

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MICROPALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO SETE LAGOAS -
GRUPO BAMBUÍ: TAXONOMIA E PALEOECOLOGIA.**

Débora Kátia de Vargas

Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso

Co-Orientador: Thiago de Freitas Toniolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-8/22)

SÃO PAULO
2022

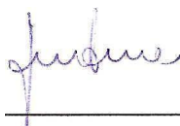
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

MICROPALEONTOLOGIA DA FORMAÇÃO SETE LAGOAS -
GRUPO BAMBUÍ: TAXONOMIA E PALEOECOLOGIA.



Aluno: Débora Kátia e Vargas

De acordo:



Orientador: Juliana de Moraes Leme Basso

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA (TF-8/22)

SÃO PAULO
2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer especialmente a minha mãe, Gladis que sempre me incentivou nos estudos, por toda a sua paciência, carinho e cuidado, mesmo que de longe. Agradeço a minha irmã, Ester e sobrinhos pelos momentos de descontração e de reunião familiar, sem dúvida nenhuma vocês tornaram meu caminho mais alegre e leve. Expresso aqui também, minha gratidão ao meu companheiro de vida Thiago (e sua família), por toda a compreensão, apoio e carinho. Vocês foram essenciais, para que chegasse até aqui.

Retribuo aqui meu respeito e admiração pela minha orientadora profa. Juliana, que me guiou nesta etapa final e participou ativamente de minha permanência na universidade. Agradeço ao meu co-orientador Thiago Toniolo, por toda a compreensão, tempo e dedicação despendidos.

Agradeço ao Instituto de Geociências, pela infraestrutura que permitiu este trabalho e tantos outros, por todo o investimento ao longo destes anos de graduação, a todos os professores que contribuíram com minha formação acadêmica e aos funcionários do IGc-USP que auxiliam nos bastidores para que todas as viagens de campo, aulas práticas, análises, e etc aconteçam. Muito obrigada!

Quero agradecer aos meus colegas e amigos de muitas andanças e aventuras neste curso, em especial a Fernanda, Lucas e Marina, por todo o companheirismo e amizade, vocês estarão sempre em minhas lembranças.

Não poderia deixar de citar, minha amiga e confidente de longa data, Verônica, importante desde meu ingresso na faculdade.

Carinhosa gratidão, dedico a todos e todas que de alguma maneira fizeram parte desta história, desde os tempos de escola primária, aos professores e amigos daquela época e do caminho que trilhei, aos cursos que fiz até chegar aqui, aos amigos que fiz por todo o caminho e a minha família materna e paterna, que mesmo de longe torce por mim.

Foram muitos anos de aprendizado, desafios, acertos e erros que me fizeram crescer e que finalmente me permitem concluir esta importante fase de minha formação.

RESUMO

O presente Trabalho de Formatura estuda a taxonomia e paleoecologia de microfósseis orgânicos de idade Ediacarana da Formação Sete Lagoas, pertencente ao Grupo Bambuí. Este estudo tem como principal objetivo a identificação taxonômica e a descrição das assinaturas tafonômicas dos microfósseis presentes na seção colunar do furo de sondagem (Poço 1), o qual localiza-se no setor sudoeste da Bacia do São Francisco, próximo do município de Arcos no estado de Minas Gerais. Além do objetivo central já exposto, apresenta-se aqui os resultados obtidos a partir da correlação entre a distribuição estratigráfica de acritarcos e variáveis faciológicas e geoquímicas da seção colunar estudada.

Para o cumprimento dos objetivos descritos foram realizadas preparações palinológicas de 19 amostras distintas, triadas com o auxílio de lupa e analisadas sob o estereomicroscópio e microscópio petrográfico (ZEISS). O conteúdo das análises revelou 03 formas principais de microfósseis/matéria orgânica microscópica: (I) vesículas esféricas simples, identificadas como *Leiosphaeridia jacutica* e *Leiosphaeridia crassa*, (II) fragmentos de formato alongado e (III) e fragmentos amorfos. Estes microfósseis apresentaram importantes assinaturas tafonômicas, destacando-se dentre elas fragmentação e fraturamento, as quais podem ser indicativas de transporte sedimentar.

Além disto, observou-se predominância de vesículas maiores (*Leiosphaeridia jacutica*) na fácies carbonática de granulação mais grossa, entre as profundidades de 876,74 e 789,86 m da seção colunar estudada, onde se caracteriza inclusive o Trato de Sistema de Mar Alto Tardio (LHST) da Formação Sete Lagoas, sugerindo portanto que o registro de acritarcos pode estar sujeito a um controle seletivo granulométrico.

O estudo contribuiu ainda, com o estabelecimento de possíveis interpretações quanto à distribuição das espécies identificadas e sua relação com algumas variáveis geoquímicas de interesse.

ABSTRACT

The present Graduation Work studies the taxonomy and paleoecology of organic microfossils of Ediacaran age from the Sete Lagoas Formation, belonging to the Bambuí Group. The main objective of this study is the taxonomic identification and description of the taphonomic signatures of the microfossils present in the borehole columnar section (Well 1), which is located in the southwest sector of the São Francisco Basin, close to the municipality of Arcos in the state of Minas Gerais. In addition to the central objective already exposed, the results obtained from the correlation between the stratigraphic distribution of acritarchs and faciological and geochemical variables of the studied section are presented here.

In order to fulfill the described objectives, palynological preparations of 19 different samples were carried out, sorted with the aid of a magnifying glass and analyzed under the stereomicroscope and petrographic microscope (ZEISS). The content of the analyzes revealed 03 main forms of microfossils/microscopic organic matter: (I) simple spherical vesicles, identified as *Leiosphaeridia jacutica* and *Leiosphaeridia crassa*, (II) elongated fragments and (III) and amorphous fragments. These microfossils showed important taphonomic signatures, especially fragmentation and fracturing, which may be indicative of sediment transport.

In addition, a predominance of larger vesicles (*Leiosphaeridia jacutica*) was observed in the coarser-grained carbonate facies, between the depths of 876.74 and 789.86 m in the studied section, where the Late Upper Sea System Tract is also characterized (LHST) from the Sete Lagoas Formation, thus suggesting that the acritarch record may be subject to selective granulometric control.

The study also contributed with the establishment of possible interpretations regarding the distribution of identified species and their relationship with some geochemical variables of interest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METAS E OBJETIVOS	2
3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 Microfósseis	2
3.2 Contexto regional	3
4. MATERIAIS E MÉTODOS	6
4.1 Preparação das amostras	6
4.2 Triagem das amostras e confecção de lâminas palinológicas	7
4.3 Descrição e análise dos microfósseis	7
5. RESULTADOS OBTIDOS	8
5.1 Análise microscópica e tafonômia de microfósseis	8
5.2 Contagem e distribuição das amostras na seção estudada	12
6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	15
7. CONCLUSÕES	19
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

O Grupo Bambuí corresponde a uma bacia epicontinental ediacarana-cambriana com conteúdo fóssil bastante limitado (Caetano-Filho, 2020), caracterizado pelo domínio de calcários microbianos e raras ocorrências de metazoários bentônicos *Cloudina* sp. (Warren et al., 2014; Perrella Jr. et al. 2017), além de estromatólitos (Cassedane & Cassedane, 1978) e microfósseis (Simonetti & Fairchild, 2000; Hidalgo, 2007; Sanchez, 2015; Denezine, 2018, 2022).

A Formação Sete Lagoas constitui a unidade basal do grupo e, no que se refere ao registro fossilífero, possui extensa e ativa contribuição de trabalhos sobre estromatólitos (Simonetti & Fairchild, 2000) e oncólitos (e.g. Cassedane, 1965; Marchese, 1974), esteiras microbianas (e.g. Fairchild et al., 1996), palinórfos (Sommer, 1971; Simonetti & Fairchild, 2000), metazoários e icnofósseis (Warren et al., 2014), dubiofósseis (Cassedane, 1965; Sommer, 1982) e microfósseis (Fairchild & Dardenne, 1978; Fairchild et al., 1980; Fairchild & Schorscher, 1985; Simonetti & Fairchild, 1989; Simonetti & Fairchild, 2000; Hidalgo, 2007; Sanchez, 2015; Denezine, 2018, 2022).

Nos trabalhos de Sanchez (2015) e Denezine (2018, 2022) há uma discussão sobre a idade desta formação, uma vez que os dados geoquímicos e litoestratigráficos apontam para um evento deposicional posterior à glaciação Marinoana (~635 Ma), correspondente ao Ediacarano Inferior, enquanto que o registro fóssil representado pela presença de fósseis-guia do gênero *Cloudina* e *Corumbella* (Warren et al., 2014; Perrella-Júnior et al., 2017) sugerem deposição de idade mais nova, no Ediacarano Tardio.

De fato, todas as espécies válidas de *Cloudina* possuem ocorrência restrita ao Ediacarano Superior, entretanto, é prudente considerar que há espécies com nomenclatura em aberto (Warren et al., 2014) e que podem haver possíveis ancestrais evolutivas destas espécies, bem como novas espécies ainda não descritas com uma maior amplitude cronoestratigráfica do que restrita ao Ediacarano Superior, indicando que para realizar tais correlações bioestratigráficas faz-se necessário o aprofundamento de estudos micropaleontológicos e quimioestratigráficos a fim de esclarecer a idade da Formação Sete Lagoas (Denezine, 2018).

O período Ediacarano, corresponde a um intervalo de tempo no qual ocorreram mudanças significativas nas condições ambientais da Terra e, portanto, de grande impacto nos sistemas biológicos existentes (Caetano-Filho, 2020). Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novos estudos paleobiológicos a fim de melhor entender a paleodiversidade do planeta (que precede a Explosão Cambriana) e a complexidade das novas interações ecológicas criadas a partir dos eventos climáticos extremos ocorridos no período aqui estudado (Caxito et al., 2012; Caetano-Filho, 2020).

