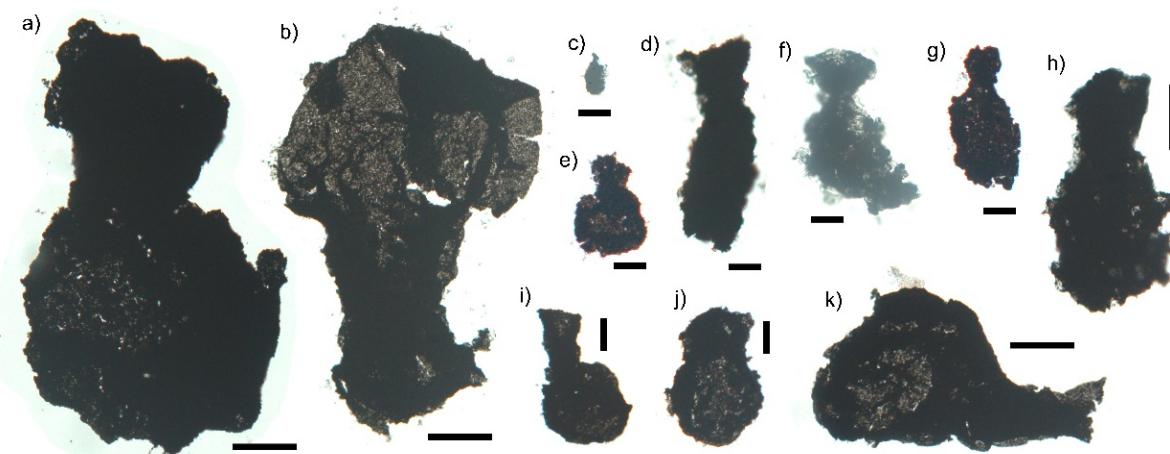


Figura 10: *Lagoenaforma* sp. em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 50 µm para c), d), e), f), g), i), j) e 100 µm para a), b), h), k). a): Preparação 058_3_W_03072A. b): Preparação 060_2_W_03073A c): Preparação 047_2_W_03074B. d): Preparação 047_2_W_03074A. e): Preparação 031_1_W_03038B. f): Preparação 062_1_W_03097B. g): Preparação 019_2_W_03014A. h): Preparação 070_2_W_03096B. i): Preparação 010_1_W_03010B. j): 028_2_W_03037B. k): 056_2_W_03071B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

Reino, Filo, Classe, Ordem e Família *incertae sedis*
Gênero *Asseserium* Moczydłowska & Nagovitsin, 2012

Espécie-tipo: *Asseserium diversum* Moczydłowska & Nagovitsin, 2012

Diagnose: “Microfósseis de parede orgânica, resistentes a ácidos, com vesículas de formatos ovais a alongadas possuindo um pequeno número de processos heteromórficos localizados em lados opostos da vesícula. Os processos são cônicos e seu número, normalmente 2, define a polaridade da vesícula, com cada processo afunilando em direção a ponta. Ocasionalmente as pontas dos processos podem ser divididas em pequenos ramos” (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012; tradução livre).

Discussão: Vorob'eva et al. (2009) descreveu um novo gênero *Galeasphaeridium* com formato e simetria muito similar ao *Asseserium*, Formação Vychegda Rússia (Vorob'eva et al., 2009, Fig. 4I), porém não foram atribuídas a nenhuma das espécies aqui descritas. A espécie-tipo de Moczydłowska & Nagovitsin (2012) descreve uma vesícula menor (20 – 50 µm) que as descritas neste trabalho, porém a polaridade dos processos nas extremidades opostas da vesícula é extremamente visível, característico ao diagnóstico (Fig. 11a, e).

Asseserium fusulentum

Figuras: 11a, 11d, 11e

cf. 1992 *Leiofusa bicornuta*; Zang and Walter, p. 286, pl. 7, fig. K.

cf. 2009 *Galeasphaeridium bicorporis*; Vorob'eva et al., figs. 10.6 – 10.10

cf. 2012 *Asseserium fusulentum*; Moczydłowska and Nagovitsin, p. 13, figs. 5E – F.

cf. 2022 *Asseserium fusulentum*; Morais et al., fig. 5B

2024 *Asseserium fusulentum*; Agić et al., p. 7, Fig. 4B.

Material-tipo: Holótipo: amostra PN8/16-3, Fig. 5F, p. 13. Siberia oriental, Formação Ura, Ediacarano superior (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012).

Ocorrência: Ediacarano médio a inferior da Formação Ura, Sibéria, Rússia (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012), Formação Bocaina, Grupo Corumbá, Brasil (Morais et al., 2022) e Formação Nyborg, Noruega (Agić et al., 2024).

Descrição: Vesículas elipsoidais a ovais com comprimento total, incluindo os processos, de 100 a 520 µm. Processos estão presentes sobre ambos os pólos da vesícula com um comprimento de 15 a 35 µm e uma espessura sobre a base de 28 a 55 µm. Apenas 2 processos são observados pelos espécimes encontrados, com o formato afunilado sendo mais representativo sobre o exemplar 042_2_W_03044A (Fig. 11e).

Discussão: Espécies da Formação Nyborg de *Asseserium fusulentum* já foram descritos com uma dupla membrana na vesícula, característica que não ocorre em nenhuma outra espécie já descrita (Agić *et al.*, 2024). Os espécimes descritos sobre este trabalho apresentam um tamanho significativamente maior que os descritos por Moczydłowska & Nagovitsin (2012), com um deles apresentando processos que não se afunilam até a base (Fig. 11A), porém espécimes descritos no Grupo Corumbá apresentam certos processos que também não se afunilam sobre as pontas (Morais *et al.*, 2021a, p. 8, Fig. 5C). Essa espécie é aqui descrita pela primeira vez na Formação Tamengo, Grupo Corumbá. A continuação da assembleia de acritarcos da Formação Bocaina descrita por Morais *et al.*, (2021a) para a Formação Tamengo ainda merece ser discutida.

Material analisado: N = 3. Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (060_2_W_03073, 045_1_W_03067 e 042_2_W_03044).

Asseserium cf. pyramidalis

Figuras: 11b, 11c

1998 *Veryhachium* sp.; Faizullin, pl. 2, fig. 7.

2010 gen. et sp. indet.; Golubkova *et al.*, plate IV, fig. 4.

2012 *Asseserium pyramidalis*; Moczydłowska and Nagovitsin, p. 13, fig. 5G.

2024 *Asseserium pyramidalis*; Agić *et al.*, p. 7, Fig. 4C.

Material-tipo: Holótipo: amostra PN8/4-17/3-5, Fig. 5G, p. 13. Siberia oriental, Formação Ura, Ediacarano superior (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012).

Ocorrência: Ediacarano médio a inferior da Formação Ura, Sibéria, Rússia (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012), e Formação Nyborg, Noruega (Agić *et al.*, 2024).

Descrição: Vesículas triangulares a circulares com um diâmetro de 30 a 80 µm. Processos triangulares possuem um espaçamento semelhante ao longo da borda da vesícula, com um comprimento de 6 a 15 µm e uma espessura sobre a base de 7 a 15 µm. Para ambos os espécimes descritos há três processos localizados pela borda da vesícula.

Discussão: Os espécimes descritos possuem um tamanho similar aos descritos por Moczydłowska & Nagovitsin (2012), além de possuírem um formato similar às espécies descritas por Agić *et al.* (2024). *Asseserium cf. pyramidalis* já foi descrita na Formação

Bocaina (Morais et al., 2021a) e é pela primeira vez aqui descrita para a Formação Tamengo. A continuação da assembleia de acritarcos da Formação Bocaina descrita por Morais et al. (2021a) para a Formação Tamengo ainda merece ser investigada.

Material analisado: N = 2. Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (035_1_W_03040 e 029_2_W_03050).

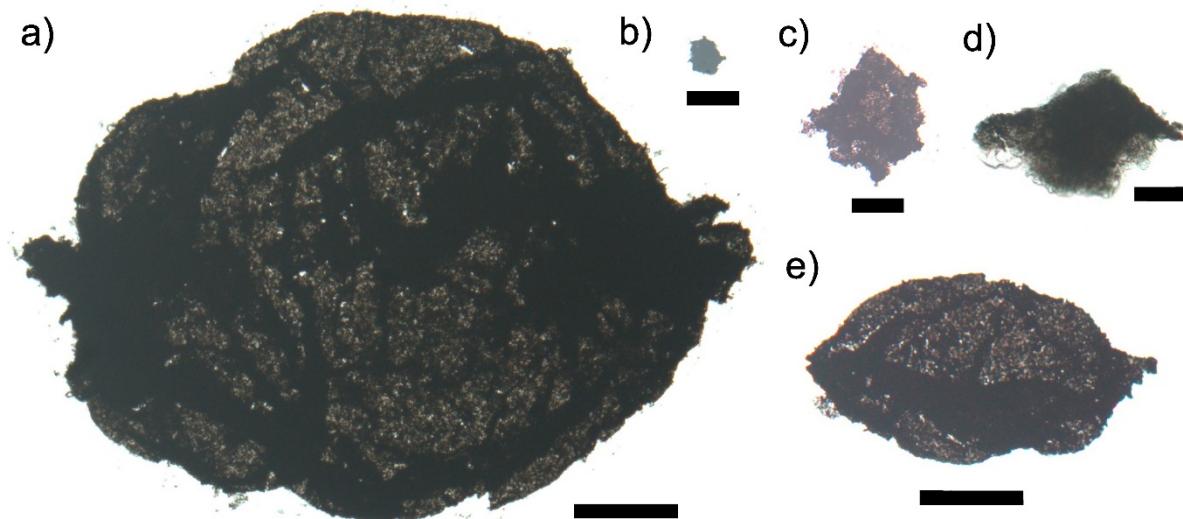


Figura 11: *Asseserium* sp. em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 50 µm para b), c) e 100 µm para a), d), e). *Asseserium fusulentum* representado por a): Preparação 1-060_2_W_03073, d): Preparação 045_1_W_03067A e e): Preparação 042_2_W_03044A, *Asseserium* cf. *pyramidalis* representado por b): Preparação 035_1_W_03040B e c): Preparação 029_2_W_03050B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados

Domínio Eucarya Woese et al., 1990

Reino, Filo, Classe, Ordem e Família incertae sedis

“Microfósseis vasiformes”

Figuras: 12a e 12b

Descrição: Duas testas bulbosas constituídas por uma vesícula de aparência mineral sobre o microscópio de luz transmitida (possivelmente compostas de micrita calcítica). Ambas as testas apresentam resíduos de matéria orgânica amorfa fixada sobre a superfície da parede, dando a elas uma característica semelhante aos outros microfósseis de parede orgânica encontrados nas amostras da Formação Tamengo. As testas possuem um comprimento total de 100 a 125 µm, e uma largura de 101 a 133 µm, com estruturas similares aos pescoços de VSM's com um comprimento de 50 µm e uma largura entre 62 e 80 µm.

Discussão: Microfósseis vasiformes de idade Criogeniana já foram descritos no Grupo Jacadigo, Brasil (Morais et al., 2017; 2019; 2021b). Similares a outros VSM's do

Toniano/Criogeniano, esses espécimes são amplamente aceitos como amebas testadas inseridas no super grupo Arcellinida (Porter *et al.*, 2003; Morais *et al.*, 2017; Lahr *et al.*, 2019). Os microfósseis vasiformes neste trabalho são de idade Ediacarana e, portanto, sua afinidade biológica pode possivelmente ser diferente dos microfósseis Tonianos/Criogenianos da literatura (Toniolo, 2023). Chai *et al.* (2021) interpretam a afinidade biológica de microfósseis vasiformes do final do Ediacarano como Foraminifera (Rhizaria).

Os microfósseis interpretados como VSM's encontrados na Formação Tamengo não puderam ser atribuídos a nenhum táxon devido ao seu baixo número de exemplares, e difícil identificação de preservação sobre biominalização de sílica, ferramenta utilizada na identificação de VSM's. Eles apresentam leve similaridade a gêneros de *Protolagena*, Zhang & Li, 1991, e *Sicylagena* Zhang, 1994, descritos no Grupo Ibor (península ibérica; Cortijo *et al.*, 2015) e na Formação Dengying (Sul da China; Chai *et al.*, 2021), porém o tamanho da testa é显著mente menor nos exemplares da Formação Tamengo.

Material analisado: N = 2. Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (045_1_W_03067 e 062_1_W_03092).

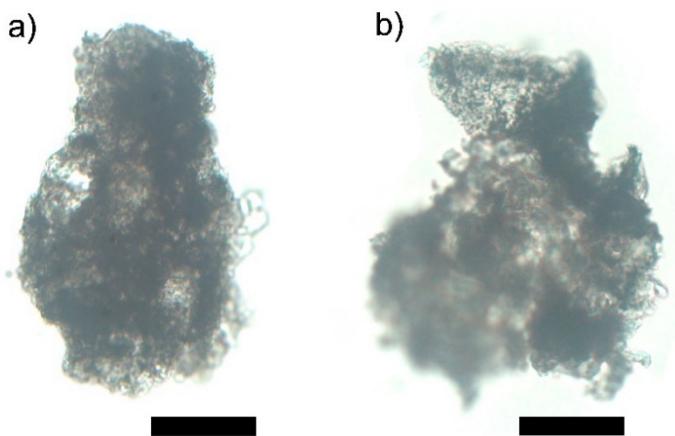


Figura 12: Microfósseis vasiformes em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 25 µm para todos os espécimes. **a)**: Preparação 045_1_W_03067B. **b)**: Preparação 062_1_W_03092A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores desruzados.

5.2. Palinomorfos Não Identificados

Os microfósseis orgânicos que não puderam ser classificados dentro da nomenclatura comum de espécimes já existentes, foram descritos em grupos individuais, classificados a partir da sua similaridade corporal. Se viu necessário diferenciá-los da paleontologia sistemática devido a seu difícil diagnóstico exato dentro de gêneros e espécies já existentes, seja pela sua degradação ou pela sua similaridade com mais de um espécime na bibliografia.

5.2.1. Fragmentos de Macroalga

Os palinomorfos classificados como fragmentos de macroalga são de extrema importância para a discussão paleoambiental e tafonômica da Formação Tamengo. Esses fragmentos são semelhantes a mais de uma espécie de macroalgas descritas no Grupo Corumbá, como *Vendotaenia antiqua* (Zaine, 1991; Gaucher *et al.*, 2003; Adorno, 2019; Amorim *et al.*, 2020; Toniolo, 2023), *Tamengophyton espinosa*, *Ladariella hidria* e *Ladariophyton veinosa* na Formação Tamengo (Diniz *et al.*, 2021).

Os fragmentos em questão apresentam um formato retilíneo a achatado com um formato retangular a de fita, com alguns apresentando um formato mais similar a filamentos agregados (Fig. 13a). A superfície das paredes muitas vezes apresenta uma textura filamentosa com estruturas alongadas que percorrem a superfície da vesícula (Fig. 13n). Estão preservados em compressões carbonosas, comumente opacas, com a cor do microfóssil podendo representar a espessura dos fragmentos. O comprimento destes fragmentos varia entre 122 e 1000 µm e com uma espessura entre 33 e 190 µm.

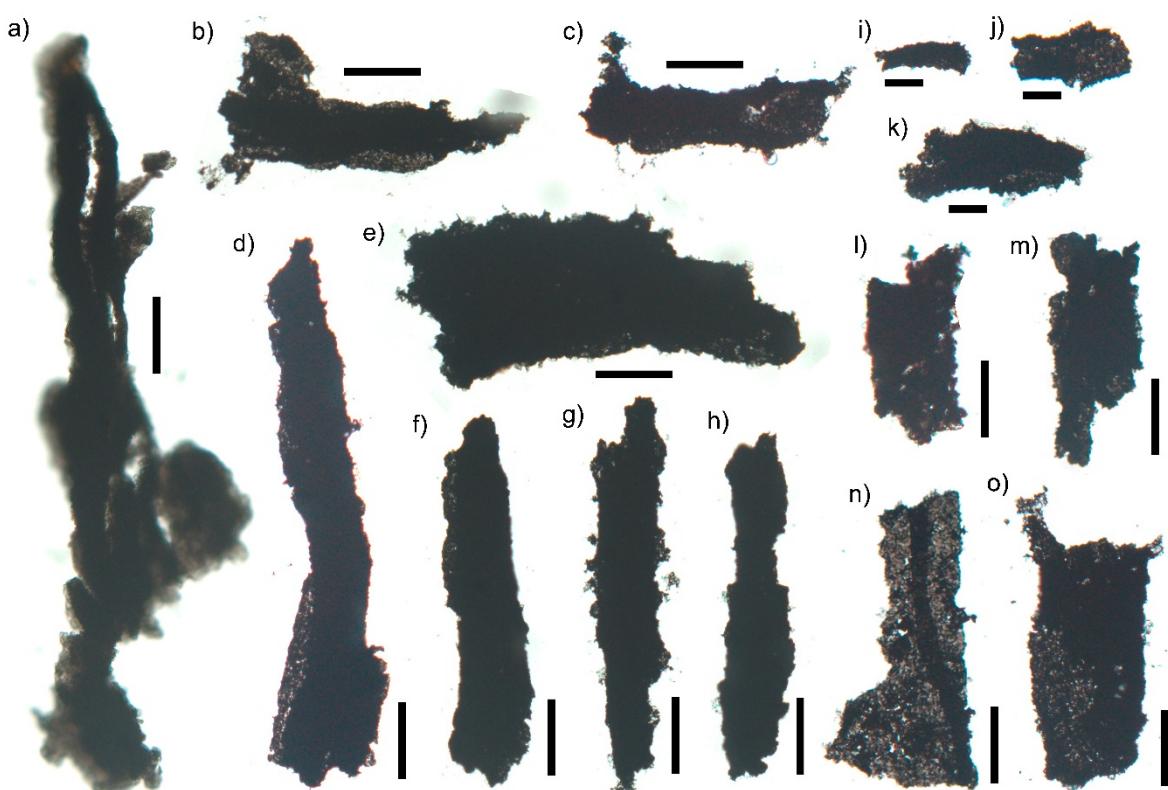


Figura 13: Fragmentos de Macroalga em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 50 µm para i), j), k) e 100 µm para a), b), c), d), e), f), g), h), l), m), n), o). a): Preparação 075_2_W_03099B. b): Preparação 060_2_W_03073B. c): Preparação 039_1_W_03042A. d): Preparação 042_2_W_03044B. e): Preparação 062_1_W_03097A. f) e g): Preparação 058_3_W_03072A. h): Preparação 058_3_W_03072B. i): Preparação 025_2_W_03035A. j) e m):

Preparação 019_2_W_03014A. **k**): Preparação 019_2_W_03014B. **l**): Preparação 025_2_W_03035B. **n**): Preparação 039_2_W_03055C. **o**): Preparação 033_1_W_03052A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

Devido ao seu alto grau de alteração e baixa preservação total desses microfósseis, a identificação taxonômica desses fragmentos se torna mais problemática. Ainda assim, a probabilidade desses fragmentos pertencerem às macroalgas já descritas na Formação Tamengo é mais provável. Toniolo (2023) propôs a similaridade de microfósseis semelhantes a esses fragmentos com o gênero *Siphonophycus*, no entanto sua espessura é normalmente menor que os exemplares encontrados na Formação Tamengo. Macroalgas como *Vendotaenia antiqua* são comuns na unidade estudada (Zaine, 1991; Gaucher et al., 2003; Adorno, 2019; Amorim et al., 2020) com alguns exemplares deste trabalho indicando a estrutura de fita desta espécie (Fig. 13a).

Estes microfósseis são encontrados de maneira escassa ou abundante ao longo das amostras. O fato de serem preservados apenas como fragmentos pode indicar o ambiente de preservação em que eles foram depositados, onde caso seu ambiente fosse de baixa energia em condições de *offshore* as macroalgas poderiam ser preservadas de uma maneira menos fragmentada (Diniz et al., 2021). Foram observadas um número total N = 938 (Apêndice A) de fragmentos de macroalgas ao longo da Formação Tamengo.

5.2.2. Formas não identificadas

Os palinomorfos que não foram identificados dentro da literatura atual de gêneros e espécimes, ou como fragmentos de espécies existentes, foram classificados como “morfotipos não identificados”. Dentro desse grupo os palinomorfos foram divididos em três subgrupos a partir de suas semelhanças: Morfotipos com processos triangulares, e Morfotipo não identificado. Seguiu-se o formato de descrição da paleontologia sistemática para a caracterização destas formas, com o objetivo de padronizar a descrição e discussão dos microfósseis neste trabalho.

“Morfotipos com processos triangulares”

Figuras: 14a – 14h

Descrição: Vesículas esferoidais a elipsoidais com um diâmetro entre 7 e 128 µm. Apresentam processos cônicos a triangulares preservados sobre as bordas das vesículas (Fig. 14a, b, c, g), com um comprimento entre 1 e 25 µm, em alguns casos estes processos podem apresentar uma bifurcação em sua ponta (Fig. 14b, g). O número de processos em cada espécime pode variar entre 3 e 6 processos, assim como a sua distribuição ao longo da

vesícula, em alguns casos permanecendo concentrado em apenas um lado da vesícula (Fig. 14a, d).

Discussão: A descrição original de Mikhailova (1986) para o gênero *Germinosphaera* incluía espécies com mais de um processo, porém os exemplares deste subgrupo apresentam processos que fogem do padrão tubular proposto para esse gênero. Durante a metade do Ediacarano houve uma explosão de acritarcos com ornamentação, ou acantomórficos, descritos em uma biozona conhecida como *Ediacaran Complex Acritarch Palynoflora* (ECAP) (Grey, 2005; Gaucher & Sprechmann, 2009). O morfotipo descrito neste subgrupo pelos exemplares das Figuras 14a, b, c, g, apresentam similaridades com o gênero *Tanarium* Kolosova, 1991, um dos mais abundantes da ECAP, especialmente espécimes de *Tanarium tuberosum* Moczydłowska *et al.*, 1993 que possuem os respectivos processos triangulares/cônicos (Moczydłowska, 2016, pl. 3, Fig. 1, 2, 3). Acritarcos acantomórficos do gênero *Tanarium* já foram descritos no Grupo Corumbá (Morais *et al.*, 2021a), porém a sua continuidade para formações mais jovens ainda é ambígua. O restante dos exemplares (Fig. 14d, e, f, h) apresentam dimensões de vesícula e processos menores, o que dificulta a sua inclusão sobre a hipótese anterior, porém suas similaridades a grupos acantomórficos de acritarcos ainda é explícita.