No Brasil, o Grupo Bambuí representa uma espessa sucessão carbonática-siliciclástica de idade Neoproterozoica, registrada no Cráton São Francisco (Alkmim & Martins Neto 2001, 2012),

a qual pode ser considerada como um dos registros mais importantes e completos dos eventos que ocorreram após as glaciações globais do Criogeniano até o aparecimento de organismos complexos capazes de secretar carapaças calcárias no Ediacarano superior (Alkmim & Martins Neto, 2001, 2012; Warren et al., 2013; Reis & Suss, 2016; Uhlein et al., 2019).

Estes eventos extremos marcam a passagem de períodos na escala do tempo geológico, mas também podem indicar como mudanças profundas se processaram nos sistemas terrestres e como estas podem ter mudado a maneira como os sistemas deposicionais e biológicos evoluíram. Por isso, apesar da vasta contribuição de trabalhos sobre o período Ediacarano, e mais especificamente sobre o Grupo Bambuí, tanto sob uma abordagem geoquímica e geocronológica, quanto paleobiológica, paleoambiental, faciológica e, ou estratigráfica, há que se considerar que a melhor a caracterização taxonômica e paleoecológica de microfósseis de localidades/seções ainda não investigadas, pode contribuir como importante ferramenta na resolução temporal e espacial do período estudado, além de auxiliar na construção de possíveis correlações paleoambientais regionais ou até mesmo de caráter global.

Desta forma, o presente estudo sobre microfósseis provenientes do furo de sondagem denominado Poço 1, previamente estudado por Kuchenbecker (2011) e Caetano-Filho (2020), apresenta aqui os resultados obtidos a partir da identificação das espécies de acritarcos e sua distribuição bioestratigráfica ao longo da seção colunar estudada.

2. METAS E OBJETIVOS

Este Trabalho de Formatura teve como principais objetivos a identificação taxonômica e a descrição das assinaturas tafonômicas das espécies de microfósseis da Formação Sete Lagoas, presentes na seção colunar do furo de sondagem (Poço 1 ou *Well* 1), localizado no setor sudoeste da Bacia do São Francisco, próximo do município de Arcos no estado de Minas Gerais.

Além disso, apresenta-se também a distribuição destas espécies na coluna estratigráfica elaborada por Caetano-Filho (2020), a fim de compreender possíveis relações paleoambientais.

3. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Microfósseis

Os microfósseis são restos microscópicos de organismos que podem ser células procarióticas do domínio Bactéria ou Archaea, eucariotos unicelulares (protistas), eucariotos multicelulares inteiros ou partes de multicelulares microscópicos ou eucariotos macroscópicos (Javaux & Benzerara, 2009) e que portanto necessitam do emprego de alguma técnica ou equipamento para concentrá-los e/ou aumentá-los para estudo.

A Formação Sete Lagoas possui registro fóssil diverso, com trabalhos prévios que abordam

principalmente os estromatólitos e esteiras microbianas (os tipos mais comuns de fósseis), seguidos de palinomorfos e poucos registros de microfósseis mineralizados (Sanchez, 2015). Com isso, esta unidade litoestratigráfica fornece subsídios para estudos de correlação bioestratigráfica e paleoambiental, inclusive com outras bacias sedimentares.

Os primeiros relatos de microfósseis orgânicos na Formação Sete Lagoas foram de vesículas esféricas opacas e foram descritas por Sommer (1971) como *Bambuites erichsenii*, espécie atribuída pelo seu proponente com afinidade a algas unicelulares. Em trabalhos posteriores foram ampliadas as ocorrências de microfósseis orgânicos na Formação Sete Lagoas (Zaine, 1991; Simonetti, 1994; Simonetti & Fairchild, 2000; Sanchez, 2015; Denezine, 2018, 2022).

Hidalgo (2007) realizou um trabalho com microfósseis orgânicos da Formação Sete Lagoas com foco nas glaciações do Neoproterozoico e como estas influenciaram a paleobiota.

Sanchez (2015) analisou microbialitos e microfósseis da Formação Sete Lagoas, visando compreender como os produtores, base dos ecossistemas, teriam respondido às transformações ambientais e ecológicas causadas pelas mudanças climáticas decorrentes dos episódios de glaciação no período Ediacarano (Babinski & Kauffman, 2003; Santos et al., 2004; Alvarenga et al., 2007^a; Vieira et al., 2007; Allen & Etienne, 2008; Caxito et al., 2012), além de estabelecer a abrangência estratigráfica dos microbialitos e microfósseis desta unidade.

Microfósseis orgânicos da Formação Sete Lagoas, da Pedreira Santa Luzia, no município de Januária no Estado de Minas Gerais foram recuperados e identificados no trabalho de Denezine (2018 e 2022). Nestes trabalhos (op. cit.) reconheceu-se uma zona bioestratigráfica já delimitada por Grey (2005), a Zona *Leiosphaeridia jacutica* - *Leiosphaeridia crassa* e propôs-se uma nova zona, compreendendo as duas associações de fácies superiores da seção estudada, denominada por Denezine (2018) Zona *Leiosphaeridia minutissima* - *Leiosphaeridia ternata*.

3.2 Contexto regional

A Bacia do São Francisco (**Fig. 1**), de caráter intracratônico, ocupa um segmento N-S do Cráton São Francisco (CSF) e cobre uma área de aproximadamente 350.000 km² pelos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás (Alkmim e Martins-Neto, 2012; Alkmim, 2004). As unidades proterozoicas da Bacia do São Francisco foram deformadas durante o ciclo Brasileiro, produzindo as faixas móveis Brasília, a oeste e Araçuaí, a leste (Alkmim e Martins-Neto, 2012; Reis et al., 2016).

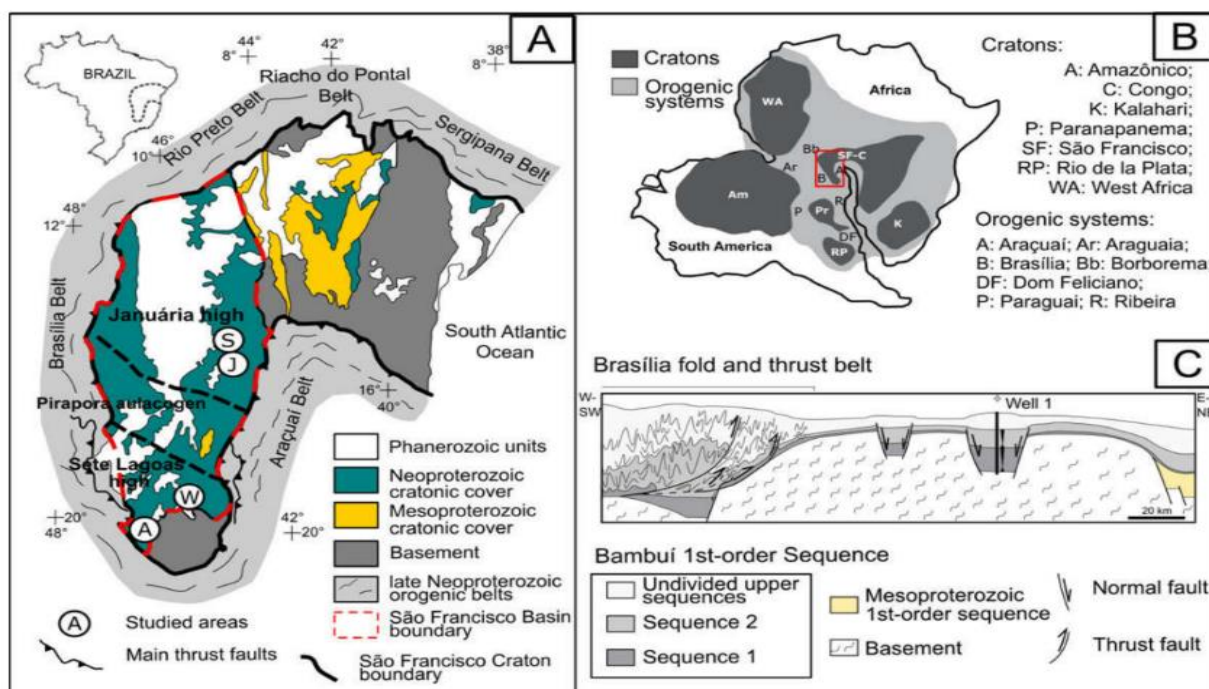


Figura 1 : A) Mapa geológico da Bacia do São Francisco, centro-leste do Brasil (J = seção Januária; S = seção Santa Maria da Vitória; A = seção Arcos; W = seção Poço 1; (fonte: Alkmim et al., 2006 e Reis e Suss, 2016; modificado por Caetano-Filho, 2020). B) Reconstrução paleogeográfica do Gondwana Ocidental do Neoproterozóico tardio (fonte: Alkmim et al., 2006 e Reis e Suss, 2016; modificado por Caetano-Filho, 2020). C) Perfil sísmico esquemático e localização do trecho do Poço 1 estudado no embasamento alto de Sete Lagoas, sul da Bacia do São Francisco (fonte: Alkmim et al., 2006 e Reis e Suss, 2016; modificado por Caetano-Filho, 2020).

O registro tectono-sedimentar pré-cambriano da Bacia do São Francisco é composto por três sequências de primeira ordem (e.g. Zálan e Romeiro-Silva, 2007; Alkmim e Martins-Neto, 2012; Reis et al., 2016): i) a sequência Paranoá Espinhaço Superior, do Mesoproterozoico ao Neoproterozoico inferior; ii) a sequência Macaúbas, do Neoproterozoico e iii) a sequência Bambuí, do Neoproterozoico.

A sequência Bambuí abrange quatro sequências de 2ª ordem, conforme apresentado por Reis et al. (2016), da base para o topo: i) diamictitos e rochas siliciclásticas finas da Formação Carrancas e a sequência mista de carbonatos e pelitos da Formação Sete Lagoas Inferior; as sequências ii) e iii) são variações laterais das formações Sete Lagoas Superior, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade (apresentando carbonatos e pelitos); e iv) apresenta os depósitos da Formação Serra da Saudade, gradando para depósitos da Formação Três Marias.

A deposição do Grupo Bambuí começa com a sequência basal de 2ª ordem que compreende as formações Carrancas e Sete Lagoas Inferior, que registram a transgressão inicial sobre o cráton (Vieira et al., 2007a, 2007b; Caxito et al., 2012; Paula-Santos et al., 2015, 2017; Kuchenbecker et al., 2016b; Reis e Suss, 2016; Perrella et al., 2017).

A Formação Carrancas, representada na base da coluna estratigráfica da seção Poço 1 (**Fig. 2**), é composta por diamictitos oligomíticos a polimíticos mal selecionados, ritmitos associados e ocorrências locais de arenitos que gradam no topo para as rochas carbonáticas da Formação Sete

Lagoas Inferior (Romano, 2007; Vieira et al., 2007a; Tuller et al., 2010; Uhlein et al., 2012; Kuchenbecker et al., 2016b; Reis e Suss, 2016).

Logo acima dos diamictitos encontra-se a sucessão carbonática da Formação Sete Lagoas Inferior, a qual, na base, compreende a capa carbonática desta unidade característica por apresentar pseudomorfos de aragonita, além de lama e cimento carbonático (Vieira et al., 2007a). Na base ocorrem carbonatos impuros com lâminas de argila que, em direção ao topo, tornam-se mais puros. A parte intermediária da Formação Sete Lagoas é constituída por calcários ainda mais puros com intercalações de folhelhos pretos subordinados (e.g. Vieira et al., 2007a). A Formação Sete Lagoas Superior é constituída por calcários escuros, dolomíticos e estromatólitos, e é restrita à borda leste da bacia (Santos et al., 2004; Vieira et al., 2007a, b; Paula-Santos et al., 2015; 2017).

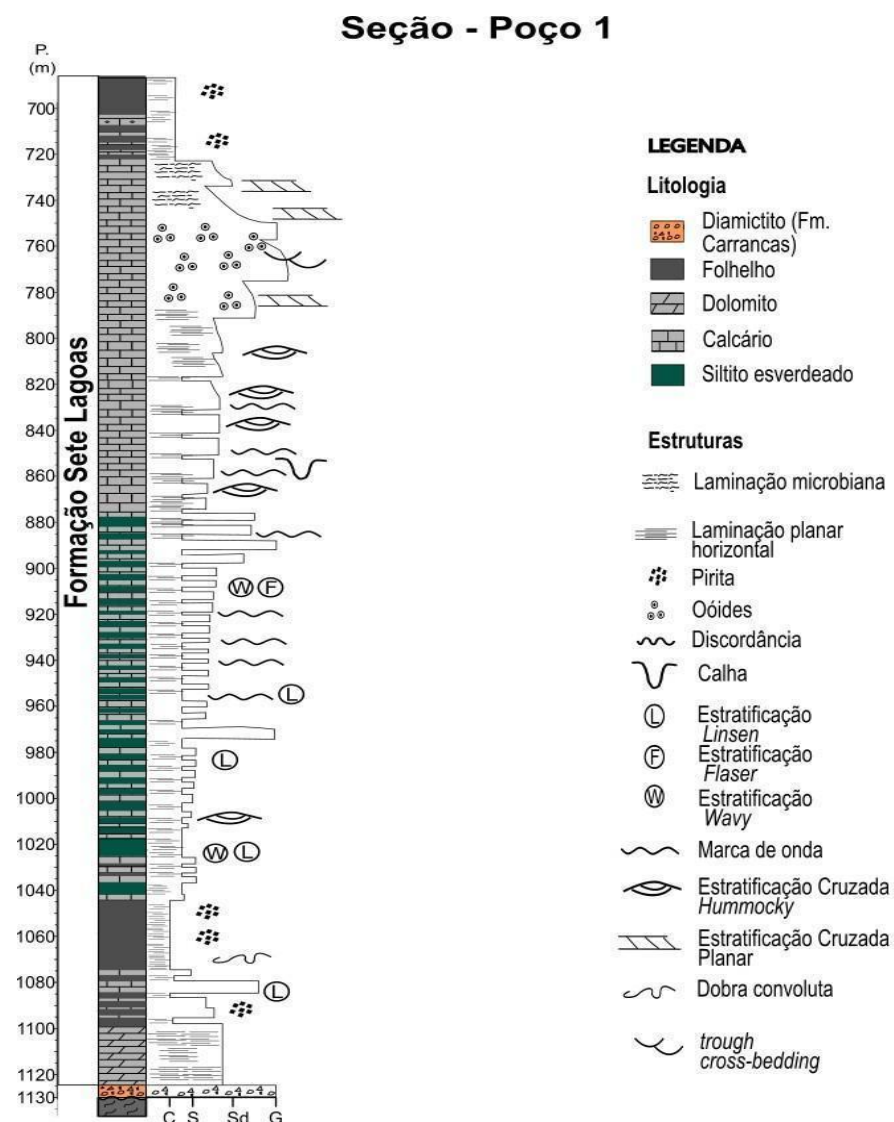


Figura 2 (Caetano-Filho, 2020): Seção colunar do Poço 1, representando a sequência basal (Formação Carrancas) e a Formação Sete Lagoas, constuinte do Grupo Bambuí (modificações realizadas pela autora deste TF: layout, tradução, seleção e apresentação apenas do conteúdo de interesse). Escala granulométrica: C – Clay (argila), S – Silt (silte), Sd – Sand (areia) e G – Gravel (cascalho).

O Grupo Bambuí foi originalmente atribuído ao Cretáceo (Liais, 1872 in Couto et al., 1981) e, posteriormente, passou por várias unidades geocronológicas até a mais atual, Neoproterozoico (Babinski et al., 2007; Rodrigues, 2008; Pimentel et al., 2011), já a Formação Sete Lagoas, foi datada em ~740 Ma pelo método Pb-Pb em Dolomito (Babinski et al., 2007).

A presença dos fósseis índices *Cloudina* sp. e *Corumbella weneri* (Warren et al., 2014), aliada a dados de proveniência sedimentar para a Formação Sete Lagoas (Paula-Santos et al., 2015), sugerem que a deposição da maior parte da Bacia do São Francisco ocorreu a partir do Ediacarano tardio (Rueda, 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As 19 amostras, objeto de análise do presente trabalho, provém de testemunhos de perfuração de sondagem (Poço 1) executados pela empresa Petra Energia S.A., no setor sudoeste da Bacia do São Francisco, próximo do município de Arcos no estado de Minas Gerais.

Devido ao pequeno volume disponível de rocha para a realização de análise destas amostras, deu-se preferência pela técnica de preparação palinológica em detrimento da confecção de seções delgadas, uma vez que este método permite que em uma pequena quantidade de material concentre-se uma grande quantidade de microfósseis, facilitando sua descrição e identificação primária. O procedimento adotado, modificado de Grey (1999), visa evitar a destruição dos acritarcos, que, no Pré-Cambriano, são comumente quebradiços, devido à intensa alteração termal a que as rochas deste éon foram submetidas (Grey, 2005).

4.1 Preparação das amostras

A preparação palinológica consiste na seguinte sequência de procedimentos laboratoriais (Grey, 1999):

- I. Realizar a fragmentação mecânica da rocha até obter-se fragmentos de aproximadamente 1 cm de comprimento (nas amostras friáveis, embrulhou-se as amostras em papel filme de PVC ou saco plástico, para então quebrá-las com martelo; no caso de amostras muito duras utilizou-se a marreta e a bigorna para a quebra);
- II. Pesar 50 gramas desses fragmentos em um béquer (de vidro, para amostras calcárias e de plástico, para amostras pelíticas/siliciclásticas), devidamente identificado com o código da amostra;

No caso de amostras de calcárias (calcíticas):

- III. Dentro de uma capela com o exaustor ligado, produzir uma solução diluída de ácido clorídrico, acrescentando 700 ml de água deionizada a 100 ml de HCl, e acrescentar 400 ml da solução de diluída de HCl (37%) béquer com a amostra já pesada, deixando o conteúdo reagir por 24 horas;

- IV. Passado o tempo indicado de reação, descartar o ácido num recipiente adequado, para posterior neutralização. Este procedimento deve ser realizado de modo que o material decantado no fundo do béquer não seja perdido;
- V. Após descarte, acrescentar água destilada ou deionizada até atingir o volume máximo do béquer e deixar decantar por mais 24 horas;
- VI. Passado o período indicado, descartar o líquido do béquer no recipiente para descarte e novamente acrescentar água deionizada até atingir o volume máximo do béquer. Repetir este processo até que esse líquido atinja o mesmo pH da água deionizada (pH ~ 5/5,5);
- VII. Atingido o pH da água deionizada, descartar o líquido excedente do béquer no recipiente para descarte e transferir o resíduo palinológico (material decantado) para um frasco com tampa;
- VIII. No frasco com o conteúdo palinológico, adicionar 100 µg de enxofre em pó em cada tubo para evitar a proliferação de fungos.

Para as amostras siliciclásticas, ao invés de HCl, adicionou-se 50 ml de ácido fluorídrico sem diluição (HF 42 %) no béquer de plástico/polipropileno (etapa III de preparação das amostras) e seguiu-se com as demais etapas de preparação.