Material analisado: N = 8. Amostras provenientes do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (035_1_W_03040, 038_1_W_03054, 052_1_W_03069, 060_2_W_03073 e 062_1_W_03092).

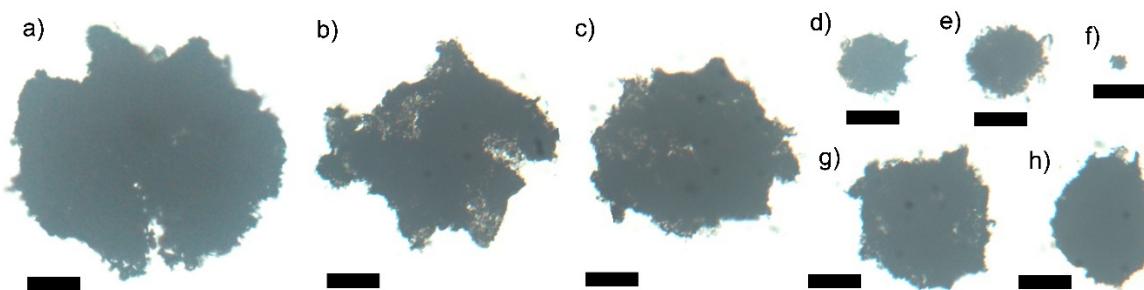


Figura 14: “Morfotipos com processos triangulares” em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivalem a 25 µm para todos os espécimes. **a)**: Preparação 035_1_W_03040B. **b) e c)**: Preparação 062_1_W_03092B. **d) e e)**: Preparação 060_2_W_03073A. **f)**: Preparação 052_1_W_03069B. **g)**: Preparação 038_1_W_03054A. **h)**: Preparação 062_1_W_03092A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores desruzados.

“Morfotipo não identificado”

Figura: 15

Descrição: Uma vesícula de formato elipsoidal com comprimento total, sem contar processos, de 243 µm. Um processo túbico alongado, com a extremidade lisa e arredondada, com um comprimento de 60 µm. A parede da vesícula é predominante lisa, com 6 “grômulos” caracterizados por protuberâncias na extremidade da vesícula, com um comprimento entre 15 e 40 µm.

Discussão: Este exemplar apresenta uma similaridade corporal geral com o gênero *Germinosphaera*, porém seu processo e “grômulos” apresentam características diferentes de qualquer espécime de *Germinosphaera* descrita neste trabalho ou em outros trabalhos da Formação Tamengo (Hidalgo, 2002; Tobias, 2014; Adorno, 2019; Toniolo, 2023).

Material analisado: N = 1. Amostra proveniente do testemunho de sondagem 5064-3B-GRIND, seção Corcal, Formação Tamengo (042_2_W_03044).



Figura 15: “Morfotipo não identificado” em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barra de escala equivale a 100 µm. Preparação 042_2_W_03044A. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

5.3. Tafonomia e Preservação

Os microfósseis descritos no presente trabalho apresentam diversas estruturas e preservação de ultraestruturas causadas pelo processo de fossilização na Formação Tamengo. Processos tafonômicos levaram a característica coloração opaca a luz transmitida, assim como a impregnação por pirita das suas vesículas, tais quais também sofreram colapso por processos diagenéticos de soterramento.

5.3.1. Estruturas superficiais

Certas estruturas superficiais podem demonstrar processos que ocorreram logo após o soterramento dos microfósseis, algumas destas incluem: dobras nas paredes da vesícula, buracos de dissolução, achatamento da vesícula, e bordas serrilhadas por meio de fragmentação. A Figura 16 apresenta as principais estruturas superficiais relacionadas a processos tafonômicos, junto de um processo de fragmentação.

As dobras nas vesículas são distribuídas tanto concentricamente (Fig. 16c) como no interior da vesícula circular (Fig. 16a), sendo causadas pela sobreposição da vesícula originalmente esférica após colapso e expulsão do material protoplasmático (Toniolo, 2023).

A morfologia das dobras não segue um padrão para todas os exemplares, sendo tanto estiradas como circulares. Buracos causados pela dissolução diagenética também estão presentes sobre a parede das vesículas, sendo observados até em dobras nas paredes da vesícula (Fig. 16b, d, f, h). Tais processos diagenéticos, podem incluir a compactação do sedimento, causando um achatamento da vesícula originalmente circular (Fig. 16f, h). Estas vesículas se tornam alongadas, podendo ser confundidas até por outras espécies characteristicamente alongadas.

Bordas serrilhadas comumente representam partes fragmentadas das vesículas, com apenas uma pequena parte podendo representar possíveis estruturas. Para os exemplos de bordas serrilhadas apresentados aqui, o processo de fragmentação será considerado devido a continuidade circular de certos exemplares. Devido a fragilidade delas, a fragmentação pode ocorrer em diversas etapas, desde o soterramento até as etapas finas da diagênese, na Figura 16 é descrito uma sequência teórica da fragmentação das vesículas durante o processo de soterramento. Fragmentação sobre a diagênese pode ser representada por vesículas achatadas que foram fragmentadas (Fig. 16g).



Figura 16: Estruturas superficiais indicadoras de processos tafonômicos. **a), b), c), d) e e):** Sequência teórica para a fragmentação da vesícula celular durante a diagênese. **f), g) e h):** Achatamento de vesículas, podendo ser confundida com uma morfologia polar. Barras de escala todas equivalem a 100 µm.

Foram identificados em 49 espécimes, cicatrizes de ruptura com formato alongado a circular sobre a superfície da vesícula orgânica, aqui interpretados como estruturas de *excystment*, ou pilomas (Downie *et al.*, 1963). Estas estruturas apresentam um anel de relevo mais alto ao redor das aberturas, corroborando ainda mais com a interpretação de estruturas de ruptura (Fig. 17a).

Os pilomas observados não são características diagnósticas para espécies, ocorrendo tanto em espécies do gênero *Leiosphaeridia* sp. (Fig. 17a, b, c, d, h, e, j, k) assim como *Germinosphaera* sp. (Fig. 17g, i, f). Estas estruturas se formam, na maioria das vezes, sobre a borda das vesículas, com alguns espécimes a tendo no centro (Fig. 17i), observados comumente sobre locais em que a vesícula colapsada é mais espessa (linhas de dobras).

Trabalhos de revisão micropaleontológicas anteriores na Formação Tamengo não descreveram pilomas, ou estruturas de ruptura sobre seus exemplares de acritarcos (Tobias, 2014; Adorno, 2019; Toniolo, 2023). A presença destas estruturas nos exemplares descritos neste trabalho pode indicar tanto uma diferença nas populações de acritarcos existentes no paleoambiente, assim como um viés tafonômico de preservação destas estruturas, sendo que as amostras dos trabalhos prévios foram todas retiradas de afloramentos, normalmente intemperizados, enquanto amostras do presente trabalho foram retiradas de testemunhos de rochas frescas.

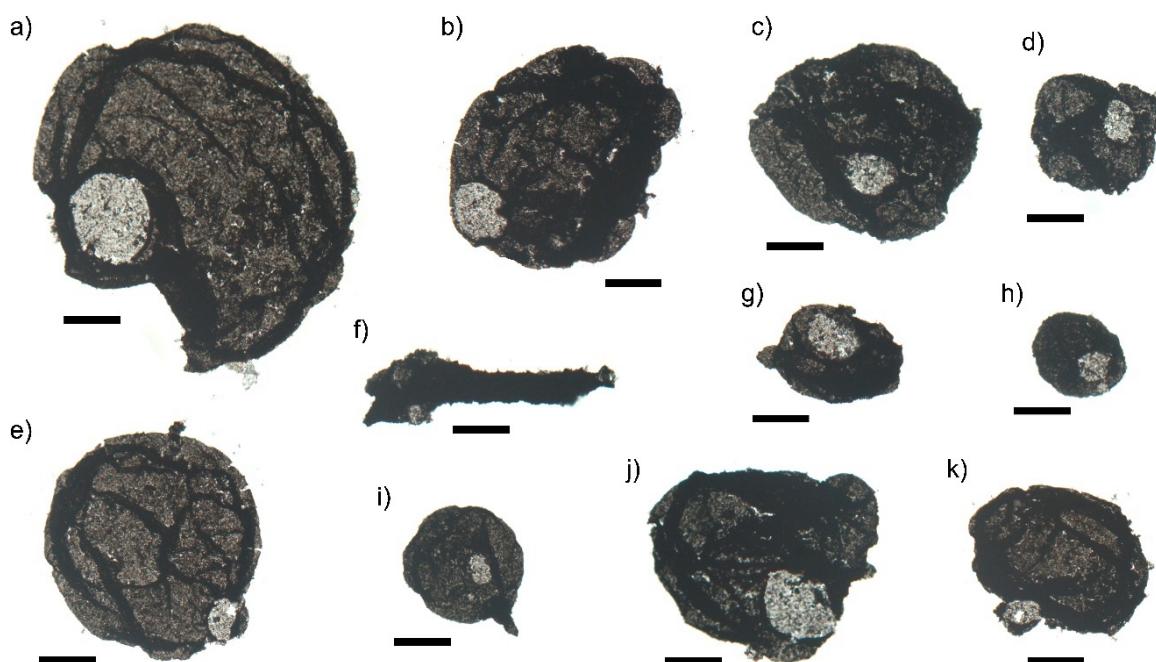


Figura 17: Acritarcos com pilomas, ou estruturas de excistamento, em preparações palinológicas da Formação Tamengo, barras de escala equivale a 100 µm. **a):** Preparação 014_2_W_03012B. **b):** Preparação 070_2_W_03096A. **c):** Preparação 073_1_W_03098B. **d):** Preparação 040_2_W_03043B. **e):** Preparação 056_2_W_03071B. **f):** Preparação 036_1_W_03053A. **g) e h):** Preparação 082_2_W_03137B. **i):** Preparação 082_2_W_03137A. **j):** Preparação 028_2_W_03037A. **k):** Preparação 012_2_W_03011B. Microfotografias ao microscópio petrográfico com polarizadores descruzados.

5.3.2. Análises MEV – EDS

Foram analisados um total de 3 microfósseis sobre imageamento MEV (Elétrons Secundários - SE e Elétrons Retroespalhados - BSE) e mapeamento EDS. Todas as amostras foram preparadas previamente sobre uma preparação palinológica sem lamínula para que posteriormente fossem recobertas por carbono no Laboratório de Microssonda Eletrônica – ME do IGc USP.

Cada microfóssil foi categorizada por código e espécie de acritarco, estas sendo: 2-060_2_W_03073_I (*Leiosphaeridium tenuissima*), 2-039_1_W_03042_III (*Leiosphaeridium jacutica*) e 2-042_2_W_03044_VI (*Germinosphaera* sp.). Para cada amostra foi realizado um mapeamento espectral EDS total, com uma contagem máxima de 3.000.000 de pixels, assim como análises qualitativas pontuais para o mapeamento espectral de pontos específicos na vesícula, caso as áreas dessas análises não forem especificadas seu diâmetro será entre 1 a 3 µm. Espectrogramas também foram gerados e estão inclusos para certas análises pontuais que apresentaram importância tafonômica e diagenética.

Com as imagens geradas pelo mapeamento de elementos EDS, foram confeccionadas imagens ternárias por meio de canais de cores RGB através do software ENVI 5.3, uma a partir do mapeamento de S,Fe,C - R,G,B e outra pelo Al, K, Fe - R,G,B, sendo alterado o histograma de intensidade dos pixels para melhor visibilidade de certas estruturas. Por este mesmo software, perfis espectrais foram confeccionados por meio da intensidade do pixel para cada mapeamento de elementos. Algumas dessas estruturas são caracterizadas pela sobreposição da vesícula causada pelo colapso, assim como pela impregnação de minerais sobre a superfície da vesícula.

Todas as tabelas com a porcentagem elementar de cada mapeamento e análise pontual, assim como seus erros analíticos, estão disponíveis sobre o Apêndice B deste trabalho.

As análises da amostra 2-060_2_W_03073_I estão presentes na Figura 18. Imagens de SE e BSE (Fig. 18a, e) demonstram uma condensação de matéria orgânica sobre as bordas da amostra, formando um anel que apresenta uma coloração opaca sobre luz transmitida (Fig. 18a). Este anel, se analisado sobre as imagens de mapeamento EDS, apresenta uma composição elementar mais intensa que o restante da vesícula, neste caso elementos como Al, K e C são demarcados por este contorno (Fig. 18c, d). Da mesma maneira, os perfis espectrais apresentam picos de alta intensidade para Al, K e C sobre este anel, enquanto o perfil de Si possui vales para esta localidade (Fig. 18b). A condensação de matéria orgânica muito provavelmente é um produto do colapso da vesícula, gerando uma sobreposição deste material orgânico, não sendo limitado apenas a borda da vesícula, mas também ocorrendo no seu centro (marcados pela letra C nos perfis espectrais).

A impregnação de minerais, como piritas e aluminossilicatos, foi pequena se comparado às amostras III e VI, porém ainda assim pequenos cristais de pirita ($\sim 1 \mu\text{m}$) foram facilmente observados sobre a vesícula a partir da composição S,Fe,C - R,G,B por meio de cores amarelas (Fig. 18c), assim como pela imagem BSE por meio de claras a brancas (Fig. 18e).

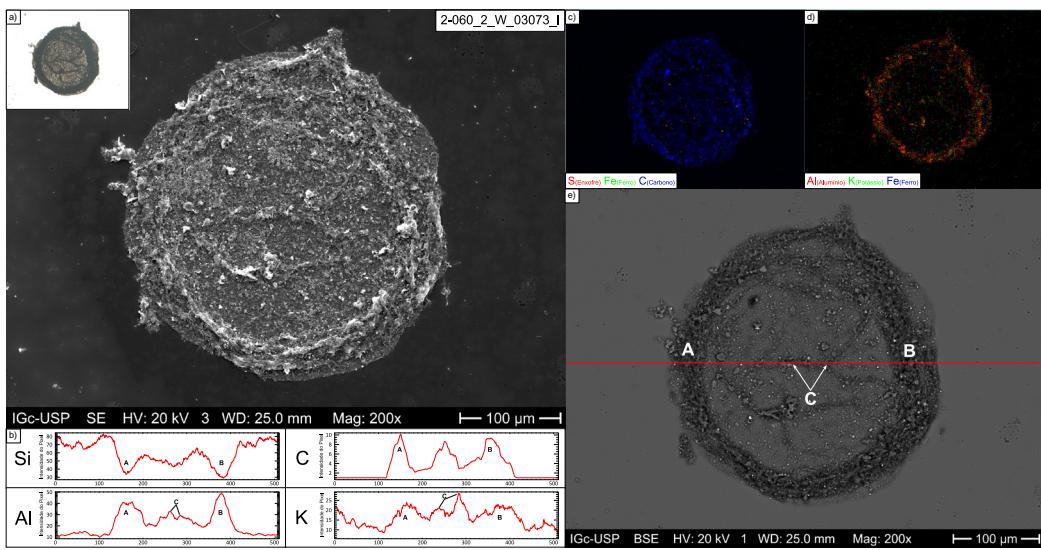


Figura 18: Análises da amostra 060_2_W_03073_I (*Leiosphaeridia tenuissima*). **a)**: Imagens de microscópio a luz transmitida e de elétrons secundários (SE). **b)**: Perfis espectrais do mapeamento elementar EDS para Si, C, Al, e K, letras A, B e C representam os picos e vales de cada perfil. Mapeamentos EDS de composição **c)**: S,Fe,C - R,G,B e **d)**: Al,K,Fe - R,G,B. **e)**: Imagem de elétrons retroespelhados (BSE) com a linha de perfil espectral (linha vermelha), assim como a localização dos picos e vales A, B e C caracterizados pelas áreas de sobreposição da vesícula.

As análises da amostra 2-039_1_W_03042_III estão presentes na Figura 19. A imagem de SE (Fig. 19a) demonstra o relevo da superfície da vesícula, onde porções com certa condensação de matéria orgânica estão dispersas pela superfície, representadas por uma cor mais clara. Da mesma maneira que a amostra I, estas sobreposições de matéria orgânica, ao serem analisadas sobre mapeamento EDS apresentam uma composição elementar mais intensa de Al, K e C (Fig. 19b, c). A principal diferença das amostras I e III é a simetria destes picos de concentração ao longo da vesícula, onde a amostra I apresenta um anel concêntrico, a amostra III apresenta picos de concentração demarcados aleatoriamente pelas linhas opacas ao longo da imagem a luz transmitida. Vale demarcar, especialmente, a sobreposição da vesícula sobre a direita da amostra, marcada pelo perfil espectral (Fig. 19h), com um pico de Al e um vale de Si se sobrepondo.

Para a análise da impregnação de minerais sobre a vesícula, foram utilizadas análises pontuais com a confecção de um spectrograma. Fragmentos de aluminossilicatos estão presentes por toda a vesícula, possuindo uma coloração amarela sobre a composição Al,K,Fe

- R,G,B (Fig. 19c), o ponto III0004-5 apresentou uma porcentagem atômica de 2.22% Mg, 2.65% K, 7.65% Al, e 17.02% Si para os principais elementos (Fig. 19d). Cristais de pirita (\sim 1-2 μm) foram identificados impregnados ao longo de toda a vesícula, observados em tons vermelhos/amarelos sobre a composição S,Fe,C - R,G,B (Fig. 19b), os pontos III0004-6 e III0004-12 apresentam os altos teores de S e Fe demarcadas pelas piritas (Fig. 19e, g). Minerais com alto teor de titânio também foram identificados (Fig. 19f), o ponto III0004-8 apresentou uma porcentagem atômica de 18.75% Ti, e 46.09% O, possibilitando a presença de óxidos de titânio.

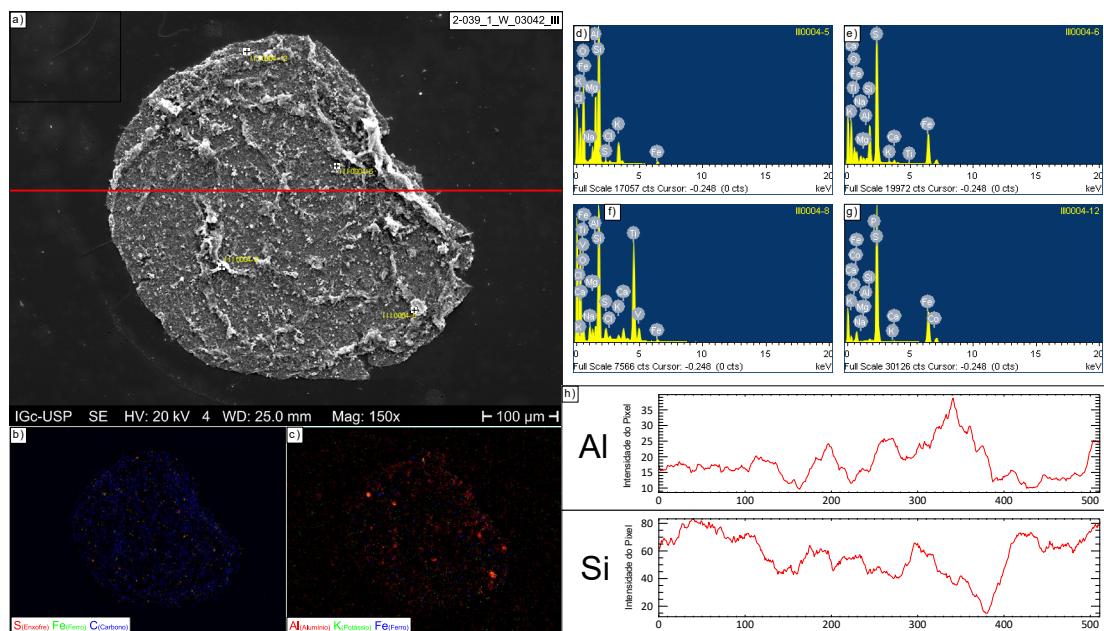


Figura 19: Análises da amostra 2-039_1_W_03042_III (Leiosphaeridia jacutica). **a)**: Imagens de microscópio a luz transmitida e de elétrons secundários (SE), com a linha de perfil espectral (linha vermelha), assim como localização dos pontos de mapeamento EDS (cruzes brancas). Mapeamentos EDS de composição **b)**: S,Fe,C - R,G,B e **c)**: Al,K,Fe - R,G,B. Espectrogramas para os pontos de mapeamento EDS **d)**: III0004-5, **e)**: III0004-6, **f)**: III0004-8, e **g)**: III0004-9. **h)**: Perfis espectrais do mapeamento elementar EDS para Al e Si, ressaltar o espelhamento de picos para o perfil de Al e vales para o perfil de Si.

As análises da amostra 2-042_2_W_03044_VI estão presentes na Figura 20. A imagem de SE da amostra VI (Fig. 20a) apresenta um relevo da vesícula muito mais amorfado, e sem estruturação, se comparado às amostras I e III. Este relevo, ainda assim, apresenta faixas com maior sobreposição de matéria orgânica que outras, e de maneira semelhante as amostras I e III, possuem uma composição elementar intensa de Al, K e C sobre o mapeamento EDS (Fig. 20b, c). O perfil espectral de Si apresenta uma resposta semelhante à amostra anterior (Fig. 20j). Sob luz transmitida, a vesícula da amostra VI apresenta uma

coloração opaca, causada pela intensa impregnação de minerais como pirita sobre sua superfície.

Cristais de pirita euédricos ($\sim 4 \mu\text{m}$) foram observados ao longo de toda a superfície da vesícula (Fig. 20d, e), sendo detectadas em tons vermelhos/amarelos por meio da composição S,Fe,C - R,G,B (Fig. 20b). Dois pontos foram realizados sobre cristais de pirita, VI0004-5 e VI0004-6, demonstrando a predominância dos teores de S e Fe (Fig. 20f, g). Fragmentos de aluminossilicatos também foram identificados sobre a amostra VI, demarcados por tons amarelados por meio da composição Al,K,Fe - R,G,B (Fig. 20c), o ponto VI0004-3 apresentou uma porcentagem atômica de 1.38% Mg, 2.49% K, 8.78% Al, e 15.68% Si para os principais elementos (Fig. 20h). Assim como na amostra III, minerais com alto teor de titânio também foram identificados (Fig. 20i), o ponto VI0004-8 apresentou uma porcentagem atômica de 18.90% Ti, e 57.09% O.

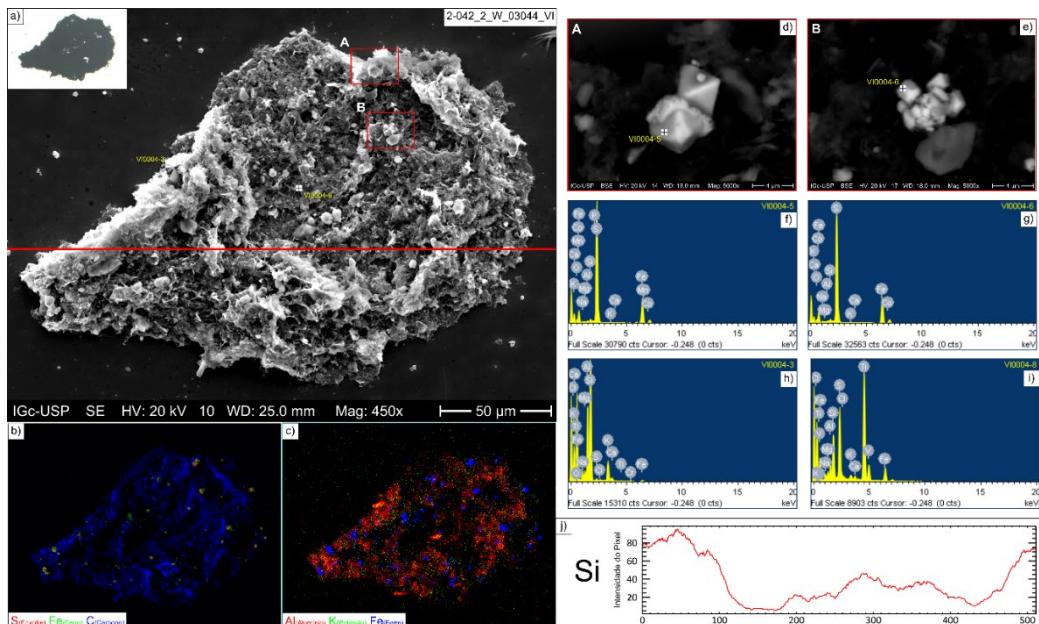


Figura 20: Análises da amostra 2-042_2_W_03044_VI (Germinosphaera sp.). **a)**: Imagens de microscópio a luz transmitida e de elétrons secundários (SE), com a linha de perfil espectral (linha vermelha), assim como localização das análises pontuais de mapeamento EDS (cruzes brancas). Mapeamentos EDS de composição **b)**: S,Fe,C - R,G,B e **c)**: Al,K,Fe - R,G,B. **d)** e **e)**: Imagens de elétrons retroespelhados de cristais de pirita euédricos com localização dos pontos de mapeamento EDS (cruzes brancas). Espectrogramas para os pontos de mapeamento EDS **f)**: VI0004-5, **g)**: VII0004-6, **h)**: VI0004-3, e **i)**: VII0004-8. **j)**: Perfil espectral do mapeamento elementar EDS para Si, ressaltar a resposta baixa sobre a superfície da vesícula.

5.4. Bioestratigrafia

Por meio da separação do material palinológico de cada amostra foi possível realizar a contagem manual, e distribuição estratigráfica dos espécimes identificados. Os microfósseis

de parede orgânica desta unidade compõem uma assembleia dominada por acritarcos esferomórficos como *Leiosphaeridios* (*L. crassa*, *L. jacutica*, *L. minutíssima* e *L. tenuissima*) em conjunto de *Germinosphaera* sp., assim como exemplares de *Lagoenaforma* sp. e *Asseserium* sp.

Macroalgas também podem ser inferidas como presentes por meio do grande número de fragmentos identificados ao longo do perfil, também sendo realizada a contagem manual deste grupo.

5.4.1. Contagem dos microfósseis

A contagem dos microfósseis foi realizada de maneira manual, através da coleta de 0,5 ml do material palinológico e distribuição dele entre dois vidros de relógio, após isso foi utilizado um pincel com apenas uma de suas certas para fazer a limpeza e contagem dos espécimes identificados nestas amostras. Apenas foi incluída a contagem total dos espécimes que ultrapassassem N = 30 de exemplares.

Desta maneira foi obtido um número de N = 5582 exemplares para *Leiosphaeridia crassa*, N = 4431 exemplares para *Leiosphaeridia jacutica*, N = 35 exemplares para *Leiosphaeridia minutissima*, N = 245 exemplares para *Leiosphaeridia tenuissima*, N = 938 exemplares para Fragmentos de Macroalga, e N = 216 exemplares para *Germinosphaera* sp. (Fig. 21). Com um total de N = 11447 microfósseis contados, os *Leiosphaeridios* (*L. crassa*, *L. jacutica*, *L. minutíssima* e *L. tenuissima*) representam cerca de 90% deles, caracterizando a população de acritarcos como predominantemente esferomórfica (Fig. 21). Microfósseis com processos, ou até mesmo similares a acantomórficos, ocorrem em pequenas quantidades, representando apenas 1,90% da assembleia (*Germinosphaera* sp.), ou até mesmo insuficientes a serem incluídos a contagem total (*Lagoenaforma* sp. e *Asseserium* sp.).

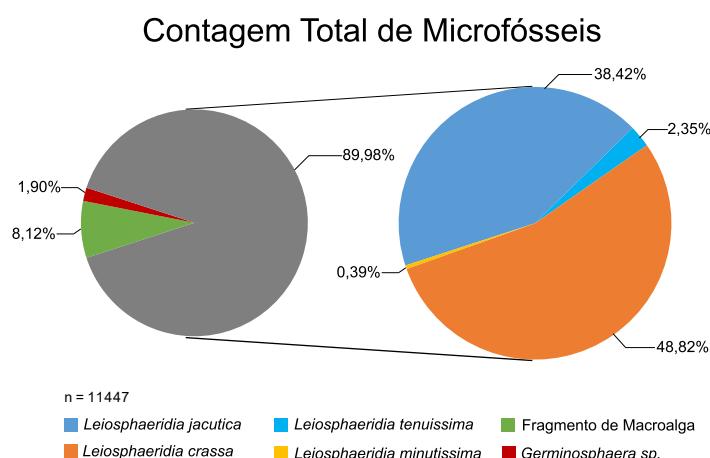


Figura 21: Gráfico de porcentagem dos microfósseis contados e identificados na Formação Tamengo, dividido entre a proporção esferomórfica (cinza) e não esferomórfica.

O elevado número de microfósseis identificados ($N = 11447$) tem por correlação o grande acúmulo de matéria orgânica que as amostras apresentam, com algumas delas totalizando $\sim 5 - 10$ ml de resíduo palinológico com matéria orgânica amorfada (Fig. 22a). Este resíduo, em amostras ricas em matéria orgânica, apresenta acritarcos completos e desarticulados, formando grandes agregados de microfósseis de parede orgânica (Fig. 22b). O grau de fragmentação desses microfósseis certamente é influenciado pelos processos tafonômicos que eles sofreram, porém o grande número de palinomorfos em uma mesma amostra pode ter promovido a fricção e possível fragmentação de alguns palinomorfos.

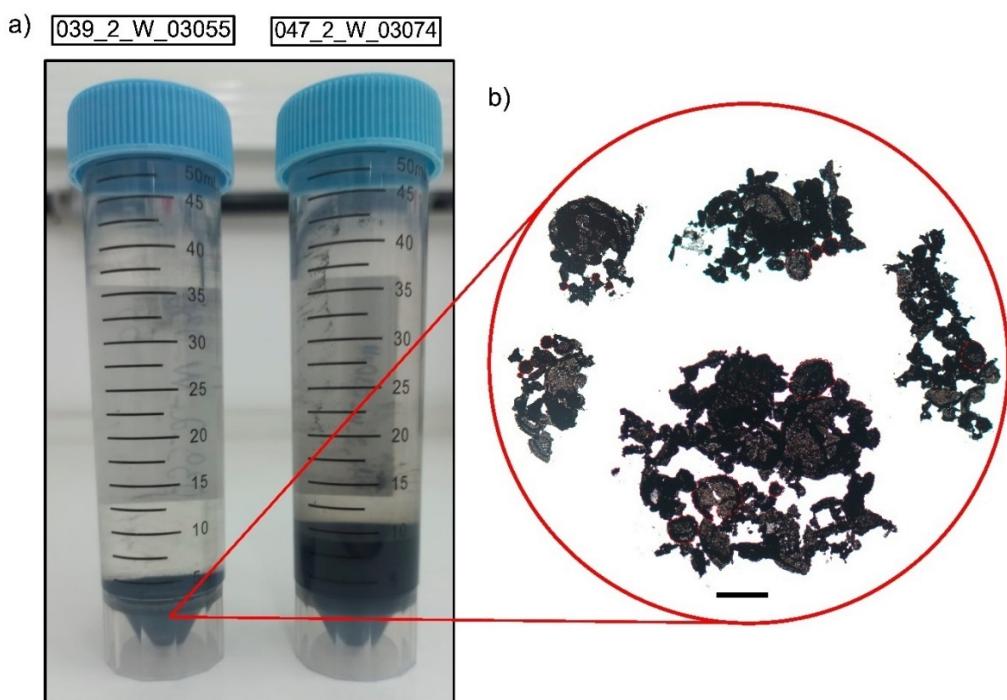


Figura 22: Resíduo palinológico resistente à dissolução no ácido. **a)** Margem de acúmulo do resíduo palinológico das amostras 039_2_W_03055 (~5 ml) e 047_2_W_03074 (~10 ml). **b)** Imagem ampliada de agregados de acritarcos no interior do resíduo palinológico, nota-se a preservação de Leiosphaeridios demarcados por contornos tracejados vermelhos, barra de escala equivale a 400 µm.

5.4.2. Distribuição estratigráfica

O furo de testemunho 5064-3B-GRIND tem uma profundidade total de 123,10 metros, dividido a partir das Formações Tamengo e Bocaina. A Formação Tamengo, foco de estudo deste trabalho, foi amostrada na Pedreira Corcal, entre 3,50 m até 114,50 m, com as Formação Bocaina observada na base, totalizando uma espessura de 111,00 m. Apenas amostras da Formação Tamengo foram analisadas.

A seção Corcal da Formação Tamengo representa a rampa média de uma plataforma carbonática, depositada abaixo ou sobre o nível de base de ondas (de Oliveira et

al., 2019; Amorim *et al.*, 2020). A coluna lito-estratigráfica foi desenvolvida por outros membros do projeto ICDP-GRIND, assim como sua classificação em ciclos e tratos de granulometria (Fig. 23). Para a construção dos gráficos de contagem de microfósseis, foram utilizadas diferentes escalas a depender da quantidade encontrada dos espécimes. Para espécimes que não foram incluídos na contagem (e.g. *Cloudina lucianoi*, *Lagoenoforma* sp., Acantomórficos?, e *Asseserium* sp.) sua posição estratigráfica específica é fornecida. A posição estratigráfica de cada amostra também é fornecida ao lado da litologia (Fig. 23).

Para as espécies de *Leiosphaeridia crassa*, *Leiosphaeridia jacutica*, *Germinosphaera* sp. e Fragmentos de Macroalga, todos apresentaram uma distribuição similar, enquanto as espécies de *Leiosphaeridia minutissima* e *Leiosphaeridia tenuissima* ambas apresentaram quedas e picos não registradas nas outras espécies. Ocorrências de *Lagoenaforma* sp. e Acantomórficos? são comumente associadas a quedas no número de contagem total dos microfósseis (Fig. 23).

Ao longo da coluna bioestratigráfica construída, nota-se que os picos mais altos na contagem de microfósseis estão correlacionados a fácies de *grainstone* oólíticos, com bioclastos de *Cloudina* fragmentados comumente associados. Entre 10 e 20 metros de profundidade é observada uma contagem total de microfósseis comumente acima de $N = 300$ em associação com 5 ocorrências de *Cloudina*, entre o intervalo das amostras 010_1_W_03010, 012_2_W_03011, 014_2_W_03012 e 017_2_W_03020 (com a 03020 representando a maior contagem total observada $N = 610$). Entre 30 e 35 metros um pico de pequena extensão é observado pelas amostras 027_1_W_03048 e 027_1_W_03036, com uma contagem total em média de $N = 400$. E entre 100 e 105 metros ocorre um pico contínuo com uma contagem total acima de $N = 400$ em associação com 1 ocorrência de *Cloudina*, marcado pelas amostras 073_1_W_03098 e 075_2_W_03099.

Por meio da correlação entre a contagem e os ciclos de granulometria, é possível notar a influência que um causa sobre o outro, especificamente como a amostra com a menor contagem total registrada, 045_1_W_03067 $N = 55$, está relacionada à superfície máxima de inundação (SIM) (Fig. 23). A amostra 036_2_W_03041 apresenta uma contagem total menor, $N = 40$, porém ela ocorre a centímetros de distância da amostra 036_1_W_03053 em que a contagem registra $N = 284$, podendo ser tratada a um viés tafonômico. Da base para o topo, é possível notar que ao longo do trato de sistema transgressivo (TST 1) a contagem total tende a diminuir, até atingir a SIM, após isso a contagem tende a aumentar até atingir o topo do trato de sistema de mar alto (HST 2) (Fig. 23), com os picos registrados nas fácies de *grainstones* oólíticos demarcando aproximadamente a base e o topo dos sistemas transgressivos e de mar alto, respectivamente.

Testemunho 3B

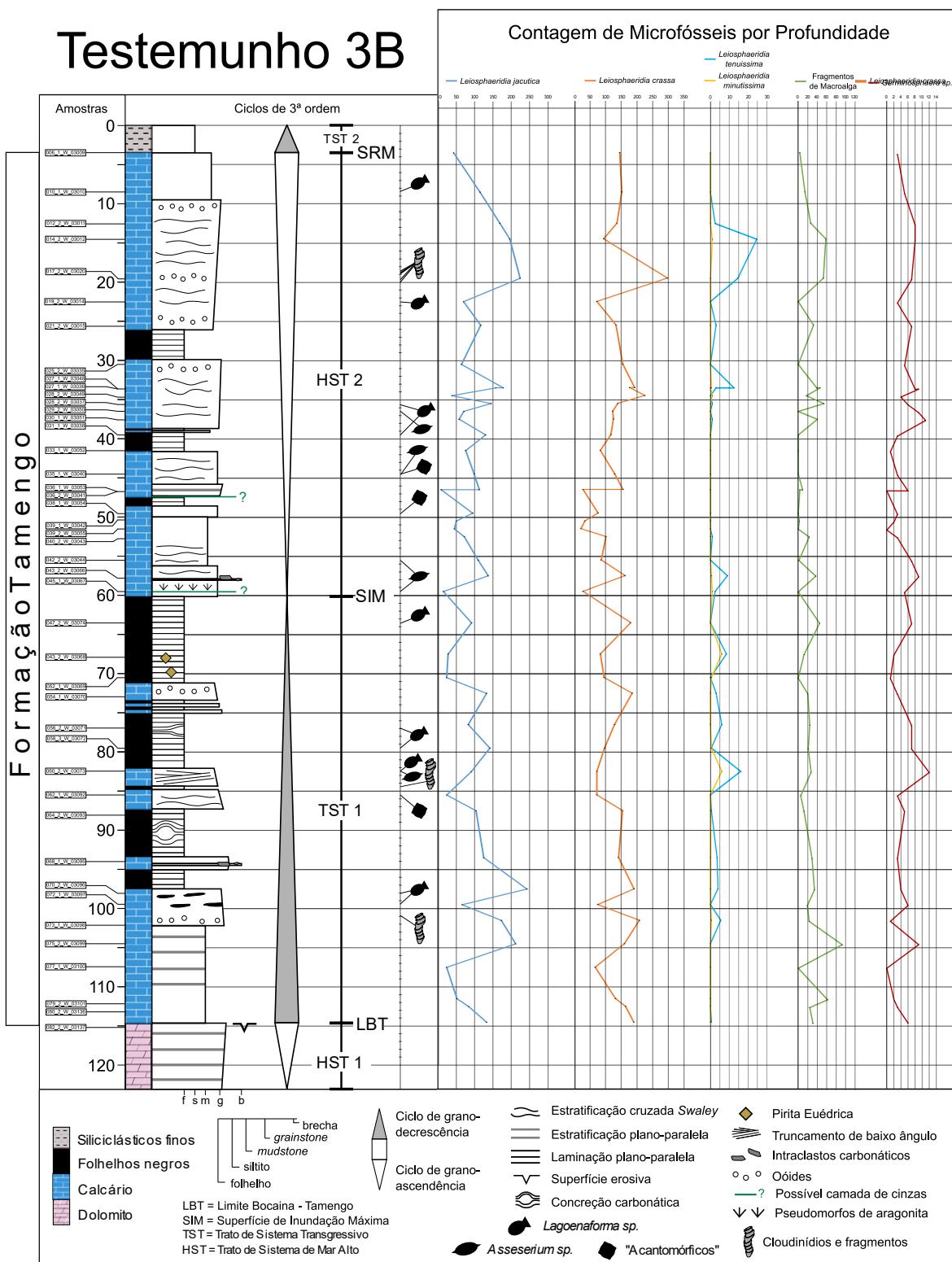


Figura 23: Coluna lito-bioestratigráfica do furo de testemunho 5064-3B-GRIND. Gráficos de contagem de microfósseis determinados por cor estão em diferentes escalas, de acordo com o maior número registrado sobre cada espécime. Formas pretas representam espécimes de acritarcos novos encontrados na Formação Tamengo, junto das ocorrências de *Cloudina* por profundidade.

A coluna bioestratigráfica 5064-3B-GRIND representa, no seu geral, uma transição entre uma alta dominância de acitarcos esferomorfos depositados em ambientes profundos (TST 1) para uma alta dominância de esferomorfos depositados em ambientes rasos (HST 2), com um intervalo gradativo de queda na dominância de acitarcos até seu mínimo sobre a SIM, onde o aumento na diversidade de espécies é notável (e.g. *Lagoenaforma* sp., *Asseserium* sp., e Acantomórficos?).

A pedreira Corcal pode representar o ambiente de transição descrito pela assembleia de microfósseis descritos ao longo do Testemunho 3B (Fig. 24), já que suas fácies já foram descritas como intermediária a rampas internas de águas rasas e rampas externas de águas profundas (de Oliveira *et al.*, 2019; Amorim *et al.*, 2020). Águas profundas não necessariamente indicaram uma colonização total da coluna d'água, onde metazoários comumente colonizaram apenas o substrato sobre o estrato oxidado da coluna d'água (Wood *et al.*, 2015; Jin *et al.*, 2018). Para a Formação Tamengo, uma coluna estratificada dividia uma camada de águas rasas oxidada acima de uma profunda camada ferruginosa e anóxica, pouco propensa a vida (Caxito *et al.*, 2024).

As contagens para as espécies *L. minutissima* e *L. tenuissima* ambas apresentam um vácuo para a contagem total. Entre 40 e 50 metros de profundidade as duas espécies possuem uma contagem total N = 0, Fragmentos de Macroalga seguem um padrão de queda similar, porém eles ainda são registrados neste intervalo. Os dois maiores picos na contagem de *L. minutissima*, amostras 050_2_W_03068 e 060_2_W_03073 com um N = 12, ambos foram registrados sobre o TST 1, com a 03068 estando localizada sobre uma lente carbonática no interior de um espesso pacote de folhelhos negros, além de apresentar uma das melhores preservações para exemplares de *L. minutissima* (Fig. 7a, b, e, f). Todos os picos de *L. tenuissima* estão associados a ocorrências de *Cloudina* ao longo da coluna, amostras 017_2_W_03020, 060_2_W_03073 e 073_1_W_03098.

Uma análise total da contagem de todas as espécies revela que há uma predominância quase exclusiva de *L. crassa*, com certos níveis com um predomínio de *L. jacutica*, estes níveis nunca passam de 7 metros de espessura (Fig. 26). Pouco se sabe sobre a influência do tamanho da vesícula de acitarcos para o ambiente de deposição, porém se tratando da mesma maneira de seleção hidrodinâmica, espécies menores são mais facilmente transportadas e acumuladas sobre ambientes mais profundos. Dentre os 8 níveis de predomínio de *L. jacutica*, apenas 1 deles ocupa um espaço maior que 3 metros sobre uma camada de folhelhos, enquanto o restante dos pacotes de folhelho é dominado por níveis de *L. crassa* (Fig. 26).

6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÕES

6.1. Assembleia de Microfósseis

A assembleia microfossilífera descrita na Formação Tamengo, neste trabalho, representa uma associação de metazoários e macroalgas (*Cloudina lucianoi*, *Vendotaenia* sp.) junto de acritarcos com formas esféricas simples características do final do Ediacarano, com demais espécies já identificadas sobre o Grupo Corumbá.