4.2 Triagem das amostras e confecção de lâminas palinológicas

Cumpridas todas as etapas supracitadas, prosseguiu-se com a triagem do material preparado. Nesta etapa, concentra-se o conteúdo palinológico com a coleta de uma alíquota de 500 µl do resíduo decantado com uma pipeta descartável, colocando-a sobre um vidro de relógio com água deionizada e algumas gotas de detergente neutro para romper a tensão superficial da água. Esse material foi analisado sob o microscópio estereoscópico (lupa Zeiss - modelo Axiocam 105 Color), onde realizou-se o reconhecimento primário e a contagem dos diferentes microfósseis em todas as amostras preparadas.

A partir deste reconhecimento, selecionou-se com o auxílio de um pincel de ponta fina e uma micropipeta de ponta descartável, espécimes para a confecção de lâminas. Dentre as 19 amostras do estudo, apenas 14 foram selecionadas para esta etapa, isto porque não foram identificados microfósseis em 5 amostras.

Para a confecção das lâminas utilizou-se a chapa aquecedora (para secar o conteúdo palinológico), pipeta descartável para manipular a resina (ERV-Mount) e lamínula (Cover Glass) para recobrir e preservar a lâmina, descrita ao microscópio petrográfico Zeiss - modelo Axiocam 305 Color, onde foi realizada a identificação e o registro microfotográfico digital dos microfósseis encontrados.

4.3 Descrição e análise dos microfósseis

Os microfósseis foram identificados no microscópio petrográfico Zeiss (modelo Axiocam 305

Color) a partir de trabalhos prévios (Sommer, 1971; Zaine, 1991; Simonetti, 1994; Simonetti & Fairchild, 2000; Sanchez, 2010, 2015; Denezine, 2018, 2022; Arvestal & Willman, 2020). Os espécimes foram descritos e medidos, registrando-se parâmetros como diâmetro da vesícula (maior distância passando pelo centro) ou comprimento para o caso dos microfósseis alongados, ornamentação/processo, presença de dobras, dentre outras características.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Análise microscópica e tafonômia de microfósseis

Na etapa de triagem (sob a lupa) algumas amostras apresentaram resíduo palinológico não identificável (17-CLS-77) ou ainda grande quantidade de matéria orgânica amorfa ou de difícil identificação associada à pirita disseminada (17-CLS-12 e 17-CLS-58), além de material muito fino e oxidado (17-CLS-22) e contaminação por fungos (17-CLS-60), o que impossibilitou a confecção de lâminas para estas cinco (05) amostras.

Com o uso do microscópio petrográfico, quatorze (14) lâminas foram analisadas e descritas, a fim de registrar parâmetros importantes à identificação das espécies de acritarcos observadas.

Três formas principais de microfósseis/matéria orgânica microscópica foram identificadas e agrupadas em: (I) vesículas esféricas simples, identificadas como *Leiosphaeridia jacutica* e *Leiosphaeridia crassa*, (II) fragmentos de formato alongado e (III) e fragmentos amorfos.

O gênero *Leiosphaeridia* é constituído por vesículas de composição orgânica, formato esférico e sem ornamentações. As principais características empregadas na identificação das espécies mais comuns deste gênero correspondem ao diâmetro da vesícula e sua opacidade, a qual pode refletir a espessura da parede dos microfósseis. As espécies com maior opacidade à luz transmitida correspondem à vesículas de *Leiosphaeridia jacutica*, maior que 70 µm, e *Leiosphaeridia crassa*, menor que 70 µm.

As vesículas com diâmetros maiores que 70 µm, correspondem a espécie *Leiosphaeridia jacutica*, observada predominantemente nas amostras: 17-CLS-20, 17-CLS-21, 17-CLS-54, 17-CLS-55B, 17-CLS-56, 17-CLS-63, 17-CLS-65, 17-CLS-68, 17-CLS-69, 17-CLS-73, 17-CLS-70, 17-CLS-81A, B e C; e 17-CLS-87. Em termos de assinaturas tafonômicas observadas nestes microfósseis podemos destacar a presença de exemplares bem preservados (**Fig. 3A e B**), a presença de dobras de compressão desenvolvidas preferencialmente nas bordas da vesícula (**Fig. 4A e B**) ou ainda uma associação entre dobras próximas às margens equatoriais e dobras transversais que cruzam a vesícula (**Fig. 4C e D**). Além disto, observaram-se sinais de fragmentação (**Fig. 4F**), fraturamento (**Fig. 4G**), corrosão (**Fig. 4H e I**) e dobras que modificam a forma e o contorno externo (**Fig. 4E**) de alguns espécimes. Destaca-se ainda neste grupo a ocorrência de espécimes grandes (> 200 µm), como observado na amostra 17-CLS-68.

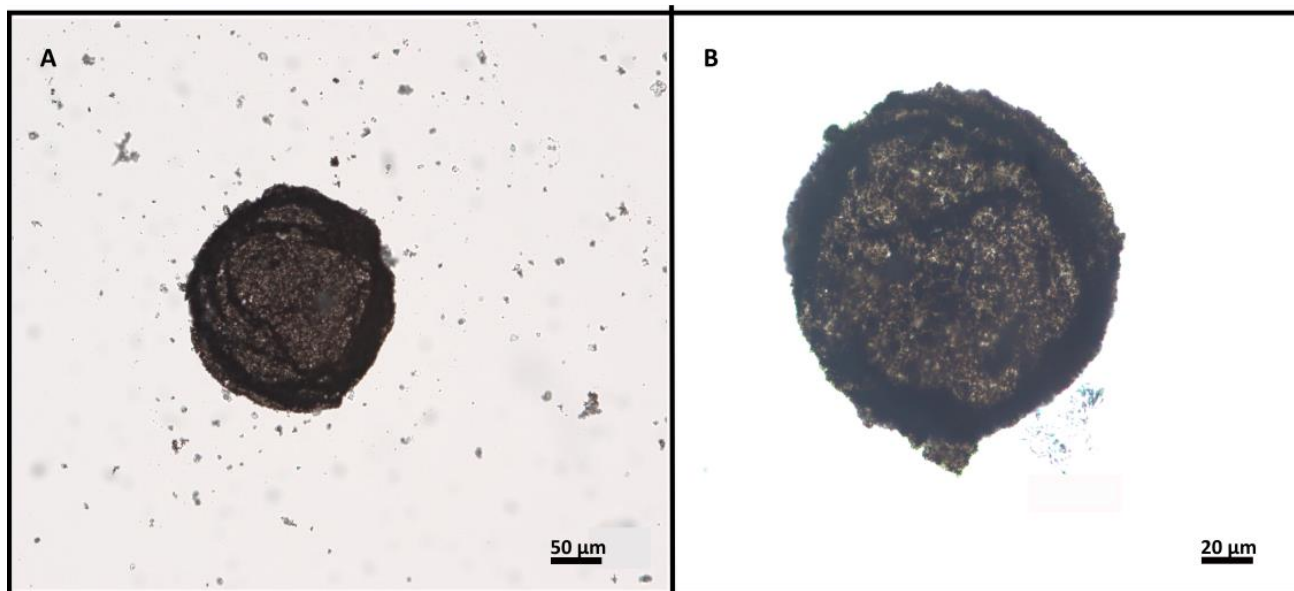


Figura 3: Fotomicrografia de espécimes recuperadas da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, Seção colunar - Poço 1. **A-B)** Exemplares bem preservados de *Leiosphaeridia jacutica* (amostras 17-CLS-54 e 17-CLS-55, respectivamente).