Dentre as 8 espécies de acritarcos identificadas temos acritarcos esferomórficos simples: *Leiosphaeridia crassa*, *Leiosphaeridia jacutica*, *Leiosphaeridia minutissima*, *Leiosphaeridia tenuissima*; e acritarcos com um ou mais processos característicos a espécie: *Germinosphaera* sp., *Lagoenaforma* sp., *Asseserium fusulentum* e *Asseserium cf. pyramidalis*. Pela similaridade dos fragmentos de macroalga identificados a espécies do gênero *Vendotaenia* sp. viu-se adequado classificá-los como possíveis fragmentos de *Vendotaenia antiqua*, espécie já identificada na Formação Tamengo (Gaucher et al., 2003; Adorno, 2019; Toniolo, 2023). Adorno et al. (2019) propôs uma subzona para a ocorrência de *Vendotaenia antiqua*-*Cloudina lucianoi* sobre o topo da seção Corcal, porém os fragmentos descritos como *Vendotaenia* sp. também ocorrem sobre a porção basal do testemunho 3B, possibilitando a extensão ou divisão desta subzona sobre a seção Cocal.

Trabalhos palinológicos iniciais na Formação Tamengo não diferenciaram as espécies do gênero *Leiosphaeridia* sp. (Hidalgo, 2002; Gaucher et al., 2003) somente espécies mais simples sendo identificadas (*L. crassa*), trabalhos mais recentes já passaram a identificar uma diversidade maior de acritarcos esferomórficos por meio de diferenças morfológicas simples (Tobias, 2014; Adorno et al., 2019; Toniolo, 2023). Esta alta ocorrência de microfósseis circulares sem processos também foi identificada neste trabalho, em conjunto com organismos *incertae sedis* já descritos nesta unidade, como *Germinosphaera* sp. (Toniolo, 2023) (Tabela 1).

Três novas espécies foram descritas pela primeira vez na Formação Tamengo, com uma delas sendo descrita pela primeira vez no Brasil (Tabela 1). *Asseserium fusulentum* e *Asseserium cf. pyramidalis* ambas possuem o mesmo gênero e já foram descritas em unidades Ediacaranas como Formação Ura, Sibéria, Rússia (Moczydłowska & Nagovitsin, 2012), Formação Nyborg, Noruega (Agić et al., 2024) e Formação Bocaina, Grupo Corumbá, Brasil (Morais et al., 2021a), possivelmente estendendo a ocorrência deste gênero para outras unidades do Grupo Corumbá. *Lagoenaforma* sp. Agić et al., 2022 é um gênero que apresenta apenas uma espécie descrita, *Lagoenaforma collaris*, a qual foi descrita apenas em três unidades, Membro Indreelva, Formação Stáhpogieddi, Grupo Vestertana na Noruega; Membro Mara, Formação Dabis, Grupo Nama na Namíbia; e a Formação Gibbett Hill, Grupo Signal Hill em Newfoundland, Canadá (Agić et al., 2022) e é aqui descrita pela primeira vez no Brasil.

Tabela 1: Comparação entre os espécimes de microfósseis unicelulares a coloniais identificados neste e em outros trabalhos sobre a Formação Tamengo. Espécimes marcados em coloração cinza claro foram aqueles identificados neste trabalho. Espécies grifadas de cinza claro representam a assembleia de microfósseis de parede orgânica identificados neste trabalho (*).

		Hidalgo (2002)	Gaucher et al. (2003)	Tobias (2014)	Adorno (2019)	Toniolo (2023)	Rimi (2024)*
Microfósseis unicelulares a coloniais, de afinidade euacarótica	<i>Asseserium fusulentum</i> Moczydlowska & Nagovitsin, 2012						X
	<i>Asseserium cf. pyramidalis</i> Moczydlowska & Nagovitsin, 2012						X
	<i>Arctacellularia januarensis</i> Denezine, 2018				X		
	<i>Bavlinella faveolata</i> Vidal, 1976	X	X	X	X		
	<i>Bambuites erichsenii</i> Sommer, 1971				X		
	<i>Bonniea cf. dacrychares</i> Porter et al., 2003					X	
	<i>Chuaria circularis</i> Walcott, 1899				X		
	<i>Eoentophysalis croxfordii</i> Butterfield et al., 1994	X					
	<i>Germinosphaera</i> sp.					X	X
	<i>Helicothrichoides waltheri</i> Gaucher et al., 1996	X					
	<i>Jacutianema</i> sp.				X		
	<i>Lagoenaforma</i> sp. Agić et al., 2022						X
	<i>Leiosphaeridia crassa</i> Naumova, 1949	X		X	X	X	X
	<i>Leiosphaeridia jacutica</i> Timofeev, 1966				X	X	X
	<i>Leiosphaeridia minutissima</i> Naumova, 1949				X	X	X
	<i>Leiosphaeridia obsuleta</i> Naumova, 1949				X		
	<i>Leiosphaeridia tenuissima</i> Eisenack, 1958			X	X	X	X
	<i>Leiosphaeridia ternata</i> Timofeev, 1966				X		
	<i>Lophosphaeridium</i> sp.				X		
	<i>Melanocryillium?</i> sp.			X			
	<i>Myxococcoides?</i> sp.		X	X		X	
	<i>Navifusa</i> sp.				X		
	<i>Ostia ma microcystis</i> Timofeev et al., 1976				X		
	<i>Rugosoopsis?</i> sp.			X			
	<i>Siphonophycus?</i> sp.	X				X	
	<i>Soldadophycus bossi</i> Gaucher et al., 1996		X				
	<i>Synsphaeridium</i> sp.				X		
	VSM's			X		X	X

A significância bioestratigráfica destas novas espécies é notável por meio da correlação estratigráfica das unidades em que elas foram previamente descritas, especialmente *Lagoenaforma collaris* a qual foi identificada no Grupo Nama, unidade correlata ao Grupo Corumbá (Boddy et al., 2022). Porém, é importante ressaltar que grande parte dos exemplares descritos neste trabalho possuem uma dimensão significativamente maior que o diagnóstico de Agić et al. (2022), com um comprimento total maior que 100 µm assim como uma vesícula principal de formato circular. Ainda assim todas possuem o processo característico em formato de pescoço com afunilamento na base do processo, portanto foram identificadas apenas como *Lagoenaforma* sp.

Há duas soluções possíveis para esta classificação: uma delas seria a inclusão dos exemplares que fogem do diagnóstico original em uma nova espécie do gênero, e a outra seria a extensão do diagnóstico original por Agić et al., 2022 para a inclusão de morfologias maiores. Pela grande extensão estratigráfica deste gênero e baixo número de exemplares, a inclusão de uma nova espécie se apresenta não recomendável, se não improvável, sendo mais provável a existência de diferentes morfologias básicas (tamanho de vesícula, comprimento do processo) para diferentes populações que todas apresentam o mesmo processo afunilado diagnóstico.

Microfósseis do gênero *Asseserium* sp. podem apresentar um significado bioestratigráfico menor, por terem sido identificadas em menor número ($N = 5$), porém ainda possibilitam a extensão estratigráfica da ocorrência deste gênero ao longo do Grupo Corumbá (Morais et al., 2021a). Ainda assim, a presença deste gênero em outras unidades Ediacaranas terminais podem permitir a correlação deste gênero a associações de acritarcos do final do Neoproterozoico. Microfósseis vasiformes (VSM's) também foram identificados no presente trabalho (Tabela 1), com ocorrências já relatadas em trabalhos anteriores (Tobias, 2014; Toniolo, 2023).

Esta nova assembleia de microfósseis de parede orgânica é dominada por espécies de *Leiosphaeridia* sp., junto de espécies *incertae sedis* caracterizadas por processos únicos a duplos de pouca significância taxonômica (*Germinosphaera* sp.), assim como Fragmentos de Macroalga. A associação de *Lagoenaforma* sp. e *Asseserium* sp. possuem o maior significado bioestratigráfico para esta nova assembleia descrita na Formação Tamengo (vide item 6.4. mais adiante).

6.2. Processos Tafonômicos

Após o soterramento, os microfósseis da Formação Tamengo sofreram uma diagênese characteristicamente anóxica, com a incrustação de minerais típicos como pirita, junto do alto grau geotérmico que levou ao escurecimento da vesícula (Traverse, 1988). A preservação destes microfósseis foi possível graças à intensa incrustação de minerais

diagenéticos sobre a vesícula, assim como a perda de compostos orgânicos leves por meio da alteração termal, preservando assim o querogênio presente sobre a matéria orgânica, composto já identificado em microfósseis da Formação Tamengo (Toniolo, 2023).

Graças a esta preservação, feições morfológicas conhecidas como pilomas, ou estruturas de ruptura de cistos (*excystment*), puderam ser preservadas e identificadas pela primeira vez na Formação Tamengo (Fig. 17). A ocorrência mais antiga de estruturas similares a pilomas, com um formato circular de opérculo, é registrada no Criogeniano (860 – 790 Ma) pelo Grupo Chuar, Utah, USA em acritarcos esferomórficos (Vidal & Ford, 1985). A interpretação mais utilizada para este tipo de estrutura é relacionada a reprodução e liberação de gametas, sendo comparada a estruturas similares em grupos atuais, como dinoflagelados (Downie *et al.*, 1963; Strother, 1996; Tappan, 1980).

Ainda que comum durante o registro Fanerozoico, pilomas são estruturas relativamente raras no registro Proterozoico de acritarcos, ressaltando ainda mais a ocorrência de estruturas similares neste trabalho. É provável que a preservação destas estruturas na Formação Tamengo tenha se dado pela diagênese característica que estes microfósseis sofreram (piritização e alumissilificação), com a preservação de possíveis estruturas intermediárias da estrutura de ruptura do cisto (Fig. 24). A não identificação dessas estruturas em trabalhos anteriores pode ser explicada pela qualidade das amostras coletadas neste trabalho, oriundas de furos de sondagem.

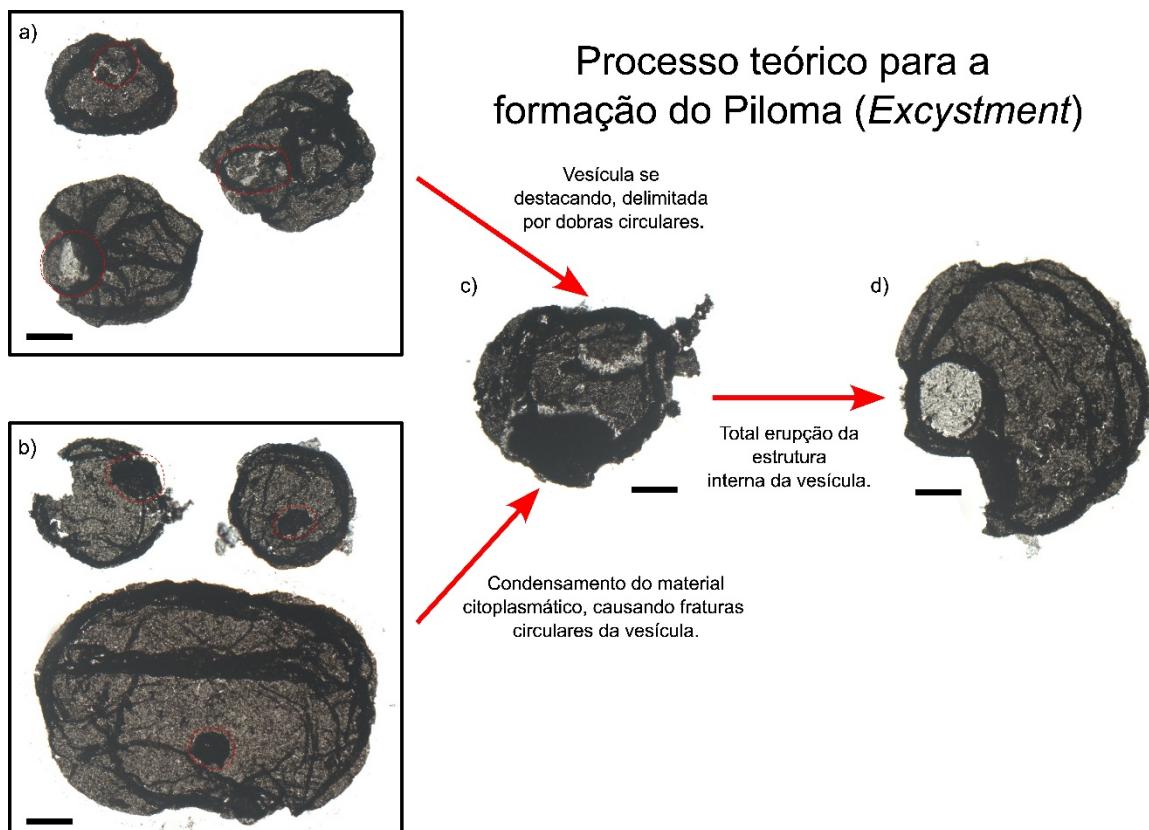


Figura 24: Processo teórico para a formação do Piloma, ou estrutura de Excistamento. **a)** Exemplares de acritarcos com dobras circulares ao redor da vesícula se destacando, demarcados por tracejado vermelho. **b)** Exemplares de acritarcos com estruturas similares ao condensamento de material citoplasmático demarcados por tracejado vermelho. **c)** Fraturas circulares ao redor de possíveis estruturas de “excistamento”. **d)** Exemplar com uma estrutura característica de piloma, com a erupção do suposto cisto interno da vesícula. Barras de escala todas equivalem a 100 µm.

6.3. Interpretação Paleoambiental

Trabalhos prévios descrevem o paleoambiente da Formação Tamengo, na região de Corumbá, como um ambiente plataforma carbonático raso, com uma divisão deposicional sobre a própria rampa (de Oliveira *et al.*, 2019; Amorim *et al.*, 2020; Caxito *et al.*, 2024). Ainda que dividido em porções rasas e profundas, valores elevados de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ na região de Corumbá indicam que a rampa carbonática nesta região seria um ambiente muito mais raso se comparado a outros mares Ediacaranos da Fm. Tamengo, como na região da Serra da Bodoquena (Fernandes *et al.*, 2024). A presença de metazoários biominalizantes como *Cloudina* e *Corumbella* também indicariam a colonização de um estrato oxigenado de águas rasas (Wood *et al.*, 2015).

Por meio do ajuste de curvas para a contagem de microfósseis, o comportamento errático da contagem total demonstra um padrão claro de aumento e queda da dominância de acritarcos e fragmentos de macroalga ao longo da seção Corcal (Fig. 26). Acritarcos, como grande parte de organismos planctônicos, são limitados a ambientes platformais rasos, possibilitando que associações de acritarcos refletem a energia hidrodinâmica e profundidade relativa da coluna d'água, sendo assim controlados por parâmetros ecológicos e sedimentológicos (Tyson, 1995; Montenari & Leppig, 2003).

Desta maneira, os espécimes de *L. jacutica*, *L. crassa*, *Germinosphaera* sp. assim como fragmentos de macroalga apresentam todos o mesmo padrão de ajuste de curvas de contagem, possibilitando que o furo de testemunho 5064-3B-GRIND represente uma transição de prováveis palinofácies de associações de acritarcos (Fig. 26).

Montenari & Leppig (2003) afirmam que associações de acritarcos são controladas por parâmetros sedimentológicos e ecológicos, como granulometria e profundidade da coluna d'água, em que ambientes platformais podem dividir as populações de acritarcos de acordo com sua dominância e diversidade. Por meio deste, fácies mais profundas e rasas são caracterizadas por uma alta dominância de poucas espécies, e fácies proximais a distais apresentam uma baixa dominância de várias espécies (Fig. 25).

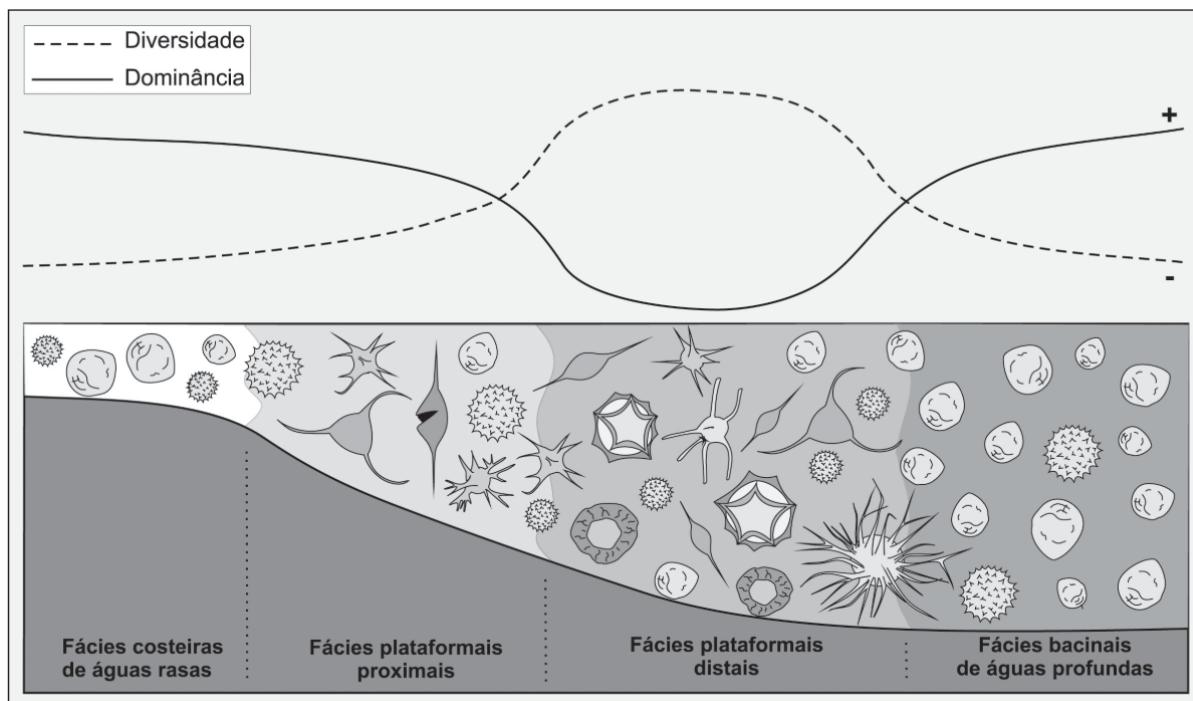


Figura 25: Distribuição dos acritarcos nos ambientes plataformais e sua relação de dominância e diversidade (retirado de Félix & Souza, 2012; modificado de Montenari & Leppig, 2003).

Da base para o topo, a seção Corcal (Testemunho 3B) teria sido depositada em um ambiente carbonático raso, representado por *grainstones* oolíticos indicando um ambiente de águas mais agitadas acima do nível de ondas, entre 110 a 108 m (Fig. 26), a ocorrência de *Cloudina* favorece a interpretação deste ambiente mais raso (Fig. 26). Neste ambiente fácies costeiras de águas rasas caracterizariam uma associação de baixa diversidade de acritarcos com uma alta dominância de espécies de *Leiosphaeridios* (Montenari & Leppig, 2003). Conforme o nível do mar subia sobre o TST, ocorreu a deposição de águas plataformais profundas, possivelmente correlato a seção Sobramil, em que associações de acritarcos dominadas por *Leiosphaeridios* representariam fácie bacinais de águas profundas (Montenari & Leppig, 2003; Toniolo, 2023), porém possivelmente com influência de águas rasas do topo da rampa. Dufka (1990) interpreta que uma alta proporção junto de baixa diversidade de acritarcos indicariam ambientes anóxicos e disóxidos, podendo estar relacionados a deposição de folhelhos negros dentro do intervalo de 108 a 60 m (Fig. 26).

A SIM marcaria a transição para a queda do nível do mar, onde foi registrada a maior queda na contagem de microfósseis, ainda com uma dominância sobre acritarcos esferomorfos, possivelmente ainda representando fácie bacinal de águas profundas. Acima de 60 até 30 m de profundidade, o início do HST representaria a transição de fácie plataformais distais a proximais (Montenari & Leppig, 2003), onde a diversidade de acritarcos atingiria seu máximo, com a ocorrência de gêneros como *Asseserium* sp. e *Lagoenaforma* sp. junto de acritarcos similares a acontomórficos. Acima de 30 m a ocorrência de um espesso

pacote de *grainstone* oolíticos indicaria a volta de um ambiente carbonático raso acima do nível de ondas, onde houve uma alta dominância de *Leiosphaeridios* (Fig. 26). A ocorrência de *Cloudina* formando coquinas favorecem a interpretação de um ambiente raso deste pacote. A forte dominância de poucos táxons poderia indicar *blooms* de algas planctônicas sobre a rampa rasa (Vidal 1976; Dornig 1981; Strother 1994).

Toniolo (2023) já descreveu como organismos planctônicos, como cistos de algas, poderiam ter sua quantidade e preservação influenciada por fácies sedimentares assim como a energia hidrodinâmica do ambiente deposicional. Neste caso, foi observado pelo autor que acritarcos com um diâmetro de vesícula maior, assim como fragmentos de macroalga, teriam um maior acúmulo em fácies sedimentares de maior granulometria e energia, como *grainstones* e *wackestones/packstones*. Enquanto fácies de mais baixa energia seriam influenciados por eventos de decantação de organismos planctônicos.