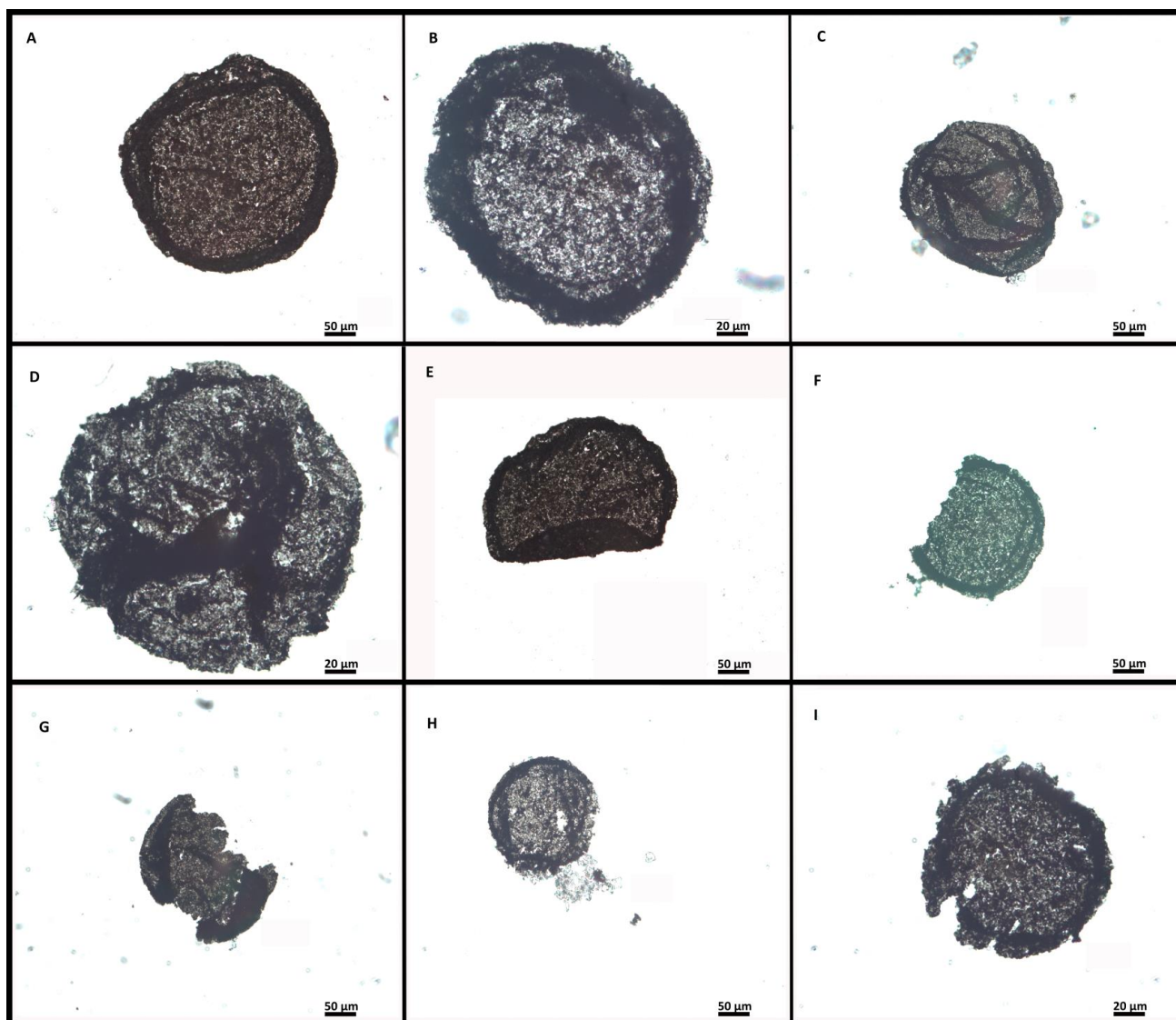


Figura 4: Fotomicrografia de assinaturas tafonômicas preservadas em *L. jacuticas* recuperadas no Poço 1. **A-B)** Dobras

(notar faixa escura) de compressão preferencialmente desenvolvidas nas bordas do acritarco (amostras **17-CLS-81** e **65**), **C-D**) Dobras que cruzam a vesícula, denotando padrão diferente do anterior (amostra **17-CLS-68**), **E**) Dobra de compressão modificando contorno externo da vesícula (amostra **17-CLS-81C**), **F**) Fragmentação de vesícula alterando seu contorno externo (amostra **17-CLS-56**), **G**) Vesícula intensamente fraturada (amostra **17-CLS-68**) e **H-I**) Sinais de corrosão, denotadas por esburacamento e bordas irregulares (amostras **17-CLS-69** e **93**).

Vesículas com diâmetros menores que 70 μm , identificam a espécie *Leiosphaeridia crassa*, de ocorrência restrita, observada apenas nas amostras: 17-CLS-55A, 17-CLS-63, 17-CLS-81A, 17-CLS-81C, 17-CLS-87 e 17-CLS-93. Neste grupo as vesículas possuem diâmetro variando de 59 μm a 15 μm , ocorrem espécimes bem preservados (**Fig. 5A**). Foi observada também uma vesícula que não pode ser seguramente identificada, caracterizada por protuberância pontiaguda (**Fig. 5B**) na parte externa do microfóssil. Esta estrutura pode estar associada a um processo de degradação da vesícula que se “rasgou” sem desconectar-se da parede do acritarco. Neste caso, idealmente seria necessária a descrição e observação de mais espécimes como este e em melhor estado de preservação, para que fosse confirmada a presença de acritarcos com processos tubulares (e.g. como aqueles do gênero *Germinosphaera*).

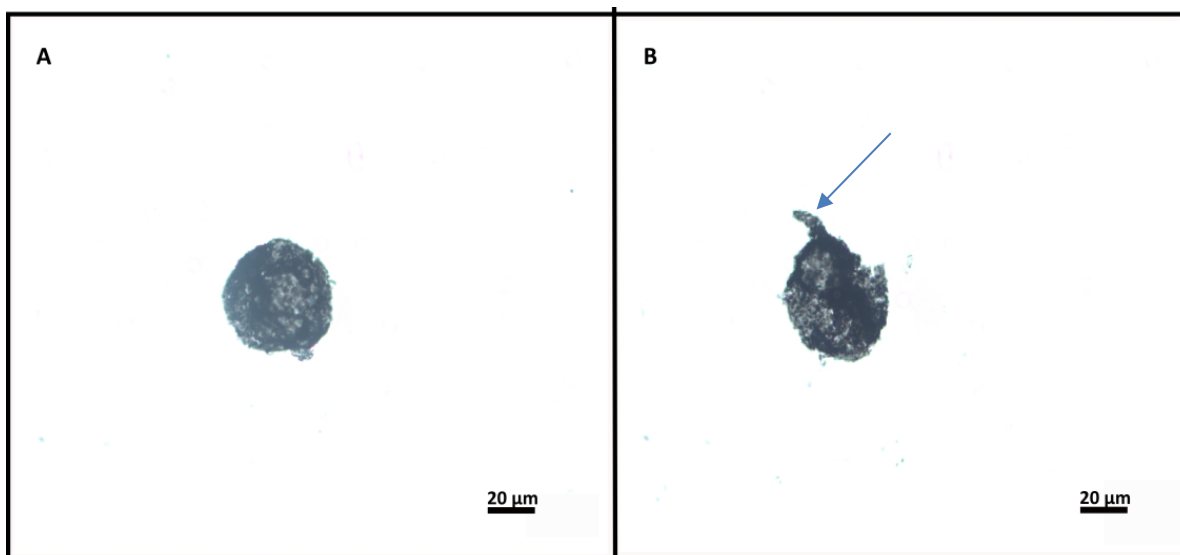


Figura 5: Fotomicrografia de espécimes recuperadas na amostra **17-CLS-87**. **A)** Exemplares bem preservados de *Leiosphaeridia crassa* e **B)** Acritarco esferomorfo com aparente processo tubular (obs:atentar para indicação com seta).

As formas ou fragmentos de formato alongado foram observadas nas lâminas: 17-CLS-87, 17-CLS-20, 17-CLS-56, 17-CLS-68, 17-CLS-69, 17-CLS-70 e 17-CLS-81C.

Esses fragmentos apresentam largura e comprimento variáveis, variando de 53 a 193 μm e de 84 a 462 μm , respectivamente. Ocorrem neste grupo dobras longitudinais (**Fig. 6A e E**), tipicamente encontradas em algumas macroalgas, como por exemplo, do gênero *Vendotaenia*. Contudo, não é possível confirmar tal identificação, tendo em vista que as amostras macroscópicas, necessárias para confirmar a identificação de microfósseis deste trabalho, eram bastante

fragmentadas e diminutas (massas inferiores a 20 gramas).

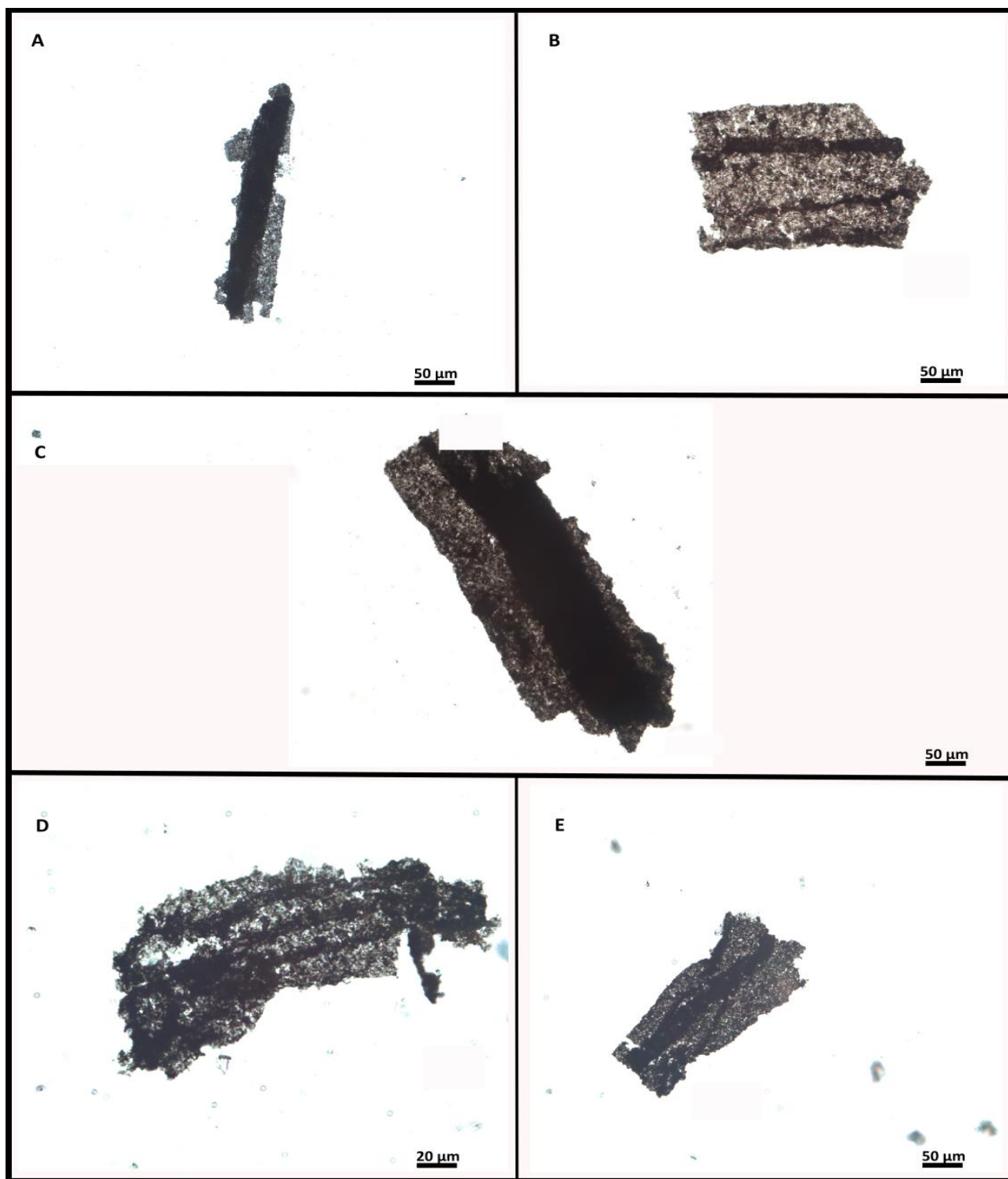


Figura 6: Fotomicrografia de microfósseis alongados das amostras 17-CLS-20, 68, 87 e 69, respectivamente. A-E) Fragmentos com formas variadas e dobras longitudinais (“listras escuras”), comumente encontradas em algumas macroalgas.

Os fragmentos amorfos foram observados nas lâminas: 17-CLS-87, 17-CLS-20, 17-CLS-54 e 17-CLS-56. Seu intenso grau de fragmentação (**Fig. 7A e B**) não permite adequada atribuição taxonômica para estes microfósseis.

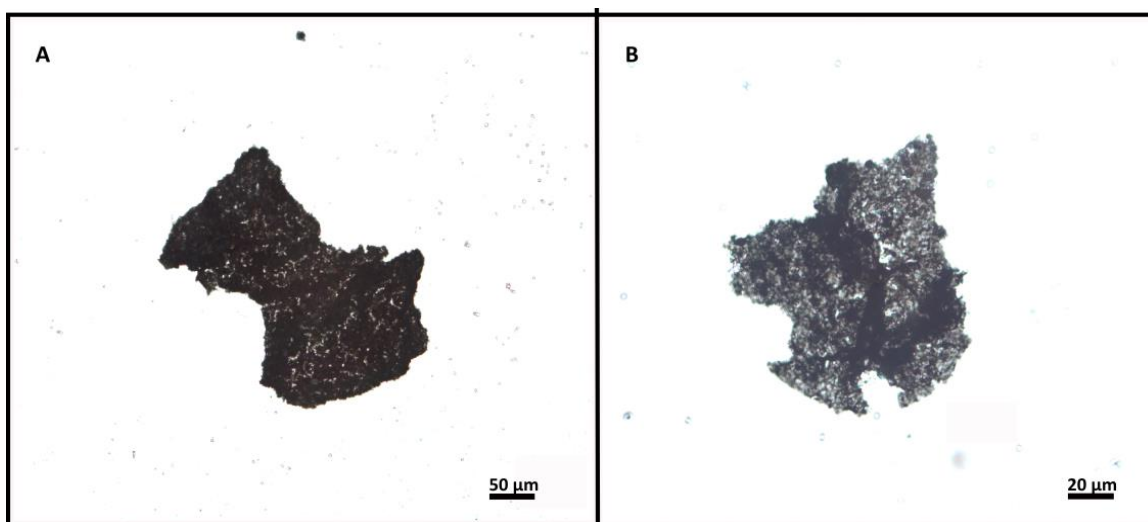


Figura 7: Fotomicrografia de microfósseis amorfos das amostras 17-CLS-70 e 81C. A-B) Fragmentos amorfos com alto grau de fragmentação.

5.2 Contagem e distribuição das amostras na seção estudada

Foram confeccionados gráficos e tabela a partir da contagem de espécies identificadas (*Leiosphaeridia jacutica* e *Leiosphaeridia crassa*) nas 19 amostras estudadas, a fim de avaliar a distribuição destas na seção colunar do Poço 1 e verificar possíveis correlações com variáveis geoquímicas, objetivos estes que serão discutidos e apresentados no capítulo seguinte.

A tabela a seguir apresenta o resultado obtido no cômputo de espécimes de acritarcos em cada uma das amostras analisadas.

Tabela 1 – Contagem e distribuição do gênero *Leiosphaeridia* na seção colunar - Poço 1.

Código da amostra	Posição na coluna estratigráfica (m)	Litologia	<i>L. jacutica</i>	<i>L. crassa</i>
17-CLS-93	695.68	Folhelho preto	1	0
17-CLS-87	724.45	Calcário	11	5
17-CLS-81	750.45	Calcário	24	12
CLS-77	770.71	Calcário	0	0
17-CLS-73	789.86	Calcário	51	0
17-CLS-70	804.41	Calcário	25	0
17-CLS-69	809.01	Calcário	51	0
17-CLS-68	813.7	Calcário	51	2
17-CLS-65	827.07	Calcário	25	2
17-CLS-63	836.14	Calcário	9	0
17-CLS-60	850.11	Calcário	0	0
17-CLS-58	859.12	Calcário	3	1
17-CLS-56	867.65	Calcário	51	10
17-CLS-55	872.2	Calcário	41	27
17-CLS-54	876.74	Calcário	26	25
17-CLS-22	1025.1	Siltito esverdeado	0	0
17-CLS-21	1029.86	Folhelho + Calcário	4	0
17-CLS-20	1034.57	Folhelho + Calcário	9	7
17-CLS-12	1069.85	Folhelho preto	1	0

Com base na **Tabela 1**, observaram-se diferenças na quantificação entre as espécies identificadas neste trabalho, uma vez que a ocorrência de *Leiosphaeridia jacutica* ($n > 50$) é superior ao registro de *Leiosphaeridia crassa* nas amostras. Nas amostras CLS-77, 17-CLS-60 e 17-CLS-22, destaca-se ainda, a ausência de microfósseis das duas espécies anteriormente descritas.

Baseando-se nestas informações e nos dados contidos na tese de doutoramento de Caetano-Filho (2020), o gráfico (**Fig. 8**) apresenta a distribuição dos microfósseis, em termos de profundidade da seção estudada e a quantidade de espécimes de acritarcos encontrados.

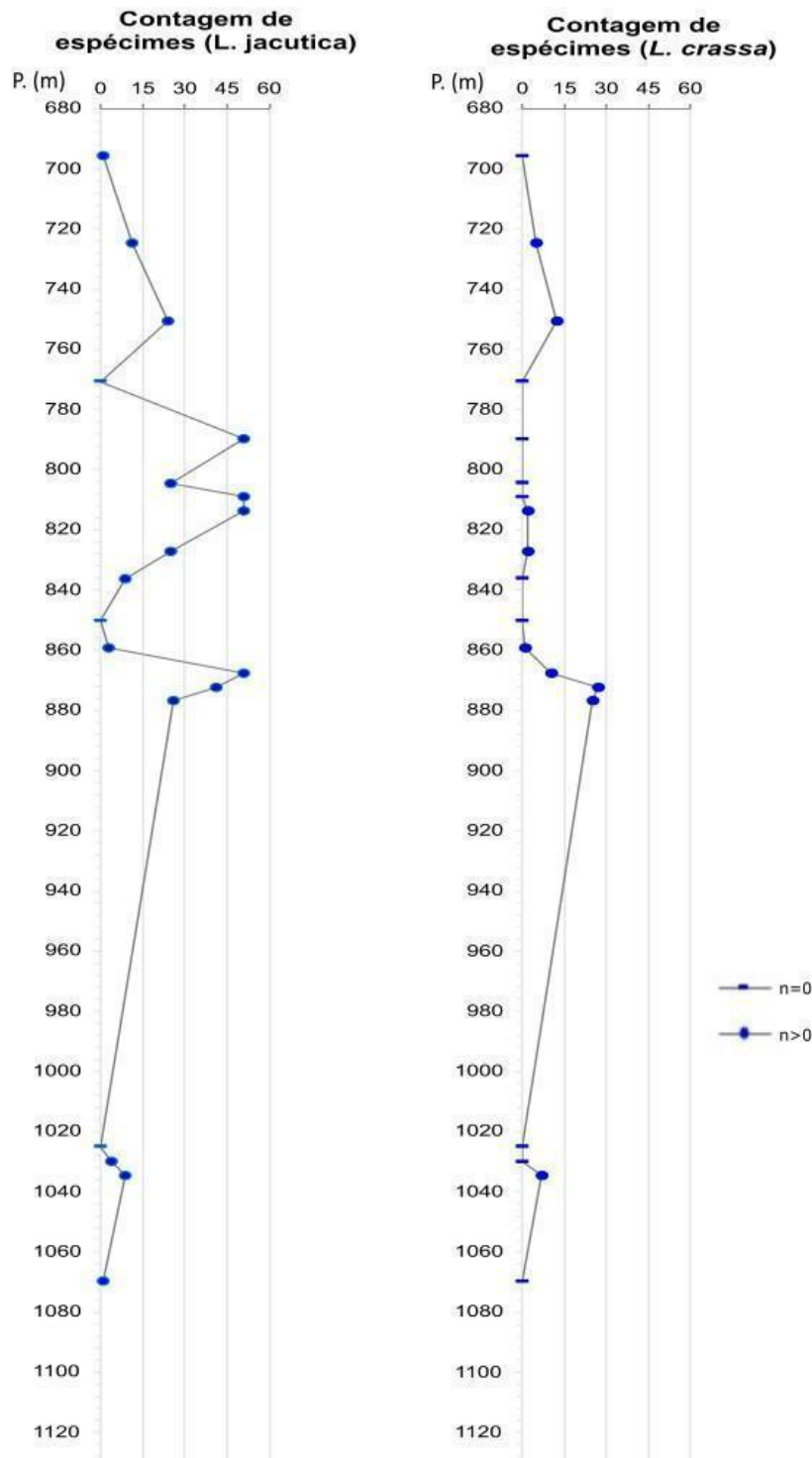


Figura 8: Distribuição e contagem de acritarcos identificados nas amostras da seção colunar Well 1.