Testemunho 3B

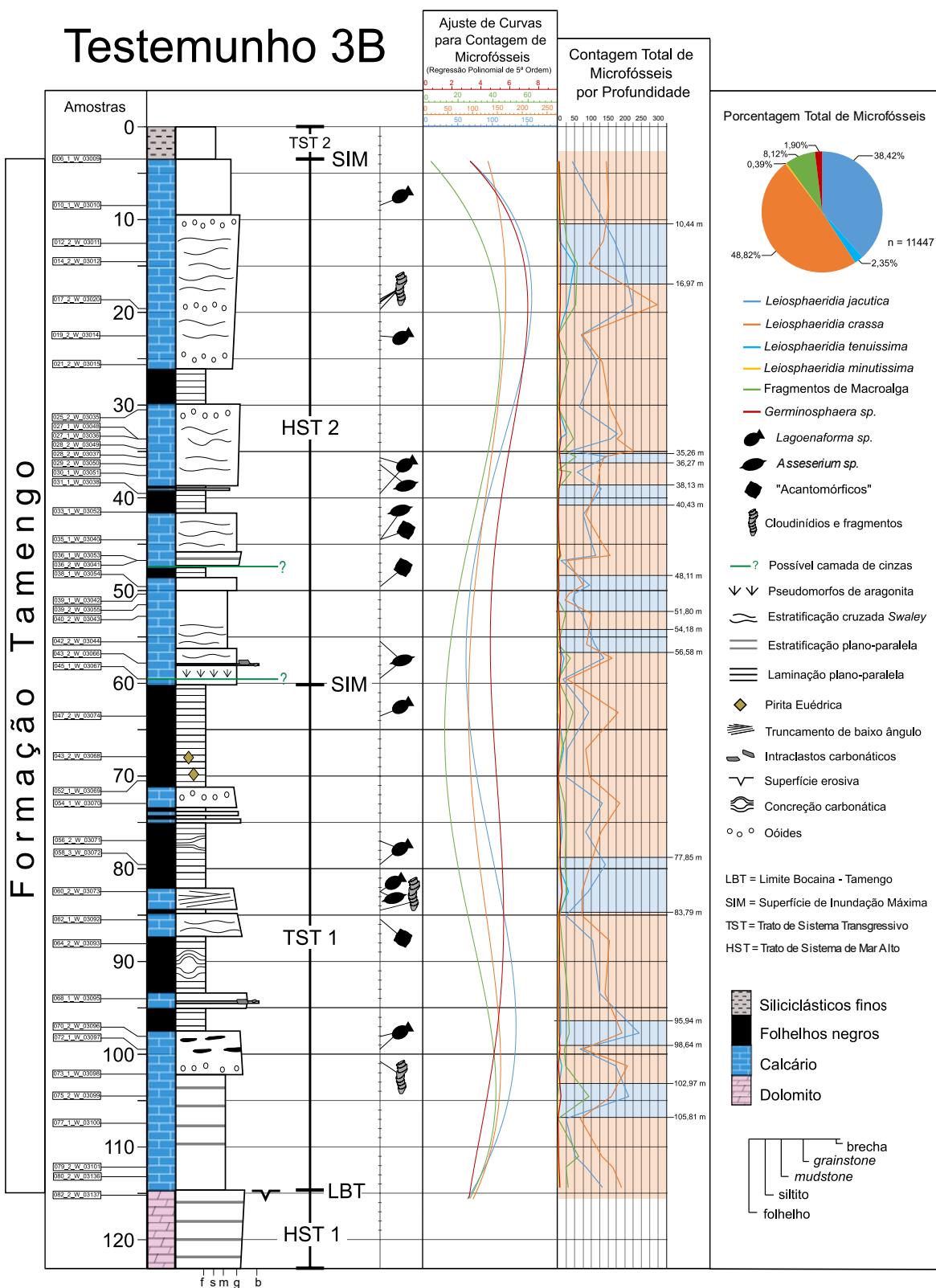


Figura 26: Coluna lito-bioestratigráfica do furo de testemunho 5064-3B-GRIND. Contagem total de microfósseis estão representados para todos os espécimes sob mesma escala, junto da coloração relativa da dominância entre *L. jacutica* e *L. crassa*, de acordo com suas respectivas cores. Ajuste de curvas para as contagens de *L. jacutica*, *L. crassa*, *Germinosphaera* sp. e Fragmentos de Macroalga estão representados tendências gerais similares para os valores de contagem de cada espécime.

Palinofácies de transição entre águas rasas e profundas, como fácies plataformais distais a proximais, podem ser exemplificadas na seção Corcal (Testemunho 3B) por meio da queda na contagem total de microfósseis junto do aumento na ocorrência de diferentes gêneros de acritarcos (*Asseserium* sp. e *Lagoenaforma* sp.). Nestes estratos do furo (88 a 75m e 50 a 35 m) é interpretado que o ambiente deposicional estaria transicionando entre águas mais rasas para águas mais fundas e vice e versa. Da mesma forma que grande parte da ocorrência de novos gêneros é em associação a quedas na contagem total de esferomorfos, indicando uma relação inversa entre dominância e diversidade.

A extrema dominância de acritarcos esferomorfos *Leiosphaeridios* dentro da contagem de microfósseis ao longo do testemunho, próxima de 90%, junto do alto número de exemplares observado (10293), poderia ser explicado por meio de um alto *bloom* de produtividade primário para algas planctônicas. A divisão por estratos destes eventos (topo e base do furo) assim como a causa deles ainda se mantém em debate, com uma das possíveis causas sendo o maior aporte sedimentar de nutrientes para a coluna d'água oxidata, assim como competição com outros organismos planctônicos.

Acritarcos, por serem organismos eucarióticos, possuem um metabolismo mais complexo que grande parte dos microorganismos Ediacaranos autotróficos (especialmente cianobactérias), exigindo um maior consumo de oxigênio (Agić, 2016; Lenton *et al.*, 2014). Este mesmo metabolismo necessita de certos nutrientes os quais organismos procarióticos (cianobactérias) não precisam, o qual pode ter sido a razão para o *bloom* de acritarcos dentro da Fm. Tamengo, em que um grande evento teria aumentado a deposição de nutrientes oriundos da intemperização do continente sobre o mar da Formação Tamengo.

A presença de macroalgas fragmentadas pode corroborar com um ambiente de águas agitadas causado por um maior aporte sedimentar pela bacia da rampa carbonática, em que algas, por serem organismos bentônicos, são comumente mais bem preservadas em águas profundas de condições *offshore* (Diniz *et al.*, 2021). No caso da seção Corcal (Testemunho 3B), os fragmentos estão mais concentrados sobre águas rasas, porém a sua presença por todo o furo ainda indica que a preservação de macroalgas foi dificultada pelo paleoambiente.

6.4. Correlação Bioestratigráfica

A associação de microfósseis de parede orgânica identificados na seção Corcal (Testemunho 3B), Formação Tamengo, é caracterizada por uma dominância de espécies esféricas simples sem ornamentação (*Leiosphaeridia* sp.) com uma baixa diversidade taxonômica. Devido a estas características é possível incluí-las sobre a assembleia LELP, denominada de *Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora* (Gaucher & Sprechman, 2009), caracterizada por uma diversidade taxonômica muito baixa distribuída por unidades do terminal do Ediacarano (Fig. 27).

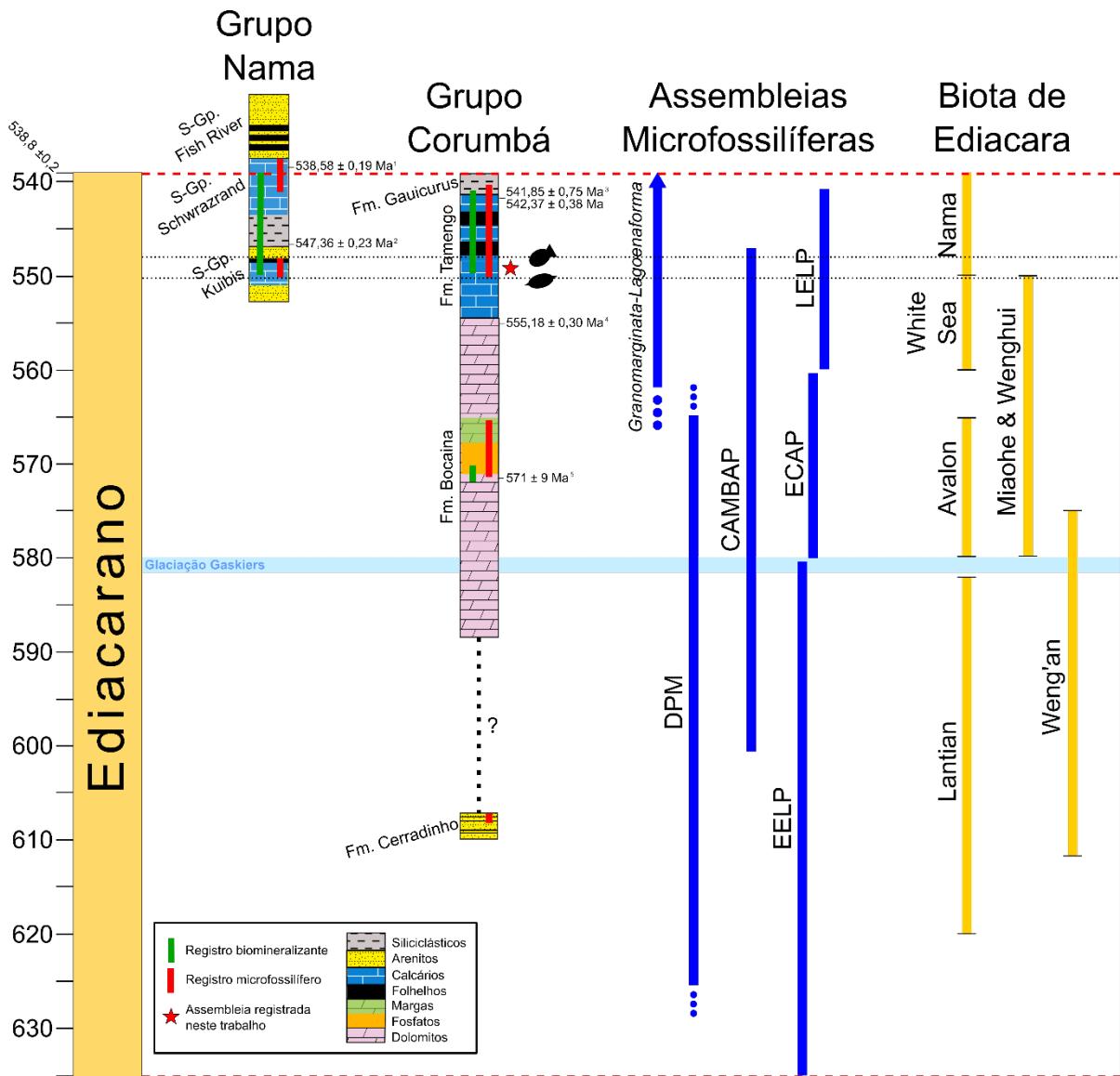


Figura 27: Distribuição cronoestratigráfica e bioestratigráfica do Grupo Nama e Grupo Corumbá durante o Ediacarano, o registro microfossilífero de paredes orgânicas e biominalizantes foi demarcado (Germs et al., 1986; Gaucher et al., 2003; Morais et al., 2021a; 2024). Extensão de assembleias microfossilíferas e biotas do Ediacarano estão registradas em azul e amarelo respectivamente: LELP, ECAP e EELP (Gaucher & Sprechmann, 2009); CAMBAP (Lehn et al., 2022); DPM (Zhou et al., 2007); *Granomarginata-Lagoenaforma* (Agić et al., 2022); biotas Ediacaranas foram retiradas de Xiao et al. (2014). Notar a correlação entre a assembleia descrita neste trabalho (Formação Tamengo, Grupo Corumbá) com o registro microfossilífero do Membro Mara, Sub-Grupo Kuibis, onde espécies de *Lagoenaforma* sp. foram descritas (Agić et al., 2022). Datações retiradas de Linnemann et al., 2019 (GSSP do topo do Ediacarano, 1), Bowring et al., 2007 (2), Parry et al., 2017 (3, 4) e Morais et al., 2024 (5). Linhas pontilhadas pretas horizontais indicam o intervalo estimado de tempo para a assembleia microfossilífera registrada neste trabalho, com correlação ao Sub-Grupo Kuibis, Grupo Nama. Linhas tracejadas vermelhas representam a delimitação do período Ediacarano.

A ocorrência de metazoários mineralizantes, como *Cloudina*, permite limitar a assembleia de microfósseis da Fm. Tamengo para acima de 550 Ma, dentro da assembleia Nama (Grotzinger, 1995), já descrita pelo Grupo Nama e Grupo Corumbá. Níveis de tufos vulcânicos corroboram essa delimitação por meio de datações U-Pb de zircões vulcânicos no topo da Fm. Bocaina, de ~555 Ma, e no topo da Fm. Tamengo, de ~542 Ma (Parry *et al.*, 2017). A continuidade de organismos biominalizantes, assim como acritarcos esferomórficos, é discutida para a Fm. Bocaina, onde autores como Morais *et al.* (2021a; 2024) já descreveram bioclastos carbonáticos e espécimes de *Leiosphaeridia* sp., porém ainda é necessário estudos mais detalhados para correlacionar as assembleias dessas unidades do Grupo Corumbá.

Lehn *et al.* (2022) relataram a ocorrência de uma assembleia de longa duração durante a metade do Ediacarano conhecida como CAMBAP, 600 a 550 Ma, descrita nas unidades da Bacia de Camaquã, Brasil (Fig. 27). A longa duração desta assembleia é relatada pelos autores devido ao extenso registro estratigráfico em que as unidades da Bacia do Camaquã foram depositadas, onde espécies de *Leiosphaeridia* sp. e *Germinosphaera* sp. também foram descritas. Espécies de acritarcos acantomórficos, como *Tanarium irregulare* foram utilizados para balizar esta assembleia como dentro da assembleia ECAP (Gaucher & Sprechman, 2009).

A identificação de espécimes de *Lagoenaforma* sp., gênero nunca descrito no Brasil, permite associar a Fm. Tamengo a unidades onde este gênero foi inicialmente descrito. Agić *et al.* (2022) identificaram espécies de *Lagoenaforma* sp. em unidades da Noruega (Membro Indreelva, Formação Stáhpogieddi, Grupo Vestertana), Canadá (Formação Gibbett Hill, Grupo Signal Hill, Newfoundland) e Namíbia (Membro Mara, Formação Dabis, Grupo Nama), onde estes autores propuseram a descrição de uma nova associação de acritarcos conhecida como *Granomarginata-Lagoenaforma* (Fig. 27). Ainda que espécimes de *Granomarginata* sp. não tenham sido identificadas, a correlação da Fm. Tamengo com esta associação é possível graças à identificação do novo gênero de *Lagoenaforma* sp. descrito por esses autores, especialmente com a Fm. Dabis, Grupo Nama.

Desta maneira, a correlação estratigráfica entre os Grupos Nama e Corumbá foi possível graças ao registro de organismos biominalizantes (*Cloudina*), assim como de microfósseis de parede orgânica (*Lagoenaforma* sp.). A balização cronoestratigráfica do Grupo Nama é estabelecida como uma unidade da transição do Ediacarano-Cambriano, com a ocorrência de organismos da assembleia Nama (Fig. 27). Níveis de tufos vulcânicos foram datados sobre o topo e a base do Sub-Grupo Schwazrand, obtendo datações U-Pb de zircões vulcânicos de ~538 Ma e ~547 Ma respectivamente (Bowring *et al.*, 2007; Linnemann *et al.*, 2019), sendo assim possível balizar a deposição máxima do Sub-Grupo Kuibis para 547 Ma (Fig. 27), unidade em que foram descritas espécies de *Lagoenaforma* sp. (Agić *et al.*, 2022).

Espécies de *Asseserium fusulentum* já foram descritas na Fm. Bocaina por Morais et al. (2022), a ocorrência de espécies de *Asseserium* sp. sobre a Fm. Tamengo neste trabalho permite indicar uma possível continuidade deste gênero sobre o Grupo Corumbá. Outras unidades do Grupo Vestertana, Noruega, também possuem registros de espécies de *Asseserium fusulentum* (Agić et al., 2024), possibilitando uma possível associação entre espécies do gênero *Asseserium* sp. e *Lagoenaforma* sp. Da mesma forma, amostras do projeto ICDP-GRIND da Formação Dabis, Namíbia, descritas por outros participantes do projeto já identificaram espécies de *Asseserium fusulentum*, podendo estender esta associação a outras unidades correlatas.

Desta maneira, a associação de acritarcos predominantemente esferomórficos descrita pela Fm. Tamengo, possuem uma significância bioestratigráfica maior devido a associação de novas espécies nesta unidade como *Asseserium* sp. e *Lagoenaforma* sp. Assembleias microfossílicas (LELP, CAMBAP e *Granomarginata-Lagoenaforma*) junto de correlações cronoestratigráficas permitem correlacionar a associação registrada neste trabalho ao registro microfossílico do Sub-Grupo Kuibis, Grupo Nama, estendendo ainda mais o registro correlato de ambas unidades.

7. CONCLUSÕES

Através de análises microscópicas e bioestratigráficas, uma nova assembleia de microfósseis de parede orgânica (acritarcos) e de microfósseis vasiformes (VSM's) foi descrita sobre a Fm. Tamengo, em associação a metazoários biomíneralizantes (*Cloudina lucianoi*). Junto da identificação de novos gêneros (*Asseserium* e *Lagoenaforma*) a esta unidade, foram descritas estruturas morfológicas conhecidas como pilomas pela primeira vez na Fm. Tamengo, possivelmente indicando processos tafonômicos propícios a preservação da morfologia dos microfósseis.

Dentre os espécimes identificados nesta assembleia temos: *Leiosphaeridia crassa*, *Leiosphaeridia jacutica*, *Leiosphaeridia minutissima*, *Leiosphaeridia tenuissima*, *Germinosphaera* sp., *Asseserium fusulentum*, *Asseserium cf. pyramidalis*, *Lagoenaforma* sp., junto de fragmentos de macroalga e microfósseis vasiformes (VSM's). A preservação dos microfósseis identificados foi descrita como processos de piritização em associação a alumissilificação da vesícula orgânica, a qual previamente teria sido colapsada durante processos tafonômicos durante o soterramento. Estruturas morfológicas conhecidas como pilomas, ou estruturas de ruptura de cisto, foram identificadas, possibilitando interpretar um potencial muito maior de preservação da vesícula orgânica em amostras que não foram intemperizadas.

Análises de MEV-EDS possibilitaram o mapeamento de cristais euédricos de pirita incrustados sobre a vesícula, assim como minerais de micas e óxido de titânio impregnados

pela parede orgânica durante a diagênese. Estas mesmas análises demonstraram como o colapso da vesícula pode levar a maior concentração de elementos como Al, K e C nestas áreas, enquanto quedas no teor de Si comprovam como a preservação não se deu por silicificação.

A distribuição bioestratigráfica da seção Corcal (Testemunho 3B) desta assembleia descreve claramente, através do ajuste de curvas de contagem, uma divisão em estratos da dominância de espécies de *Leiosphaeridios*. Através do uso de parâmetros hidrodinâmicos assim como profundidades da coluna d'água, diferentes palinofácies foram identificadas como presentes na seção Corcal. Essas descrevem uma transição, dentro de uma rampa carbonática, de um ambiente carbonático raso com dominância de *Leiosphaeridios* para um ambiente mais profundo (possivelmente anóxico) em que há uma queda na dominância de acritarcos, retornando para um ambiente raso semelhante, com dominância de *Leiosphaeridios* em grainstones oolíticos.