Analisando as curvas obtidas, da base para o topo da seção colunar Poço 1, nota-se contagem (n) baixa de microfósseis e distribuição irregular das espécies identificadas, entre 880 e 1080 m de profundidade. Entre as profundidades de 790 e 820 m aproximadamente, evidencia-se alta contagem de *L. Jacutica* acoplada a baixa contagem de *L. Crassa*.

A partir daí (~ 876,74 m) registra-se a coexistência entre as espécies do gênero *Leiosphaeridia* e um aumento de sua quantificação, seguido de decréscimo em ~ 859,12 m. Na sequência (~ 836,14 m), a medida que avançamos para o topo da seção, observa-se um marcante aumento progressivo nas quantidades contabilizadas de *Leiosphaeridia jacutica* (n > 50), associado a aparição isolada e discreta de *Leiosphaeridia crassa* (n = 4).

Em aproximadamente 770,71 m destaca-se o desaparecimento de ambas espécies de acritarcos identificadas aqui e a partir daí registra-se novamente, porém em menor magnitude, o aumento e decréscimo de n destas espécies, até o desaparecimento (n = 0) da espécie *Leiosphaeridia crassa* representado pela amostra mais rasa analisada (17-CLS-93), de profundidade 695,68 m.

6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados apresentados pode-se estabelecer conexões entre a distribuição dos microfósseis identificados na seção colunar estudada, bem como descrever a sua relação com demais variáveis de caráter faciológico e geoquímico.

A figura abaixo (**Fig. 9**) representa a sequência litoestratigráfica da Formação Sete Lagoas, observada no poço 1, associada a contagem de espécies de acritarcos realizada e aos principais dados geoquímicos correlacionáveis.

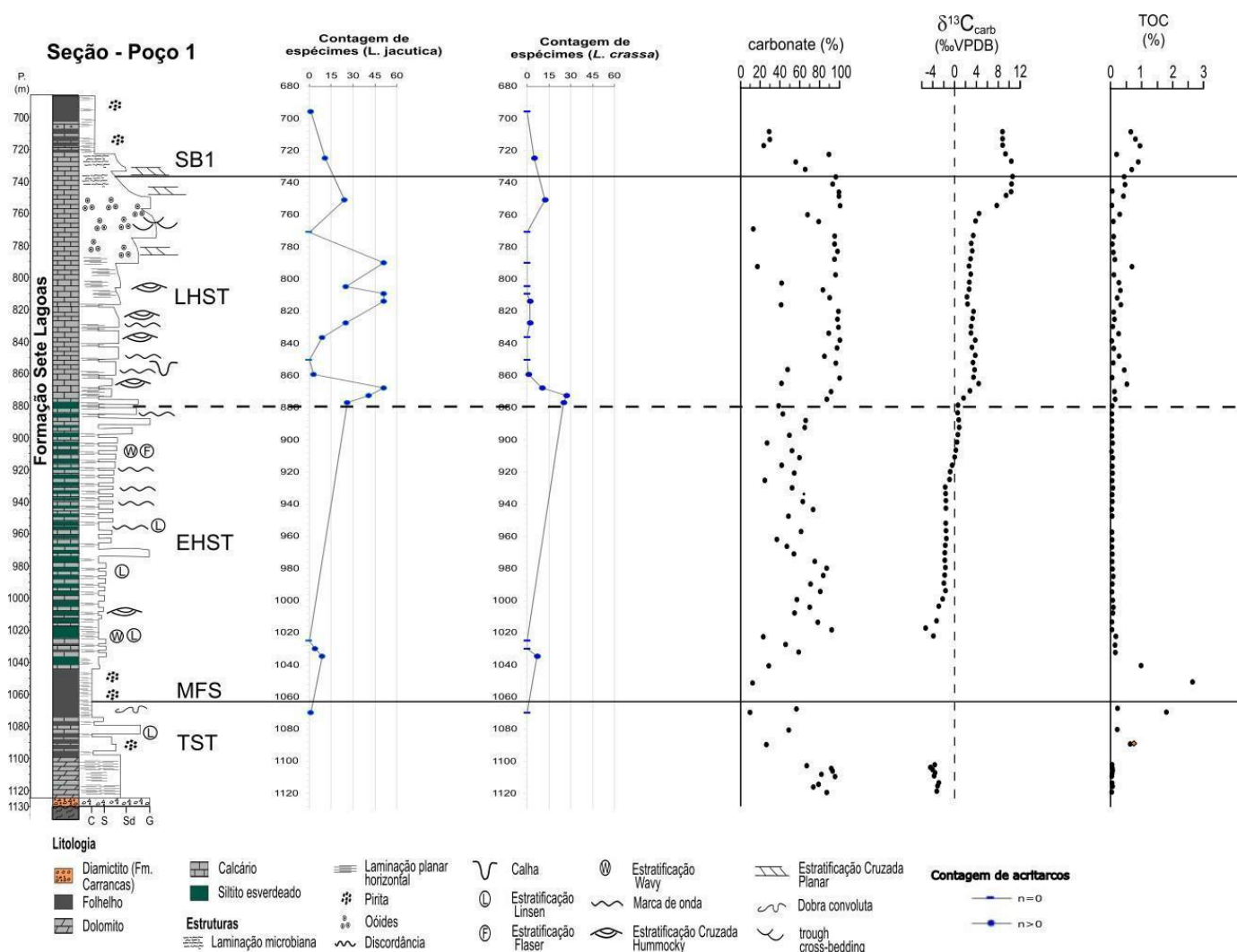


Figura 9 (Caetano-Filho, 2020): Evolução de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (VPDB‰), carbonato (%), TOC (%) e contagem de *Leiosphaeridia* (n) da Seção colunar - Poço 1, representando o Grupo Bambuí basal (modificações realizadas pela autora deste TF: layout, tradução, seleção e apresentação apenas do conteúdo de interesse). As linhas de correlação indicam a divisão estratigráfica de sequências de Caetano-Filho et al. (2019): TST – Trato de Sistema Transgressivo; MSF – Superfície Máxima de Inundação; EHST – Trato de Sistema de Mar Alto Inicial; LHST – Trato de Sistema de Mar Alto Tardio; SB1 – Limite de Sequência. Escala granulométrica: C – Clay (argila), S – Silt (silte), Sd – Sand (areia) e G – Gravel (cascalho).

A seção colunar do Poço 1 é uma sucessão sedimentar mista siliciclástica-carbonatada de 430 m de espessura e representa sequências basais do Grupo Bambuí (Reis e Suss, 2016, Caetano-Filho et al., 2019).

Na base da sucessão (Caetano-Filho et al., 2020), ocorre fina camada de rocha conglomerática (Diamictito – Formação Carrancas), gradando para Dolomitos da Formação Sete

Lagoas, com laminação planar, seguido de Folhelho pretos, que definem uma superfície de inundação máxima de 2ª ordem (MSF), intercalados com calcários de granulação fina a média, com laminação heterolítica do tipo *Linsen* e estruturas de sobrecarga (dobras convolutas) que indicam fluxos gravitacionais, caracterizando o Trato de Sistema Transgressivo basal (TST) do grupo.

Subindo no empilhamento sedimentar temos a alternância entre camadas de calcários de granulação fina a média e siltitos esverdeados, que foram depositados sob a influência de ondas (e.g. marcas de onda) de tempestade e fluxos gravitacionais (e.g. estratificações do tipo *Linsen*, *Flaser* e *Wavy*) subaquáticos (Reis e Suss, 2016), e que caracterizam o Trato de Sistema de Mar Alto Inicial (EHST).

Na sequência observam-se sucessões de rochas carbonáticas lamosas (*Packstones* e *Mudstones*), não lamosas (*Grainstones*), conforme classificação de Dunham (1962) e calcários microbianos (Caetano-Filho et al., 2020). Os calcários de granulação fina a grossa, com oóides, laminação microbiana, estratificação cruzada do tipo *Hummocky* e estratificação cruzada planar, compreendem o Trato de Sistema de Mar Alto Tardio (LHST) que é delimitado no topo por uma superfície erosiva de 2ª ordem (Reis e Suss, 2016).

Seguindo para o topo da seção, ocorrem calcários microbianos da Formação Sete Lagoas acompanhados de siliciclásticas de granulação fina da Formação Serra de Santa Helena, definindo o novo Trato de Sistemas Transgressivos (Caetano-Filho et al., 2020) e portanto, o Limite de Sequência (SB1).

Contudo, a partir desta caracterização nota-se que a concentração de espécimes de *Leiosphaeridia jacutica* (espécie mais abundante entre as amostras analisadas) ocorre preferencialmente na Fácies Siltoareno-carbonática depositada no 2º Ciclo Transgressivo, após a mudança na fisiografia da Bacia do Bambuí, onde os calcários possuem granulação mais grossa (entre 876,74 e 789,86 m), o que pode estar associado ao transporte destes acritarcos, uma vez que os mesmos não estariam sujeitos apenas a ação da gravidade (e.g. decantação) mas também a ação de correntes que poderiam favorecer a seleção e concentração dos microfósseis maiores.

As assinaturas tafonômicas descritas no capítulo anterior, podem caracterizar importante evidência do processo de transporte, especialmente àquelas relacionadas à fragmentação (predominante) e fraturamento dos acritarcos, embora esta evidência tafonômica deva ser interpretada com cautela, já que os acritarcos também podem se fragmentar durante a preparação laboratorial das amostras.

Adicionalmente, esclarece-se que sinais de corrosão observados nos espécimes podem estar relacionados tanto ao tipo de fluido percolante na rocha (e.g. diagênese) quanto a particularidades relativas ao processamento palinológico das amostras, tais como a massa de rocha disponível para a preparação e o volume de adição de ácidos (clorídrico e /ou fluorídrico) utilizados nas amostras pequenas.