O novo registro de espécimes do gênero *Lagoenaforma* sp. na Formação Tamengo, inédito a unidades ediacaranas brasileiras, possibilitou a corroboração mais extensa entre as unidades do Grupo Nama, Namíbia, e Grupo Corumbá, Brasil. As assembleias de acritarcos do final do Ediacarano são caracterizadas por estruturas circulares simples (esferomorfos), portanto o achado de espécies que fogem deste padrão possui um significado bioestratigráfico muito maior para esta época. Essa associação, portanto, se vê balizada sobre assembleias microfossilíferas como LELP, CAMBAP, e especialmente *Granomarginata-Lagoenaforma*, delimitada pela identificação do novo gênero *Lagoenaforma* sp. Sua associação junto de *Asseserium* sp. já foi identificada em outras unidades globalmente (Grupo Vestertana, Noruega; Grupo Nama, Namíbia), possibilitando que a inclusão desse gênero a assembleia *Granomarginata-Lagoenaforma* seja algo viável, porém com a necessidade de mais estudos microfossilíferos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adorno, R. R., 2019, Taxonomy, paleoecology and chronobiostratigraphy across the Ediacaran-Cambrian boundary: Tamengo and Guaicurus formations [Tese de Doutorado]: Brasília, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências.
- Adorno, R.R. et al., 2019, Palaeontological analyses across the Ediacaran-Cambrian boundary, Upper Corumbá Group, Brazil: Estudios Geológicos, v. 75, p. 094, doi:10.3989/egeol.43586.549.
- Agić, H., 2016, Fossil Focus : Acritarchs: Palaeontology Online, v. 6, p. 1–13.
- Agić, H., Högström, A.E.S., Jensen, S., Ebbestad, J.O.R., Vickers-Rich, P., Hall, M., Matthews, J.J., Meinhold, G., Hoyberget, M., and Taylor, W.L., 2022, Late Ediacaran occurrences of the organic-walled microfossils *Granomarginata* and flask-shaped *Lagoenaforma collaris* gen. et sp. nov.: Geological Magazine, v. 159, p. 1071–1092, doi:10.1017/S0016756821001096.
- Agić, H., Jensen, S., Meinhold, G., Högström, A.E.S., Ebbestad, J.O.R., Høyberget, M., Palacios, T., and Taylor, W.L., 2024, Life through an Ediacaran glaciation: Shale- and

- diamictite-hosted organic-walled microfossil assemblages from the late Neoproterozoic of the Tanafjorden area, northern Norway: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 635, doi:10.1016/j.palaeo.2023.111956.
- Agić, H., Moczydłowska, M., and Yin, L., 2017, Diversity of organic-walled microfossils from the early Mesoproterozoic Ruyang Group, North China Craton – A window into the early eukaryote evolution: *Precambrian Research*, v. 297, p. 101–130, doi:10.1016/j.precamres.2017.04.042.
- Almeida, F. F. M., 1945, Geologia do sudoeste mato-grossense. *Bol. Dep. Nac. Produção Mineral* (D.N.P.M.), Rio de Janeiro, Brazil.
- Almeida, F. F. M., 1965, Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso). *Bol. Dep. Nac. Produção Mineral* (D.N.P.M.).
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B. de, Fuck, R.A., 1981, Brazilian structural provinces: An introduction: *Earth Science Reviews*, v. 17, p. 1–29, doi:10.1016/0012-8252(81)90003-9.
- Alvarenga, C.J.S. de, Santos, R.V., Dantas, E.L., 2004, C-O-Sr isotopic stratigraphy of cap carbonates overlying Marinoan-age glacial diamictites in the Paraguay Belt, Brazil: *Precambrian Research*, v. 131, p. 1–21, doi:10.1016/j.precamres.2003.12.006
- Alvarenga, C.J.S., Boggiani, P.C., Babinski, M., Dardenne, M.A., Figueiredo, M., Santos, R.V., Dantas, E.L., 2010, Chapter 2: The Amazonian Palaeocontinent. *Developments in Precambrian Geology*, v. 16, [https://doi.org/10.1016/S0166-2635\(09\)](https://doi.org/10.1016/S0166-2635(09)).
- Amorim, K.B., Afonso, J.W.L., Leme, J. de M., Diniz, C.Q.C., Rivera, L.C.M., Gómez-Gutiérrez, J.C., Boggiani, P.C., Trindade, R.I.F., 2020, Sedimentary facies, fossil distribution and depositional setting of the late Ediacaran Tamengo Formation (Brazil): *Internacional Association of Sedimentologists*, v. 67, p. 3422–3450, doi:10.1111/sed.12749.
- Anderson, R.P., McMahon, S., Macdonald, F.A., Jones, D.S., and Briggs, D.E.G., 2018, Palaeobiology of latest Ediacaran phosphorites from the upper Khesen Formation, Khuvsgul Group, northern Mongolia: *Journal of Systematic Palaeontology*, v. 17, p. 501–532, doi:10.1080/14772019.2018.1443977.
- Arouri, K., Greenwood, P.F., and Walter, M.R., 1999, A possible chlorophycean affinity of some Neoproterozoic acritarchs: *Organic Geochemistry*, v. 30, p. 1323–1337, doi:10.1016/S0146-6380(99)00105-9.
- Arrouy, M.J., Gaucher, C., Poiré, D.G., Xiao, S., Gómez, L.E., Warren, L.V., Bykova, N., and Quaglio, F., 2019, Journal of South American Earth Sciences A new record of late Ediacaran acritarchs from La providencia group (Tandilia System, Argentina) and its biostratigraphical significance: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 93, p. 283–293, doi:10.1016/j.jsames.2019.05.015.
- Arveståhl, E.H.M., and Willman, S., 2020, Organic-walled microfossils in the Ediacaran of Estonia: Biodiversity on the East European Platform: *Precambrian Research*, v. 341, p. 105626, doi:10.1016/j.precamres.2020.105626.
- 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, p. 988–997, doi:10.1016/j.gr.2012.06.011.
- Babu, R., Singh, V.K., and Mehrotra, N.C., 2014, Neoproterozoic age based on microbiotas from the Raipur Group of Baradwar sub-basin, Chhattisgarh: *Journal of the Geological Society of India*, v. 84, p. 442–448, doi:10.1007/s12594-014-0149-4.
- Baludikay, B.K., Storme, J.Y., François, C., Baudet, D., and Javaux, E.J., 2016, A diverse and exquisitely preserved organic-walled microfossil assemblage from the Meso-Neoproterozoic Mbiji-Mayi Supergroup (Democratic Republic of Congo) and implications for Proterozoic biostratigraphy: *Precambrian Research*, v. 281, p. 166–184, doi:10.1016/j.precamres.2016.05.017.
- Becker-Kerber, B., Pacheco, M.L.A.F., Rudnitzki, I.D., Galante, D., Rodrigues, F., Leme, J. de M., 2017, Ecological interactions in Cloudina from the Ediacaran of Brazil: Implications for the rise of animal biomineralization: *Scientific Reports*, v. 7, p. 1–11, doi:10.1038/s41598-

017-05753-8.

- Beghin, J., Storme, J.Y., Blanpied, C., Gueneli, N., Brocks, J.J., Poulton, S.W., and Javaux, E.J., 2017, Microfossils from the late Mesoproterozoic – early Neoproterozoic Atar/EI Mreïti Group, Taoudeni Basin, Mauritania, northwestern Africa: Precambrian Research, v. 291, p. 63–82, doi:10.1016/j.precamres.2017.01.009.
- Bengtson, S., Zhao, Y., 1992, Predatorial borings in late Precambrian mineralized exoskeletons: Science, v. 257, p. 367–369, doi:10.1126/science.257.5068.367.
- Blanco, G., and Gaucher, C., 2005, Estratigrafia, Paleontología y Edad De La Formación Las Ventanas (Neoproterozoico, Uruguay): Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, v. 12, p. 109–124.
- Boddy, C.E., Mitchell, E.G., Merdith, A., and Liu, A.G., 2022, Palaeolatitudinal distribution of the Ediacaran macrobiota: Journal of the Geological Society, v. 179, doi:10.1144/jgs2021-030.
- Boggiani, P.C., 1998, Análise Estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) - Mato Grosso do Sul [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
- Boggiani, P.C., Ferreira, V.P., Sial, A.N., Babinski, M., Trindade, R.I.F., Aceñolaza, G., Toselli, A.J., Parada, M.A., 2003, The cap carbonate of the Puga Hill (central South America) in the context of the Post-Varanger Glaciation: IV South American Symposium on Isotope Geology, p. 324–327.
- Boggiani, P.C., Gaucher, C., Sial, A.N., Babinski, M., Simon, C.M., Riccomini, C., Ferreira, V.P., Fairchild, T.R., 2010, Chemostratigraphy of the Tamengo Formation (Corumbá Group, Brazil): A contribution to the calibration of the Ediacaran carbon-isotope curve: Precambrian Research, v. 182, p. 382–401, doi:10.1016/j.precamres.2010.06.003.
- Bowring, S.A., Grotzinger, J.P., Condon, D.J., Ramezani, J., Newall, M.J., and Allen, P.A., 2007, Geochronologic constraints on the chronostratigraphic framework of the neoproterozoic Huqf Supergroup, Sultanate of Oman: American Journal of Science, v. 307, p. 1097–1145, doi:10.2475/10.2007.01.
- Buick, R., and Knoll, A.H., 1999, Acritarchs and Microfossils from the Mesoproterozoic Bangemall Group, Northwestern Australia: Journal of Paleontology, v. 73, p. 744–764.
- Buick, R., and Young, A., 2010, Ancient acritarchs: Nature, v. 463, p. 885–886.
- Butterfield, N.J., 2005, Probable Proterozoic fungi: Paleobiology, v. 31, p. 165–182, doi:10.1666/0094-8373(2005)031<0165:ppf>2.0.co;2.
- Butterfield, N.J., and Chandler, F.W., 1992, Palaeoenvironmental Distribution of Proterozoic Microfossils, with an example from the Agu Bay Formation, Baffin Island: Palaeontology, v. 35, p. 943–957, <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0027072605&partnerID=40>.
- Butterfield, N.J., Knoll, A.H., and Swett, K., 1994, Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfjellet Formation, Spitsbergen: Fossils and Strata, v. 34, p. 84, doi:10.1111/j.1502-3931.1994.tb01558.x.
- Butterfield, N.J., and Rainbird, R.H., 1998, Diverse organic-walled fossils, including “possible dinoflagellates,” from the early Neoproterozoic of arctic Canada: Geology, v. 26, p. 963–966, doi:10.1130/0091-7613(1998)026<0963:DOWFIP>2.3.CO;2.
- Caxito, F.A., Sperling, E., Fazio, G., Adorno, R.R., Denezine, M., Do Carmo, D.A., Giorgioni, M., Uhlein, G.J., and Sial, A.N., 2024, A shift in redox conditions near the Ediacaran/Cambrian transition and its possible influence on early animal evolution, Corumbá Group, Brazil: Geoscience Frontiers, v. 15, p. 101810, doi:10.1016/j.gsf.2024.101810.
- Chai, S., Hua, H., Ren, J., Dai, Q., and Cui, Z., 2021, Vase-shaped microfossils from the late Ediacaran Dengying Formation of Ningqiang, South China: taxonomy, preservation and biological affinity: Precambrian Research, v. 352, p. 105968, doi:10.1016/j.precamres.2020.105968.
- Chiglino, L., Gaucher, C., Sial, A.N., and Ferreira, V.P., 2015, Acritarchs of the ediacaran frecheirinha formation, Ubajara group, Northeastern Brazil: Anais da Academia Brasileira de Ciencias, v. 87, p. 635–649, doi:10.1590/0001-3765201520140430.

- Cohen, P.A., Knoll, A.H., and Kodner, R.B., 2009, Large spinose microfossils in Ediacaran rocks as resting stages of early animals: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, p. 6519–6524, doi:10.1073/pnas.0902322106.
- Cortijo, I., Martí Mus, M., Jensen, S., and Palacios, T., 2015, Late Ediacaran skeletal body fossil assemblage from the Navalpino anticline, central Spain: Precambrian Research, v. 267, p. 186–195, doi:10.1016/j.precamres.2015.06.013.
- Damassa, S.P., and Knoll, A.H., 1986, Micropalaeontology of the Late Proterozoic Arcoona Quartzite Member of the Tent Hill Formation, Stuart Shelf, South Australia: Alcheringa, v. 10, p. 417–430, doi:10.1080/03115518608619150.
- Denezine, M., Do Carmo, D.A., Xiao, S., Tang, Q., Sergeev, V.N., Mazoni, A.F., and Zabini, C., 2024, Organic-walled microfossils from the Ediacaran Sete Lagoas Formation, Bambuí Group, Southeast Brazil: Taxonomic and biostratigraphic analyses: Journal of Paleontology, doi:10.1017/jpa.2023.83.
- Diniz, C.Q.C., 2022, Icnofósseis das Formações Tamengo e Guaicurus, Grupo Corumbá: Implicações Paleoambientais e Paleoecológicas [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
- Diniz, C.Q.C., Leme, J. de M., and Boggiani, P.C., 2021, New Species of Macroalgae from Tamengo Formation, Ediacaran, Brazil: Frontiers in Earth Science, v. 9, p. 1–11, doi:10.3389/feart.2021.748876.
- Dorning, K., 1981, Silurian acritarch distribution in the Ludlovian shelf sea of South Wales and the Welsh Borderland: Microfossils from Recent and fossil shelf seas: p. 31–36
- Downie, C., Sarjeant, W.A.S., 1963, On the interpretation and status of some hystrichosphere genera: Paleontology, v. 6, p. 83–96.
- Downie, C., Evitt, W.R., and Sarjeant, W.A.S., 1963, Dinoflagellates, hystrichospheres and the classification of the acritarchs: Geological Sciences, v. 7, p. 16.
- Eisenack, A., 1958a, Microfossilien aus dem Ordovizium des Baltikums, 1, Markasitschicht, Dictyonema-Scheifer, Glaukonitsand, Glaukonitkalk: Senckenbergian Lethaea, v. 39, p. 389–404. (In Russian)
- Eisenack, A., 1958b, *Tasmanites* Newton 1875 und Leiosphaeridia n.g. als Gattungen der Hystrichosphaeridea: Palaeontographica, v. 110, p. 1–19.
- Evitt, W.R., 1963, A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs: Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 49, p. 158–164, doi:10.1073/pnas.49.3.298.
- Fairchild, T.R., Sanchez, E.A.M., Pacheco, M.L.A.F., and Leme, J. de M., 2012, Evolution of Precambrian life in the Brazilian geological record: International Journal of Astrobiology, v. 11, p. 309–323, doi:10.1017/S1473550412000183.
- Faizullin, M.Sh., 1998, New data on the Baikalian microfossils of the Patom Upland. Geologiya i geofizika 39 (3), 328–337 (em Russo)
- Félix, C.M., and Souza, P.A., 2012, Acritarcos (grupo acritarcha evitt 1963): conceitos gerais, aplicações e importância na análise estratigráfica do intervalo pennsilvaniano e permiano da Bacia do Paraná: Revista do Instituto Geológico, v. 33, p. 71–88, doi:10.5935/0100-929x.20120005.
- Fensome, R.A., Williams, G.L., Bars, M.S., Freeman, J.M., and Hill, J.M., 1990, Acritarchs and Fossil Prasinophytes: An Index to Genera, Species and Intraspecific Taxa: American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation Contributions, p. 771.
- Fernandes, H.A., Boggiani, P.C., Afonso, J.W.L., Amorim, K.B., Trindade, R.I.F., 2022, Sedimentary and tectonic breccias at the base of the Ediacaran Tamengo Formation (Corumbá Group): a comparative study: Brazilian Journal of Geology, v. 52, doi:10.1590/2317-4889202220210062.
- Fernandes, H.A., Boggiani, P.C., Viana, A.Z., Caetano-Filho, S., Pereira, L.G., Freitas, B.T., Hippertt, J.P.T.M., Morais, L., and Trindade, R.I.F., 2024, Chemostratigraphy of the late Ediacaran Tamengo Formation (Corumbá Group, Brazil): Journal of South American Earth Sciences, v. 133.
- Freitas, B.T., Warren, L.V., Boggiani, P.C., Almeida, R.P. de, Piacentini, T., 2011, Tectono-sedimentary evolution of the Neoproterozoic BIF-bearing Jacadigo Group, SW-Brazil:

- Sedimentary Geology, v. 238, p. 48–70, doi:10.1016/j.sedgeo.2011.04.001.
- Gaucher, C., 2000, Sedimentology, Palaeontology and Stratigraphy of the Arroyo Del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay): Würzburg, Beringeria, 120 p.
- Gaucher, C., Blanco, G., Chiglino, L., Poiré, D.G., and Germs, G.J.B., 2008, Acritarchs of Las Ventanas Formation (Ediacaran, Uruguay): Implications for the timing of coeval rifting and glacial events in western Gondwana: Gondwana Research, v. 13, p. 488–501, doi:10.1016/j.gr.2007.05.008.
- Gaucher, C., Boggiani, P.C., Sprechmann, P., Sial, A.N., 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, p. 241–278, doi:10.1016/S0301-9268(02)00140-7.
- Gaucher, C., Frimmel, H.E., and Germs, G.J.B., 2005a, Organic-walled micro-fossils and biostratigraphy of the upper Port Nolloth Group (Namibia): implications for latest Neoproterozoic glaciations: Geological Magazine, v. 142, p. 539–559.
- Gaucher, C., and Germs, G.J.B., 2003, Preliminary biostratigraphic correlation of the Arroyo del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay) with the Cango Caves and Nama groups (South Africa and Namibia): Revista de la Sociedad Uruguaya Geología, p. 141–160.
- Gaucher, C., Poire, D.G., Peral, L.G., and Chiglino, L., 2005b, Litoestratigrafia, Bioestratigrafia y Correlaciones De Las Sucesiones Sedimentarias Del Neoproterozoico-Cambrico Del Craton Del Rio De La Plata (Uruguay y Argentina): Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis, v. 12, p. 145–160.
- Gaucher, C., and Germs, G.J.B., 2006, Recent advances in South African Neoproterozoic-early Palaeozoic biostratigraphy: Correlation of the Cango Caves and Gamtoos Groups and acritarchs of the Sardinia Bay Formation, Saldania Belt: South African Journal of Geology, v. 109, p. 193–214, doi:10.2113/gssajg.109.1-2.193.
- Gaucher, C., Chiglino, L., and Peqits, E., 2004, Southernmost exposures of the Arroyo del soldado group (Vendian to Cambrian, Uruguay) : Palaeogeographic implications for the amalgamation of W-Gondwana: Gondwana Research, v. 7, p. 701–714, doi:10.1016/S1342-937X(05)71057-1.
- Gaucher, C., and Sprechmann, P., 2009, Neoproterozoic Acritarch Evolution: Elsevier, v. 16, 319–326 p., doi:10.1016/S0166-2635(09)01622-3.
- Germs, G.J.B., Knoll, A.H., and Vidal, G., 1986, Latest proterozoic microfossils from the nama group, namibia (south west Africa): Precambrian Research, v. 32, p. 45–62.
- Golubkova, E.Y., Kushim, E.A., Kuzmenkova, O.F., Laptsevich, A.G., Plotkina, Y.V., and Silivanov, M.O., 2023, Stratigraphic Distribution of Fossil Organisms in the Upper Vendian Deposits of the Central and Southwestern Regions of the East European Platform: Paleontological Journal, v. 57, p. S211–S236, doi:10.1134/S0031030124600124.
- Golubkova, E.Y., Kuzmenkova, O.F., Kushim, E.A., Laptsevich, A.G., Mankievič, S.S., and Plotkina, Y.V., 2021, Distribution of Microfossils in the Vendian Deposits of the Orsha Depression of the East European Platform, Belarus: Stratigraphy and Geological Correlation, v. 29, p. 627–640, doi:10.1134/S0869593821060034.
- Golubkova, E.Yu., Raevskaya, E.G., Kuznetsov, A.B., 2010. Lower Vendian microfossil assemblages of East Siberia: significance for solving regional stratigraphic problems. Stratigraphy Geological Correlation 18 (4), 353–375.
- Grey, K., 2005, Ediacaran Palynology of Australia. *Memoir 31 of the Association of Australasian Palaeontologists*: 439 p.
- Han, C.M. et al., 2021, First record of organic-walled microfossils from the Tonian Shiwangzhuang Formation of the Tumen Group in western Shandong, North China: Palaeoworld, v. 30, p. 208–219, doi:10.1016/j.palwor.2020.06.007.
- Hiatt, E.E., Pufahl, P.K., Guimarães da Silva, L., 2020, Iron and phosphorus biochemical systems and the Cryogenian-Ediacaran transition, Jacadigo basin, Brazil: Implications for the Neoproterozoic oxygenation event: Precambrian Research, v. 337, p. 105533, doi:10.1016/j.precamres.2019.105533.
- Hidalgo, R.L.L., 2002, Análise Micropaleontológica das Formações Tamengo e Guaicurus,

- Grupo Corumbá (MS), e Formação Araras (MT), transição do Neoproterozóico-Fanerozóico [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
- Hippertt, J.P.T.M., Rudnitzki, I.D., Morais, L., Freitas, B.T., Romero, G.R., Fernandes, H.A., Leite, M.G.P., Leme, J. de M., Boggiani, P.C., Trindade, R.I.F., 2023, Sedimentary evolution and sequence stratigraphy of Ediacaranhigh-grade phosphorite–dolomite–shale successions of theBocaina Formation (Corumbá Group), Central Brazil:Implications for the Neoproterozoic phosphogenic event: *Internacional Association of Sedimentologists*, v. 70, p. 2371–2422.
- Hofmann, H.J., and Jackson, G.D., 1994, Shale-facies microfossils from the Proterozoic Bylot Supergroup, Baffin Island, Canada: *Journal of Paleontology*, v. 68, p. 1–35, doi:10.1017/s0022336000062314.
- Huntley, J.H., Xiao, S., and Kowalewski, M., 2006, 1.3 Billion years of acritarch history: An empirical morphospace approach: *Precambrian Research*, v. 144, p. 52–68, doi:10.1016/j.precamres.2005.11.003.
- Jankauskas, T.V., Mikhailova, N.S., and German, T.N., 1989, Mikrofossilii Dokembriya SSSR (Precambrian Microfossils of the USSR): Leningrad, Nauka, p. 191.
- Javaux, E.J., 2007, The early eukaryotic fossil record, in *Advances in Experimental Medicine and Biology*, v. 607, p. 1–19, doi:10.1007/978-0-387-74021-8_1.
- Javaux, E.J., and Knoll, A.H., 2017, Micropaleontology of the lower Mesoproterozoic Roper Group, Australia, and implications for early eukaryotic evolution: *Journal of Paleontology*, v. 91, p. 199–229, doi:10.1017/jpa.2016.124.
- Javaux, E.J., Knoll, A.H., and Walter, M.R., 2004, TEM evidence for eukaryotic diversity in mid-Proterozoic oceans: *Geobiology*, v. 2, p. 121–132, doi:10.1111/j.1472-4677.2004.00027.
- Javaux, E.J., Knoll, A.H., and Walter, M.R., 2004, TEM evidence for eukaryotic diversity in mid-Proterozoic oceans: *Geobiology*, v. 2, p. 121–132, doi:10.1111/j.1472-4677.2004.00027.x.
- Javaux, E.J., and Lepot, K., 2018, The Paleoproterozoic fossil record: Implications for the evolution of the biosphere during Earth's middle-age: *Earth-Science Reviews*, v. 176, p. 68–86, doi:10.1016/j.earscirev.2017.10.001.
- Javaux, E.J., Marshal, C.P., 2006, A new approach in deciphering early protist paleobiology and evolution: Combined microscopy and microchemistry of single Proterozoic acritarchs: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 139, p. 1–15, doi:10.1016/j.revpalbo.2006.01.005.
- Javaux, E.J., Marshall, C.P., and Bekker, A., 2010, Organic-walled microfossils in 3.2-billion-year-old shallow-marine siliciclastic deposits: *Nature*, v. 463, p. 934–938, doi:10.1038/nature08793.
- Jin, C., Li, C., Algeo, T.J., O'Connell, B., Cheng, M., Shi, W., Shen, J., and Planavsky, N.J., 2018, Highly heterogeneous “poikiloredox” conditions in the early Ediacaran Yangtze Sea: *Precambrian Research*, v. 311, p. 157–166, doi:10.1016/j.precamres.2018.04.012.
- Jones, J.P., 1985, The southern border of the Guaporé shield in Western Brazil and Bolivia: an interpretation of its geologic evolution: *Precambrian Research*, v. 28, p. 111–135.
- Knoll, A.H., 1994, Proterozoic and early Cambrian protists: Evidence for accelerating evolutionary tempo: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 91, p. 6743–6750, doi:10.1073/pnas.91.15.6743.
- Knoll, A.H., Germs, G.J.B., Tankard, A., and Welsink, H., 2020, Tonian microfossils from subsurface shales in Botswana: *Precambrian Research*, v. 345, p. 105779, doi:10.1016/j.precamres.2020.105779.
- Knoll, A.H., Javaux, E.J., Hewitt, D., and Cohen, P., 2006, Eukaryotic organisms in Proterozoic oceans: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 361, p. 1023–1038, doi:10.1098/rstb.2006.1843.
- Kolosova, S.P., 1991, Late Precambrian acanthomorphic microfossils from the eastern Siberian platform: *Algologiya*, v. 1, p. 53–59.

- Lahr, D.J.G. et al., 2019, Phylogenomics and Morphological Reconstruction of Arcellinida Testate Amoebae Highlight Diversity of Microbial Eukaryotes in the Neoproterozoic: *Current Biology*, v. 29, p. 991- 1001.e3, doi:10.1016/j.cub.2019.01.078.
- Lehn, I., Gomes Paim, P.S., and Chemale, F., 2022, Integrated correlation of the Camaquã Basin (Southernmost Brazil) with other Ediacaran units of southwestern Proto-Gondwana: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 116, doi:10.1016/j.jsames.2022.103812.
- Lehn, I., Horodyski, R.S., and Paim, P.S.G., 2019, Marine and non-marine strata preserving Ediacaran microfossils: *Scientific Reports*, v. 9, p. 1–8, doi:10.1038/s41598-019-46304-7.
- Lei, Y., Shen, J., Algeo, T.J., Servais, T., Feng, Q., and Yu, J., 2019, Phytoplankton (acritarch) community changes during the Permian-Triassic transition in South China: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 519, p. 84–94, doi:10.1016/j.palaeo.2018.09.033.
- Leme, J. de M., Van Iten, H., Simões, M.G., 2022, A New Conulariid (Cnidaria, Scyphozoa) From the Terminal Ediacaran of Brazil: *Frontiers in Earth Science*, v. 10, p. 1–13, doi:10.3389/feart.2022.777746.
- Lenton, T.M., Boyle, R.A., Poulton, S.W., Shields-Zhou, G.A., and Butterfield, N.J., 2014, Co-evolution of eukaryotes and ocean oxygenation in the Neoproterozoic era: *Nature Geoscience*, v. 7, p. 257–265, doi:10.1038/ngeo2108.
- Li, G., Pang, K., Chen, L., Zhou, G., Han, C., Yang, L., Wang, W., Yang, F., and Yin, L., 2019, Organic-walled microfossils from the Tonian Tongjiazhuang Formation of the Tumen Group in western Shandong, North China Craton and their biostratigraphic significance: *Gondwana Research*, v. 76, p. 260–289, doi:10.1016/j.gr.2019.06.007.
- Linnemann, U. et al., 2019, New high-resolution age data from the Ediacaran–Cambrian boundary indicate rapid, ecologically driven onset of the Cambrian explosion: *Terra Nova*, v. 31, p. 49–58.
- Liu, P., Xiao, S., Yin, C., Chen, S., Zhou, C., and Li, M., 2014, Ediacaran Acanthomorphic Acritarchs and Other Microfossils from Chert Nodules of the Upper Doushantuo Formation in the Yangtze Gorges Area, South China: *Journal of Paleontology*, v. 88, p. 1–139, doi:10.1666/13-009.
- Loron, C.C., Halverson, G.P., Rainbird, R.H., Skulski, T., Turner, E.C., and Javaux, E.J., 2021, Shale-hosted biota from the Dismal Lakes Group in Arctic Canada supports an early Mesoproterozoic diversification of eukaryotes: *Journal of Paleontology*, v. 95, p. 1113–1137, doi:10.1017/jpa.2021.45.
- Lottaroli, F., Craig, J., and Thusu, B., 2014, Neoproterozoic-Early Cambrian (Infracambrian) hydrocarbon prospectivity of North Africa: A synthesis: *Geological Society Special Publication*, v. 326, p. 137–156, doi:10.1144/SP326.7.
- Litherland, M. et al., 1986, The geology and mineral resources of the Bolivian Precambrian shield. *Overseas Mem. British Geological Survey*, n. 9.
- Marshall, C.P., Javaux, E.J., Knoll, A.H., and Walter, M.R., 2005, Combined micro-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and micro-Raman spectroscopy of Proterozoic acritarchs: A new approach to Palaeobiology: *Precambrian Research*, v. 138, p. 208–224, doi:10.1016/j.precamres.2005.05.006.
- Martin, F., 1993, Acritarchs : a review: *Biological Review*, v. 68, p. 475–538.
- McGee, B., Babinski, M., Trindade, R., Collins, A.S., 2018, Tracing final Gondwana assembly: Age and provenance of key stratigraphic units in the southern Paraguay Belt, Brazil: *Precambrian Research*, v. 307, p. 1–33, doi:10.1016/j.precamres.2017.12.030.
- Miao, L., Moczydłowska, M., Zhu, S., and Zhu, M., 2019, New record of organic-walled, morphologically distinct microfossils from the late Paleoproterozoic Changcheng Group in the Yanshan Range, North China: *Precambrian Research*, v. 321, p. 172–198, doi:10.1016/j.precamres.2018.11.019.
- Mikhailova, N.S., 1986, Novye nakhodki mikrofitofossilij iz otlozhenij verkh- nego rifeya Krasnoyarskogo kraja in Sokolov, B.S., ed., *Aktual 'nye Voprosy Sovremennoj*: Kyiv, Naukova Dumka, p. 31–37.
- Moczydłowska, M., 2016, Algal affinities of Ediacaran and Cambrian organic-walled microfossils with internal reproductive bodies: *Tanarium* and other morphotypes:

- Palynology, v. 40, p. 83–121, doi:10.1080/01916122.2015.1006341.
- Moczydłowska, M., Landing, E., Zang, W., and Palacios, T., 2011, Proterozoic phytoplankton and timing of chlorophyte algae origins: *Palaeontology*, v. 54, p. 721–733.
- Moczydłowska, M., and Nagovitsin, K.E., 2012, Ediacaran radiation of organic-walled microbiota recorded in the Ura Formation, Patom Uplift, East Siberia: *Precambrian Research*, v. 198–199, p. 1–24, doi:10.1016/j.precamres.2011.12.010.
- Moczydłowska, M., Vidal, G., and Rudavskaya, V.A., 1993, Neoproterozoic (Vendian) phytoplankton from the Siberian Platform, Yakutia.pdf: *Palaeontology*, v. 36, p. 495–521.
- Montenari, M.; Leppig, U. 2003. The Acritarcha: their classification morphology, ultrastructure and palaeoecological/palaeogeographical distribution. *Paläontologische Zeitschrift*, 77: 173–194.
- Morais, L., 2017, Sistemática E Tafonomia De Microfósseis Vasiformes Neoproterozoicos Do Brasil E Seu Significado Paleoecológico e Filogenético [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.
- Morais, L., Fairchild, T.R., Freitas, B.T., Rudnitzki, I.D., Silva, E.P., Lahr, D., Moreira, A.C., Abrahão Filho, E.A., Leme, J. de M., and Trindade, R.I.F., 2021a, Doushantuo-Pertatataka—Like Acritarchs From the Late Ediacaran Bocaina Formation (Corumbá Group, Brazil): *Frontiers in Earth Science*, v. 9, doi:10.3389/feart.2021.787011.
- Morais, L., Fairchild, T.R., Lahr, D.J.G., 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, p. 393–406, doi:10.1017/jpa.2017.16.
- Morais, L. et al., 2024, Dawn of diverse shelled and carbonaceous animal microfossils at ~ 571 Ma: *Scientific reports*, v. 14, p. 14916, doi:10.1038/s41598-024-65671-4.
- Morais, L. et al., 2021b, Diverse vase-shaped microfossils within a Cryogenian glacial setting in the Urucum For, mation (Brazil): *Precambrian Research*, v. 367, p. 106470, doi:10.1016/j.precamres.2021.106470.
- Morais, L., Lahr, D.J.G., Rudnitzki, I.D., Freitas, B.T., Romero, G.R., Porter, S.M., Knoll, A.H., Fairchild, T.R., 2019, Insights into vase-shaped microfossil diversity and Neoproterozoic biostratigraphy in light of recent Brazilian discoveries: *Journal of Paleontology*, v. 93, p. 612–627, doi:10.1017/jpa.2019.6.
- Nagovitsin, K.E., and Kochnev, B.B., 2015, Microfossils and biofacies of the Vendian fossil biota in the southern Siberian Platform: *Russian Geology and Geophysics*, v. 56, p. 584–593, doi:10.1016/j.rgg.2015.03.009.
- Naumova, S.N., 1949, Spory nizhnego kembriya (Spores of the lower Cambrian): *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Seriya Geologicheskaya*, v. 4, p. 49–56.
- Nemerov, V.K., Stanevich, A.M., Razvozzhaeva, E.A., Budyak, A.E., and Kornilova, T.A., 2010, Biogenic sedimentation factors of mineralization in the Neoproterozoic strata of the Baikal-Patom region: *Russian Geology and Geophysics*, v. 51, p. 572–586, doi:10.1016/j.rgg.2010.04.012.
- Oliveira, R.S., Nogueira, A.C.R., Romero, G.R., Truckenbrodt, W., and da Silva Bandeira, J.C., 2019, Ediacaran ramp depositional model of the Tamengo Formation, Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 96, doi:10.1016/j.jsames.2019.102348.
- Pacheco, M.L.A.F. et al., 2015, Insights into the skeletonization, lifestyle, and affinity of the unusual ediacaran fossil Corumbella: *PLoS ONE*, v. 10, p. 1–19, doi:10.1371/journal.pone.0114219.
- Pandey, S.K., Singh, D., Sharma, M., Ahmad, S., and Bhan, U., 2023, ScienceDirect A new palaeobiological assemblage from the Son Valley Bhander Group and its implications on the age of the upper Vindhyanas of India: *Palaeoworld*, v. 33, p. 801–828, doi:10.1016/j.palwor.2023.06.001.
- Pang, K., Tang, Q., Wan, B., and Yuan, X.L., 2020a, New insights on the palaeobiology and biostratigraphy of the acritarch Trachyhystrichosphaera aimika: A potential late Mesoproterozoic to Tonian index fossil: *Palaeoworld*, v. 29, p. 476–489, doi:10.1016/j.palwor.2020.02.003.
- Pang, K., Tang, Q., Wu, C., Li, G., Chen, L., Wan, B., Yuan, X., Bodnar, R.J., and Xiao, S.,

- 2020b, Raman spectroscopy and structural heterogeneity of carbonaceous material in Proterozoic organic-walled microfossils in the North China Craton: Precambrian Research, v. 346, p. 105818, doi:10.1016/j.precamres.2020.105818.
- Parry, L.A. et al., 2017, Ichnological evidence for meiofaunal bilaterians from the terminal Ediacaran and earliest Cambrian of Brazil: Nature Ecology and Evolution, v. v. 1, p. 1455–1464, doi:10.1038/s41559-017-0301-9.
- Penny, A.M., Wood, R., Curtis, A., Bowyer, F., Tostevin, R., Hoffman, K.H., 2014, Ediacaran metazoan reefs from the Nama Group, Namibia: Science, v. 344, p. 1504–1506, doi:10.1126/science.1253393.
- 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, p. 48–62, doi:10.1016/j.precamres.2013.01.002.
- Porter, S.M., Meisterfeld, R., and Knoll, A.H., 2003, Vase-Shaped Microfossils From the Neoproterozoic Chuar Group, Grand Canyon: a Classification Guided By Modern Testate Amoebae: Journal of Paleontology, v. 77, p. 409–429, doi:10.1666/0022-3360(2003)077<0409:vmftnc>2.0.co;2.
- Porter, S.M., and Riedman, L.A., 2016, Systematics of organic-walled microfossils from the ca. 780–740 Ma Chuar Group, Grand Canyon, Arizona: Journal of Paleontology, v. 90, p. 815–853, doi:10.1017/jpa.2016.57.
- Prasad, B., Asher, R., and Borgohai, B., 2010, Late Neoproterozoic (Ediacaran)-Early Paleozoic (Cambrian) acritarchs from the marwar supergroup, Bikaner-Nagaur Basin, Rajasthan: Journal of the Geological Society of India, v. 75, p. 415–431, doi:10.1007/s12594-010-0038-4.
- Prasad, B., Uniyal, S.N., and Asher, R., 2005, Organic-walled microfossils from the Proterozoic Vindhyan Supergroup of Son Valley, Madhya Pradesh, India: Journal of Palaeosciences, v. 54, p. 13–60, doi:10.54991/jop.2005.68.
- Pykhova, N.G., 1973, Dokembriskie akritarhi Moskovskogo graben i Yuzh-nogo: Obshchestva Ispitateli Prirody Otdel Geologicheskii Novaya, v. 48, p. 91–107.
- Retallack, G.J., 2015, Acritarch Evidence for an Ediacaran Adaptive Radiation of Fungi: Botanica Pacifica, doi:10.17581/bp.2015.04203.
- Riedman, L.A., and Porter, S.M., 2016, Organic-walled microfossils of the mid-Neoproterozoic Alinya Formation, Officer Basin, Australia: Journal of Paleontology, v. 90, p. 854–887, doi:10.1017/jpa.2016.49.
- Riedman, L.A., Porter, S.M., Halverson, G.P., Hurtgen, M.T., and Junium, C.K., 2014, Organic-walled microfossil assemblages from glacial and interglacial Neoproterozoic units of Australia and Svalbard: Geology, v. 42, p. 1011–1014, doi:10.1130/G35901.1.
- Rooney, A.D., Cantine, M.D., Bergmann, K.D., Gómez-Pérez, I., Baloushi, B.A., Boag, T.H., Busch, J.F., Sperling, E.A., Strauss, J.V., 2020, Calibrating the coevolution of Ediacaran life and environment: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 117, p. 16824–16830, doi:10.1073/pnas.2002918117.
- Sabouri, J., Frahani, B., and Narimani, H., 2003, Discovery of index microfossil Cochleatina from the top of the Kahar Formation in Firooz-Abad section of Chalus and analysis of the age of this formation in Iran: In Proceedings of the 21th Symposium on Geosciences. Tehran: Geological Survey of Iran.
- Sanchez, E.A.M., and Fairchild, T.R., 2018, Reavaliação De Fósseis Do Grupo Bambuí: Implicações Paleobiológicas Para O Neoproterozoico Tardio Do Brasil: Geonomos, v. 25, p. 1–11, doi:10.18285/geonomos.v25i2.1076.
- Schopf, J.W., Sergeev, V.N., and Kudryavtsev, A.B., 2015, A new approach to ancient microorganisms: Taxonomy, paleoecology, and biostratigraphy of the Lower Cambrian Berkuta and Chulaktau microbiotas of South Kazakhstan: Journal of Paleontology, v. 89, p. 695–729, doi:10.1017/jpa.2015.56.
- Sergeev, V.N., 2001, Paleobiology of the Neoproterozoic (Upper Riphean) Shorikha and Burovaya silicified microbiotas, Turukhansk Uplift, Siberia: Journal of Paleontology, v. 75, p. 427–448, doi:10.1017/s0022336000018229.

- Sergeev, V.N., Knoll, A.H., Vorob'eva, N.G., and Sergeeva, N.D., 2016, Microfossils from the lower Mesoproterozoic Kaltasy Formation, East European Platform: Precambrian Research, v. 278, p. 87–107, doi:10.1016/j.precamres.2016.03.015.
- Sergeev, V.N., and Lee, S.-J., 2004, New data on silicified microfossils from the Satka Formation of the lower Riphean Stratotype, the Urals: Stratigraphy and Geological Correlation, v. 12, p. 1–21.
- Sergeev, V.N., and 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, p. 363–401, doi:10.1666/09-133.1.
- Sergeev, V.N., Sharma, M., and Shukla, Y., 2008, Mesoproterozoic silicified microbiotas of Russia and India's Characteristics and Contrasts: Journal of Palaeosciences, v. 57, p. 323–358, doi:10.54991/jop.2008.251.
- Sergeev, V.N., Vorob'eva, N.G., and Yu. Petrov, P., 2017a, The biostratigraphic conundrum of Siberia: Do true Tonian–Cryogenian microfossils occur in Mesoproterozoic rocks? Precambrian Research, v. 299, p. 282–302, doi:10.1016/j.precamres.2017.07.024.
- Sergeev, V.N., Vorob'eva, N.G., Yu. Petrov, P., and Semikhatov, M.A., 2017b, Taxonomic composition and biostratigraphic value of the Early Riphean organic-walled microfossil association from the Ust'-Il'y'a Formation of the Anabar Uplift, Northern Siberia: Stratigraphy and Geological Correlation, v. 25, p. 241–255, doi:10.1134/S086959381703008X.
- Shang, X., Liu, P., and Moczydłowska, M., 2019, Acritarchs from the Doushantuo Formation at Liujing section in Songlin area of Guizhou Province, South China: Implications for early–middle Ediacaran biostratigraphy: Precambrian Research, v. 334, doi:10.1016/j.precamres.2019.105453.
- Shukla, Y., Sharma, M., and Sergeev, V.N., 2020, Organic walled microfossils from the Neoproterozoic Owk Shale, Kurnool: Palaeoworld, v. 29, p. 490–511, doi:10.1016/j.palwor.2019.08.002.
- Singh, V.K., and Sharma, M., 2016, Mesoproterozoic organic-walled microfossils from the chaporadih formation, chandarpur group, Chhattisgarh supergroup, Odisha, India: Journal of the Palaeontological Society of India, v. 61, p. 75–84.
- Stanevich, A.M., Maksimova, E.N., Kornilova, T.A., Gladkochub, D.P., Mazukabzov, A.M., and Donskaya, T.V., 2009, Microfossils from the Arymas and Debengda formations, the Riphean of the Olenek Uplift: Age and presumable nature: Stratigraphy and Geological Correlation, v. 17, p. 20–35, doi:10.1134/S086959380901002X.
- Staplin, F.L., 1969, Sedimentary organic matter, organic metamorphism and oil and gas occurrence: Canadian Petroleum Geology, v. 17, p. 47–66.
- Strother, P.K., 1994, Sedimentation of palynomorphs in rocks of pre-Devonian age: Sedimentation of Organic Particles, Cambridge, p. 489–502.
- Strother, P.K., 1996, Acritarchs. In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds.), Palynology: Principles and Applications, 1. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, pp. 81–106.
- Suslova, E.A., Parfenova, T.M., Saraev, S.V., and Nagovitsyn, K.E., 2017, Organic geochemistry of rocks of the Mesoproterozoic Malgin Formation and their depositional environments (southeastern Siberian Platform): Russian Geology and Geophysics, v. 58, p. 516–528, doi:10.1016/j.rgg.2016.09.027.
- Talyzina, N.M., and Moczydłowska, M., 2000, Morphological and ultrastructural studies of some acritarchs from the Lower Cambrian Lukati Formation, Estonia: Review of Palaeobotany and Palynology, v. 112, p. 1–21, doi:10.1016/S0034-6667(00)00032-4.
- Tang, Q., Pang, K., Xiao, S., Yuan, X., Ou, Z., and Wan, B., 2013, Organic-walled microfossils from the early Neoproterozoic Liulaobei Formation in the Huainan region of North China and their biostratigraphic significance: Precambrian Research, v. 236, p. 157–181, doi:10.1016/j.precamres.2013.07.019.
- Tang, Q., Pang, K., Yuan, X., Wan, B., and Xiao, S., 2015, Organic-walled microfossils from the Tonian Gouhou Formation, Huabei region, North China Craton, and their

- biostratigraphic implications: *Precambrian Research*, v. 266, p. 296–318, doi:10.1016/j.precamres.2015.05.025.
- Tang, Q., Pang, K., Li, G., Chen, L., Yuan, X., Sharma, M., and Xiao, S., 2021, The Proterozoic macrofossil Tawuia as a coenocytic eukaryote and a possible macroalga: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 576, p. 110485, doi:10.1016/j.palaeo.2021.110485.
- Tang, Q., Pang, K., Yuan, X., Wan, B., and Xiao, S., 2015, Organic-walled microfossils from the Tonian Gouhou Formation, Huabei region, North China Craton, and their biostratigraphic implications: *Precambrian Research*, v. 266, p. 296–318, doi:10.1016/j.precamres.2015.05.025.
- Tang, Q. et al., 2019, A problematic animal fossil from the early Cambrian Hetang Formation, South China - A reply: *Journal of Paleontology*, v. 93, p. 1279–1282, doi:10.1017/jpa.2019.69.
- Tappan, H. 1980. The Paleobiology of Plant Protists. W.H. Freeman, San Francisco, 1028 pp
- Timofeev, B.V., 1959, Drevneishaja flora Pribaltici i ee stratigraficheskoe znachenie. (The oldest flora of the Baltic Provinces and its stratigraphical significance): Tr. VNIGRI, p. 129.
- Timofeev, B.V., 1966, Mikropaleofitologicheskoe issledovanie drevnikh svit (Micropaleophytological Investigation into Ancient Formations): Nauka, p. 1–147.
- Timofeev, B.V., 1969, Proterozoic sphaeromorphs: Leningrad, Nauka, p. 146.
- Tiwari, M., and Pant, C.C., 2004, Organic-walled microfossils from the Neoproterozoic black phosphatic stringers in the Gangolihat Dolomite, Lesser Himalaya, India.: *Current Science*, v. 87, p. 1733–1738, <http://www.jstor.org/stable/24109774>.
- Tiwari, M., and Pant, I., 2009, Microfossils from the Neoproterozoic Gangolihat Formation, Kumaun Lesser Himalaya: Their stratigraphic and evolutionary significance: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 35, p. 137–149, doi:10.1016/j.jseas.2009.01.008.
- Tobias, T.C., 2014, Micropaleontologia da Formação Tamengo, eco parque cacimba da saúde, ediacarano, grupo corumbá, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil [Dissertação de Mestrado]: Brasília, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências.
- Toniolo, T. de F., 2023, Tafonomia e sistemática dos microfósseis das formações Tamengo e Guaicurus (Grupo Corumbá, faixa Paraguai Sul) e suas implicações paleoambientais [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi:10.11606/T.44.2023.tde-09112023-081950.
- Traverse, A. 1988. Paleopalynology. Unwin Hyman, Boston, 600 pp
- Trompette, R., 1994, Geology of Western Gondwana (2000-500): Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. Balkema, Rotterdam: 350 p.
- Trompette, R., Alvarenga, C.J.S. de, Walde, D.H.G., 1998, Geological evolution of the Neoproterozoic Corumba graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, p. 587–597, doi:10.1016/S0895-9811(98)00036-4.
- Turnau, E., and Racki, G., 1999, Givetian palynostratigraphy and palynofacies: New data from the Bodzentyn Syncline (Holy Cross Mountains, central Poland): *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 106, p. 237–271, doi:10.1016/S0034-6667(99)00011-1.
- Tyson, R.V., 1995, Sedimentary Organic Matter, Chapman & Hall: 615 p., 10.1007/978-94-011-0739-6.
- Vidal, G., 1974, Late Precambrian microfossils from the basal sandstone unit of the Visingsoe Beds, South Sweden: *Geologica et Palaeontologica*, v. 8, p. 1–14, <http://search.proquest.com/docview/52301749?accountid=145004>.
- Vidal, G., and Ford, T.D., 1985, Microbiotas from the late proterozoic chuar group (northern Arizona) and uinta mountain group (Utah) and their chronostratigraphic implications: *Precambrian Research*, v. 28, p. 349–389, doi:10.1016/0301-9268(85)90038-5.
- Volkova, N.A., 1968, Acritarchs of the Precambrian and Lower Cambrian deposits of Estonia: Leningrad, Nauka, p. 8–36.
- Vorob'eva, N.G., and Petrov, P.Y., 2014, The genus Vendomyces Burzin and facies-ecological specificity of the Staraya Rechka microbiota of the Late Vendian of the Anabar Uplift of

- Siberia and its stratigraphic analogues: Paleontological Journal, v. 48, p. 655–666, doi:10.1134/S003103011406015X.
- Vorob'eva, N.G., Sergeev, V.N., and Knoll, A.H., 2009, Neoproterozoic microfossils from the northeastern margin of the East European Platform: Journal of Paleontology, v. 83, p. 161–196, doi:10.1666/08-064.1.
- Vorob'eva, N.G., Sergeev, V.N., and Petrov, P.Y., 2015, Kotukan Formation assemblage: A diverse organic-walled microbiota in the Mesoproterozoic Anabar succession, northern Siberia: Precambrian Research, v. 256, p. 201–222, doi:10.1016/j.precamres.2014.11.011.
- Walde, D.H.G., 1988, Das Proterozoische Paraguay-Araguaia orogen in West-Brasilien, ausgehend von Untersuchungen im Raum Corumbá: Habil. Schrift. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg.
- Wan, B., Tang, Q., Pang, K., Wang, X., Bao, Z., Meng, F., Zhou, C., Yuan, X., Hua, H., and Xiao, S., 2019, Repositioning the Great Unconformity at the southeastern margin of the North China Craton: Precambrian Research, v. 324, p. 1–17, doi:10.1016/j.precamres.2019.01.014.
- Woese, C.R., Kandler, O., and 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, p. 4576–4579, doi:10.1073/pnas.87.12.4576.
- Wood, R.A. et al., 2015, Dynamic redox conditions control late Ediacaran metazoan ecosystems in the Nama Group, Namibia: Precambrian Research, v. 261, p. 252–271, doi:10.1016/j.precamres.2015.02.004.
- Wood, R., Donoghue, P.C.J., Lenton, T.M., Liu, A.G., Poulton, S.W., 2020, The origin and rise of complex life : progress requires interdisciplinary integration and hypothesis testing.: Interface Focus, v. 10, 20200024.
- Xiao, S., Knoll, A.H., Kaufman, A., Yin, L., and Zhang, Y., 1997, Neoproterozoic fossils in Mesoproterozoic rocks? Chemostratigraphic resolution of a biostratigraphic conundrum from the North China Platform: Precambrian Research, v. 84, p. 197–220, doi:10.1016/s0301-9268(97)00029-6.
- Xiao, S., Muscente, A.D., Chen, L., Zhou, C., Schiffbauer, J.D., Wood, A.D., Polys, N.F., and Yuan, X., 2014, The Weng'an biota and the Ediacaran radiation of multicellular eukaryotes: National Science Review, v. 1, p. 498–520, doi:10.1093/nsr/nwu061.
- Yin, C., Bengtson, S., and Yue, Z., 2004, Silicified and phosphatized Tianzhushania, spheroidal microfossils of possible animal origin from the Neoproterozoic of South China: Acta Palaeontologica Polonica, v. 49, p. 1–12.
- Yin, C., Liu, Y., Gao, L., Wang, Z., Tang, F., Liu, P., 2007. Phosphatized Biota in Early Sinian (Ediacaran) – Weng'an Biota and Its Environment. Geological Publishing House, Beijing, pp. 1–132.
- Yin, L.M., Meng, F.W., Kong, F., and Niu, C., 2020, Microfossils from the Paleoproterozoic Hutuo Group, Shanxi, North China: Early evidence for eukaryotic metabolism: Precambrian Research, v. 342, p. 105650, doi:10.1016/j.precamres.2020.105650.
- Yin, L.M., Singh, B.P., Bhargava, O.N., Zhao, Y.L., Negi, R.S., Meng, F.W., and Sharma, C.A., 2018, Palynomorphs from the Cambrian Series 3, Parahio valley (Spiti), Northwest Himalaya: Palaeoworld, v. 27, p. 30–41, doi:10.1016/j.palwor.2017.05.004.
- Yin, L., Yang, R., Peng, J., and Kong, F., 2009, New data regarding acritarch biostratigraphy from the Early-Middle Cambrian Kaili Formation in Chuandong, Guizhou Province, China: Progress in Natural Science, v. 19, p. 107–114, doi:10.1016/j.pnsc.2008.07.008.
- Zaine, M.F., 1991, Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, <https://doi.org/10.11606/T.44.1991.tde-31032015-110745>.
- Zang, W., 1988, An analysis of late Proterozoic – early Cambrian microfossils and biostratigraphy [Ph.D. thesis]: Canberra, Australian National University.
- Zang, W., 1995, Early Neoproterozoic sequence stratigraphy and acritarch biostratigraphy, eastern Officer Basin, South Australia: Precambrian Research, v. 74, p. 119–175, doi:10.1016/0301-9268(95)00007-R.

- Zang, W., and Walter, M.R., 1992, Late Proterozoic and Early Cambrian microfossils and biostratigraphy, northern Anhui and Jiangsu, central-eastern China: Precambrian Research, v. 57, p. 243–323, doi:10.1016/0301-9268(92)90004-8.
- Zhang, Y., 1994, A new progress in research on vase-shaped microfossils from the Dengying Formation of Sinian in Southern Shaanxi Province: *Acta Geol.*, v. Gansu 3, p. 1–8.
- Zhang, Y., and Li, Y., 1991, The Late Sinian vasiform microfossils of Ningqiang, Shaanxi Province.: *Northwest Geosci.*, v. 1, p. 1–15.
- Zhang, Y., Yin, L., Xiao, S., and Knoll, A.H., 1998, Permineralized fossils from the terminal Proterozoic Doushantuo Formation, south China: v. 72, 1–52 p., doi:10.1017/s0022336000059977.
- Zhou, C., Xie, G., Kathleen, M., Xiao, S., and Yuan, X., 2007, The diversification and extinction of Doushantuo-Pertatataka acritarchs in South: *Geological Journal*, v. 42, p. 229–262.

9. APÊNDICES

APÊNDICE A

(Tabela das amostras de lâminas e contagem dos Microfósseis Identificados)

Código do ICDP-GRIND	Código Acervo de Paleontologia IGc-USP	Profundidade de Topo (m)	<i>Leiosphaeridia jacutica</i>	<i>Leiosphaeridia tenuissima</i>	<i>Leiosphaeridia crassa</i>	<i>Leiosphaeridia minutissima</i>	Fragmento de Macroalga	Germinosphaera sp.	Total
006_1_W_03009A	GP/L-5E-1	3,72	43	-	145	-	3	3	194
006_1_W_03009B	GP/L-5E-2								
010_1_W_03010A	GP/L-5E-3	8,60	115	-	152	-	14	5	286
010_1_W_03010B	GP/L-5E-4								
012_2_W_03011A	GP/L-5E-5	12,28	169	5	136	-	26	8	344
012_2_W_03011B	GP/L-5E-6								
014_2_W_03012A	GP/L-5E-7	14,75	196	49	94	2	58	8	407
014_2_W_03012B	GP/L-5E-8								
017_2_W_03020A	GP/L-5E-9	19,18	224	29	297	-	53	7	610
017_2_W_03020B	GP/L-5E-10								
019_2_W_03014A	GP/L-5E-11	22,43	70	-	72	-	-	3	145
019_2_W_03014B	GP/L-5E-12								
021_2_W_03015A	GP/L-5E-13	25,39	117	6	133	-	32	7	295
021_2_W_03015B	GP/L-5E-14								
025_2_W_03035A	GP/L-5E-15	30,22	64	-	155	-	-	5	224
025_2_W_03035B	GP/L-5E-16								
027_1_W_03036A	GP/L-5E-17	33,65	158	6	177	-	46	9	396
027_1_W_03036B	GP/L-5E-18								
027_1_W_03048A	GP/L-5E-19	33,09	178	25	193	1	39	8	444
027_1_W_03048B	GP/L-5E-20								
028_2_W_03037A	GP/L-5E-21	35,58	145	2	139	-	54	6	346
028_2_W_03037B	GP/L-5E-22								
028_2_W_03049A	GP/L-5E-23	34,94	39	-	225	2	17	4	287
028_2_W_03049B	GP/L-5E-24								
029_2_W_03050A	GP/L-5E-25	36,99	71	-	123	-	-	9	203
029_2_W_03050B	GP/L-5E-26								

030_1_W_03051A	GP/L-5E-27	37,23	58	2	125	-	40	11	236
030_1_W_03051B	GP/L-5E-28								
031_1_W_03038A	GP/L-5E-29	39,02	130	-	117	-	-	3	250
031_1_W_03038B	GP/L-5E-30								
033_1_W_03052A	GP/L-5E-31	41,83	76	-	83	-	-	1	160
033_1_W_03052B	GP/L-5E-32								
035_1_W_03040A	GP/L-5E-33	44,70	99	-	129	-	-	3	231
035_1_W_03040B	GP/L-5E-34								
036_1_W_03053A	GP/L-5E-35	46,24	113	-	156	-	9	6	284
036_1_W_03053B	GP/L-5E-36								
036_2_W_03041A	GP/L-5E-37	46,77	9	-	28	-	3	-	40
036_2_W_03041B	GP/L-5E-38								
038_1_W_03054A	GP/L-5E-39	49,44	95	-	76	-	-	3	174
038_1_W_03054B	GP/L-5E-40								
039_1_W_03042A	GP/L-5E-41	50,35	50	-	34	-	2	2	88
039_1_W_03042B	GP/L-5E-42								
039_2_W_03055A	GP/L-5E-43	51,06	45	-	21	-	-	-	66
039_2_W_03055B	GP/L-5E-44								
039_2_W_03055C	GP/L-5E-45								
040_2_W_03043A	GP/L-5E-46	52,53	72	2	101	-	23	3	201
040_2_W_03043B	GP/L-5E-47								
042_2_W_03044A	GP/L-5E-48	55,83	110	-	86	-	1	7	204
042_2_W_03044B	GP/L-5E-49								
043_2_W_03066A	GP/L-5E-50	57,33	137	18	162	1	37	9	364
043_2_W_03066B	GP/L-5E-51								
045_1_W_03067A	GP/L-5E-52	59,60	15	5	28	2	-	5	55
045_1_W_03067B	GP/L-5E-53								
047_2_W_03074A	GP/L-5E-54	63,16	92	-	180	-	45	7	324

047_2_W_03074B	GP/L-5E-55								
050_2_W_03068A	GP/L-5E-56	67,13	28	17	83	12	12	2	154
050_2_W_03068B	GP/L-5E-57								
052_1_W_03069A	GP/L-5E-58	70,11	24	-	95	1	-	1	121
052_1_W_03069B	GP/L-5E-59								
054_1_W_03070A	GP/L-5E-60	72,97	133	6	185	-	20	3	347
054_1_W_03070B	GP/L-5E-61								
056_2_W_03071A	GP/L-5E-62	76,08	83	12	129	-	24	7	255
056_2_W_03071B	GP/L-5E-63								
058_3_W_03072A	GP/L-5E-64	79,62	142	1	97	1	21	7	269
058_3_W_03072B	GP/L-5E-65								
060_2_W_03073A	GP/L-5E-66	82,49	91	32	72	12	27	12	246
060_2_W_03073B	GP/L-5E-67								
062_1_W_03092A	GP/L-5E-68	85,09	24	-	72	-	5	3	104
062_1_W_03092B	GP/L-5E-69								
064_2_W_03093A	GP/L-5E-70	87,79	104	1	154	-	12	5	276
064_2_W_03093B	GP/L-5E-71								
068_1_W_03095A	GP/L-5E-72	93,50	125	7	141	-	29	3	305
068_1_W_03095B	GP/L-5E-73								
070_2_W_03096A	GP/L-5E-74	97,78	243	8	191	-	34	4	480
070_2_W_03096B	GP/L-5E-75								
072_1_W_03097A	GP/L-5E-76	99,50	66	-	75	-	19	6	166
072_1_W_03097B	GP/L-5E-77								
073_1_W_03098A	GP/L-5E-78	101,32	173	11	208	1	23	1	417
073_1_W_03098B	GP/L-5E-79								
075_2_W_03099A	GP/L-5E-80	104,62	212	-	160	-	93	9	474
075_2_W_03099B	GP/L-5E-81								
077_1_W_03100A	GP/L-5E-82	107,00	24	-	67	-	-	-	91

077_1_W_03100B	GP/L-5E-83								
079_2_W_03101A	GP/L-5E-84	111,09	52	-	132	-	62	2	248
079_2_W_03101B	GP/L-5E-85								
080_2_W_03136A	GP/L-5E-86	112,25	84	-	164	-	24	3	275
080_2_W_03136B	GP/L-5E-87								
082_2_W_03137A	GP/L-5E-88	114,41	133	1	190	-	31	6	361
082_2_W_03137B	GP/L-5E-89								
Total	89	-	4431	245	5582	35	938	216	11447

APÊNDICE B
(Análises quantitativas MEV-EDS)

	Element	O K	Na K	Mg K	Al K	Si K	P K	S K	Cl K	K K	Ca K	Ti K	Cr K	V K	Mn K	Fe K	Co K
I0004	App Conc.	29.91	6.39	1.70	1.25	27.81	-	0.28	0.08	0.62	4.46	0.05	-	-	-	0.27	-
	Intensity Corrn.	0.7354	0.9052	0.7280	0.8121	0.8769	-	0.7229	0.6796	0.9725	0.9378	0.7930	-	-	-	0.8223	-
	Weight%	45.36	7.88	2.61	1.71	35.40	-	0.43	0.13	0.72	5.31	0.08	-	-	-	0.37	-
	Atomic%	59.25	7.17	2.24	1.33	26.34	-	0.28	0.08	0.38	2.77	0.03	-	-	-	0.14	-
II0004	App Conc.	26.48	6.38	1.56	0.79	27.15	-	0.68	0.11	0.43	4.51	0.07	-	-	-	0.51	-
	Intensity Corrn.	0.7138	0.9106	0.7269	0.8128	0.8845	-	0.7227	0.6761	0.9703	0.9374	0.7928	-	-	-	0.8232	-
	Weight%	43.63	8.25	2.53	1.14	36.13	-	1.11	0.20	0.52	5.66	0.10	-	-	-	0.72	-
	Atomic%	57.67	7.59	2.20	0.89	27.21	-	0.73	0.12	0.28	2.99	0.04	-	-	-	0.27	-
III0004-5	App Conc.	62.93	0.68	2.69	11.26	24.97	-	0.43	0.38	6.63	-	-	-	-	-	1.50	-
	Intensity Corrn.	0.8755	0.8154	0.7632	0.8365	0.8015	-	0.7552	0.7023	0.9812	-	-	-	-	-	0.8220	-
	Weight%	55.05	0.64	2.70	10.31	23.87	-	0.43	0.42	5.17	-	-	-	-	-	1.40	-
	Atomic%	68.89	0.56	2.22	7.65	17.02	-	0.27	0.24	2.65	-	-	-	-	-	0.50	-
III0004-6	App Conc.	16.04	2.36	0.92	0.68	7.87	-	34.91	0.48	-	1.06	0.08	-	-	-	26.11	-
	Intensity Corrn.	0.6441	0.6549	0.6144	0.7308	0.8405	-	0.9014	0.9446	-	0.9385	0.8394	-	-	-	0.8677	-
	Weight%	22.47	3.25	1.35	0.84	8.45	-	34.93	0.46	-	1.02	0.09	-	-	-	27.14	-
	Atomic%	39.58	3.98	1.56	0.88	8.48	-	30.71	0.33	-	0.72	0.05	-	-	-	13.70	-
III0004-8	App Conc.	5.44	1.87	0.84	0.94	10.89	-	1.02	0.29	0.61	1.61	17.07	-	0.23	-	0.61	-
	Intensity Corrn.	0.3335	0.7385	0.6685	0.7741	0.8595	-	0.8274	0.7574	10782	10532	0.8586	-	0.8526	-	0.8353	-
	Weight%	27.86	4.32	2.14	2.07	21.63	-	2.11	0.66	0.97	2.60	33.93	-	0.45	-	1.25	-
	Atomic%	46.09	4.97	2.33	2.03	20.38	-	1.74	0.49	0.65	1.72	18.75	-	0.24	-	0.59	-
III0004-12	App Conc.	4.14	0.28	0.08	0.07	0.54	0.56	52.48	-	0.07	0.25	-	-	-	-	39.77	0.23
	Intensity Corrn.	0.5742	0.5852	0.5819	0.7142	0.8421	1,3018	0.9703	-	0.9314	0.9387	-	-	-	-	0.8939	0.8820
	Weight%	6.66	0.45	0.12	0.10	0.60	0.40	50.00	-	0.07	0.25	-	-	-	-	41.12	0.24
	Atomic%	14.94	0.70	0.18	0.13	0.76	0.46	55.97	-	0.07	0.22	-	-	-	-	26.43	0.14
VI0004	App Conc.	23.73	5.02	1.43	1.33	22.99	-	1.02	0.25	0.78	3.53	0.07	-	-	-	0.82	-
	Intensity Corrn.	0.7154	0.8989	0.7315	0.8158	0.8758	-	0.7289	0.6767	0.9691	0.9350	0.7942	-	-	-	0.8243	-
	Weight%	43.61	7.35	2.58	2.15	34.54	-	1.84	0.48	1.06	4.97	0.11	-	-	-	1.31	-
	Atomic%	57.89	6.79	2.25	1.69	26.11	-	1.22	0.29	0.58	2.63	0.05	-	-	-	0.50	-
VI0004-3	App Conc.	62.05	2.46	1.62	12.87	22.50	-	0.29	0.22	6.25	0.83	0.19	0.05	-	-	0.97	-
	Intensity Corrn.	0.8689	0.8223	0.7463	0.8357	0.7856	-	0.7586	0.7058	0.9860	0.9308	0.8009	0.8176	-	-	0.8219	-
	Weight%	54.92	2.30	1.67	11.85	22.03	-	0.29	0.24	4.87	0.68	0.18	0.05	-	-	0.91	-

	Atomic%	68.60	2.00	1.38	8.78	15.68	-	0.18	0.13	2.49	0.34	0.08	0.02	-	-	0.33	-
VI0004-5	App Conc.	5.33	0.24	0.08	0.20	0.76	0.67	53.67	-	0.08	0.25	-	-	-	1.16	35.57	0.26
	Intensity Corrn.	0.5681	0.6030	0.5977	0.7297	0.8543	1,3120	0.9732	-	0.9258	0.9328	-	-	-	0.8639	0.8886	0.8749
	Weight%	8.64	0.37	0.12	0.25	0.82	0.47	50.71	-	0.08	0.25	-	-	-	1.23	36.81	0.27
	Atomic%	18.68	0.55	0.17	0.32	1.01	0.52	54.73	-	0.07	0.21	-	-	-	0.78	22.81	0.16
VI0004-6	App Conc.	7.10	0.59	0.05	0.10	0.68	-	56.74	-	0.09	0.22	-	-	-	-	40.00	0.29
	Intensity Corrn.	0.5838	0.5956	0.5876	0.7199	0.8462	-	0.9731	-	0.9304	0.9361	-	-	-	-	0.8879	0.8758
	Weight%	10.29	0.83	0.08	0.12	0.68	-	49.33	-	0.09	0.20	-	-	-	-	38.11	0.28
	Atomic%	21.84	1.23	0.11	0.15	0.82	-	52.26	-	0.07	0.17	-	-	-	-	23.18	0.16
VI0004-8	App Conc.	11.39	0.74	0.67	1.43	4.61	-	9.14	0.22	0.77	0.65	27.63	-	0.25	-	5.51	-
	Intensity Corrn.	0.3572	0.6287	0.6146	0.7347	0.8314	-	0.9249	0.7678	1,0900	1,0687	0.8742	-	0.8682	-	0.8404	-
	Weight%	34.82	1.29	1.18	2.13	6.05	-	10.79	0.31	0.77	0.67	34.51	-	0.32	-	7.16	-
	Atomic%	57.09	1.47	1.27	2.07	5.65	-	8.83	0.23	0.51	0.44	18.90	-	0.16	-	3.36	-