As estruturas sedimentares observadas nesta fácies (estratificação cruzada do tipo *Hummocky* e marcas de onda, especialmente), indicam importante fluxo oscilatório, gerado por

orbitais de onda e portanto, conexão marinha com a Bacia epicontinental do Bambuí.

As espécies de acritarcos identificadas, *L. jacutica* e *L. crassa*, apresentam ampla distribuição estratigráfica, desde o Neoproterozoico até o Paleozoico inferior, de acordo com Grey (2005). Portanto, elas não definem uma biozona com limites geocronológicos precisos e, por essa razão, sua aplicação bioestratigráfica é muito limitada.

No início e no final de Ediacarano, em diferentes seções geológicas ao redor do globo, são encontradas associações de acritarcos de baixa diversidade e baixa complexidade morfológica, denominadas por Gaucher & Sprechman (2009) de EELP (*Early Ediacaran Leiosphere Palynoflora*) e LELP (*Late Ediacaran Leiosphere Palynoflora*). Ambas são caracterizadas pela predominância de espécies de *Leiosphaeridia* e pela ausência de acritarcos com processos, também chamados de acantomorfos (Gaucher & Sprechman, 2009). Entre essas duas palinofloras, tem lugar a ECAP (*Ediacaran Complex Acritarch Palynoflora*), constituída por grande diversidade de gêneros e espécies de acritarcos acantomorfos grandes ($> 200 \mu\text{m}$) e com processos de morfologia muito variada (Grey, 2005; Zhou et al., 2007).

Além de ser muito difícil distinguir a EELP da LELP (Gaucher & Sprechman, 2009), não é possível assegurar que as associações de acritarcos identificadas neste trabalho sejam representantes de uma dessas palinofloras, pois sempre há a possibilidade teórica de que outros acritarcos, como os acantomorfos, não tenham sido encontrados por não terem sido preservados, ou seja, a predominância de espécies de *Leiosphaeridia* pode ser devida a um viés tafonômico, em que a preservação de outros acritarcos mais delicados não tenha sido favorecida. Ainda assim, é possível, que com o processamento de um número maior de amostras palinológicas em diversas seções geológicas, e com a análise conjunta de dados quimioestratigráficos e geocronológicos, seja possível definir com maior precisão em que intervalo de tempo ocorreu a deposição da Formação Sete Lagoas.

Quanto às variáveis geoquímicas, considera-se que os carbonatos de modo geral registram a composição isotópica do Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) nos oceanos e que sua distribuição é controlada principalmente pelo balanço fotossíntese/respiração, pelas mudanças nas características do aporte fluvial para os oceanos e por trocas gasosas entre oceano-atmosfera (Kroopnick, 1985; Sarmiento et al. 1988; Mulitza et al., 1999). A fotossíntese, retira ^{12}C das águas superficiais, tornando as águas ricas em ^{13}C , deste modo, o aumento da produtividade primária causa um aumento de $\delta^{13}\text{C}_{\text{CID}}$, que é incorporado aos carbonatos, que no registro geológico é identificado por excursões positivas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ (Cruz et al., 2021).

Por isso, considerando que os acritarcos estejam relacionados a este balanço, parece haver correlação direta entre a frequência/abundância relativa de *Leiosphaeridia jacutica* (com *Leiosphaeridia crassa* subordinada) e os parâmetros: percentual de carbonatos, $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ (isótopo do carbono de carbonatos) e Carbono Orgânico Total (TOC).

Conforme ilustrado na **Figura 9**, a linha tracejada, que marca a passagem do EHST para o LHST, também delimita o aumento de n (contagem de *Leiosphaeridia*) acoplado a percentuais de

carbonatos superiores a 80%, seguidos de uma importante excursão positiva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ (entre 0‰ e 4‰), além do aumento discreto do TOC ($> 0,1\%$).

Assim sendo, é possível que as condições ambientais que favoreceram a deposição dos carbonatos, bem como o aumento do TOC e do $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ no intervalo estudado, também tenham sido favoráveis à proliferação e/ou à preservação dos acritarcos. Considerando-se também que *Leiopshaeridia* é atribuída a um gênero de algas verdes (Talyzina & Moczydlowska, 2000), a alta contagem desses organismos num intervalo de excursão positiva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$, pode ser compatível com a interpretação de que essa excursão isotópica esteja relacionada com um aumento da produtividade primária. No entanto, como a acumulação desses acritarcos também pode ser de origem tafonômica, sugere-se que se dê continuidade ao trabalho de preparação das demais amostras contidas no furo de sondagem Poço 1, ou ainda de outras seções correlatas, a fim de traçar interpretações paleoambientais mais seguras, inclusive para que estas e outras variáveis geoquímicas estudadas por Caetano-Filho (2020) possam auxiliar no entendimento dos mecanismos de fracionamento isotópico do Carbono em plataformas de água rasa.

7. CONCLUSÕES

Foram identificadas duas espécies de acritarcos, *Leiosphaeridia jacutica* e *Leiosphaeridia crassa*, entre as profundidades de 695,68 m e 1069,85 m do Poço 1. Estes microfósseis possuem forma vesicular esférica simples, com assinaturas tafonômicas tais como: dobras de compressão, fragmentação, fraturamento e sinais de corrosão. De modo geral, ocorrem predominantemente em rochas carbonáticas de granulação fina a grossa, com estratificação cruzada e marcas de onda, definindo o Trato de Sistema de Mar Alto Tardio (**Fig. 9**).

Todos os microfósseis descritos aqui correspondem aos da literatura para a Formação Sete Lagoas. A concentração das vesículas maiores (e.g. *Leiosphaeridia jacutica*) predominantemente observadas nas amostras, ocorre preferencialmente na Fácies Siltoareno-carbonática, de granulação mais grossa e que, portanto, pode indicar a presença de transporte controlando sua seleção e concentração.

A correlação entre a distribuição de acritarcos das amostras analisadas na seção colunar do Poço 1 e variáveis geoquímicas ligadas a composição isotópica de carbonatos ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ e percentual de carbonatos) e Carbono Orgânico Total (TOC), parece indicar importante associação, uma vez que marca o aumento de n (contagem de *Leiosphaeridia*), associado a percentuais elevados de carbonato (> 80%) e elevação no $\delta^{13}\text{C}_{\text{Carb}}$ (entre 0‰ e 4‰), acoplado discretamente ao aumento do TOC (> 0,1 %).

O estudo contribuiu com a identificação e descrição de espécies de acritarcos da Formação Sete Lagoas, de uma seção colunar que ainda não havia sido investigada, além de acrescentar possíveis interpretações quanto à distribuição destas espécies e sua relação com algumas variáveis geoquímicas de interesse.

Adicionalmente, estas interpretações podem orientar a continuidade do trabalho de preparação das demais amostras do Poço 1, a fim de melhor caracterizar o registro micropaleontológico das sequências de Trato de Mar Alto e da transição dos demais Tratos de Sistema, uma vez que as amostras analisadas no presente trabalho concentraram-se predominantemente na faixa definida como LHST da seção colunar estudada.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A Bacia Intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto C.P., Martins-Neto M.A. (eds.) Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. Belo Horizonte: SBG-MG, p. 9-30.
- Alkmim, F.F.; Marshak, S.; Pedrosa-Soares, A.C.; Peres, G. G.; Cruz, S.C.P.; Whittington, A. 2006. Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian research*, 149: 43-64.
- Alkmim, F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, São Paulo, pp. 17-35.
- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, v. 33, n. 1, p. 127–139.
- Allen, P.A.; Etienne, J.L. 2008. Sedimentary challenge to Snowball Earth. *Nature Geoscience*, 1: 817-825.
- Alvarenga, C.J.S.; Figueiredo, M.F.; Babinski, M.; Pinho, F.E.C. 2007a. Glacial diamictites of Serra Azul Formation (Ediacaran, Paraguay belt): Evidence of the Gaskiers glacial event in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 23: 236–241.
- Arvestal, E.H. & Willman, S. 2020. Organic-walled microfossils in the Ediacaran of Estonia: Biodiversity on the East European Platform. *Precambrian Research* 341, 105626.
- Babinski, M.; Kaufman, A.J. 2003. First direct dating of a neoproterozoic post-glacial cap carbonate. IV South American Symposium on Isotope Geology, Abstracts, 1: 321-323.
- Babinski, M.; Vieira, L.C.; Trindade, R.I.P. 2007. Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambu Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events. *Terra Nova*, 19: 401-406.
- Caetano-Filho, S., Paula-Santos, G.M., Guacaneme, C., Babinski, M., Bedoya-Rueda, C., Peloso, M., Amorim, K., Afonso, J., Kuchenbecker, M., Reis, H.L.S., Trindade, R.I.F., 2019. Sequence stratigraphy and chemostratigraphy of an Ediacaran-Cambrian foreland- related carbonate ramp (Bambu Group, Brazil). *Precambrian Research* 331, 105365.
- Caetano-Filho, S., Sansjofre, P., Ader, M., Paula-Santos, G.M., Guacaneme, C., Babinski, M., Bedoya-Rueda, C., Kuchenbecker, M., Reis, H.L.S., Trindade, R.I.F., 2020. A large epeiric methanogenic Bambu sea in the core of Gondwana supercontinent? *Geoscience Frontiers* <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.04.005>
- Caetano-Filho, S. 2020, Carbon and sulfur biogeochemical cycles in the Brazilian Ediacaran record [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/T.44.2020.tde-23122020-125734.
- Cassedane, J.P. 1965. Decouverte d'algue dans Le Calcarie de Bambui (Etat de Minas Gerais, Brésil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 37(1): 79-81.

- Cassedane, J.P.; Cassedane, J.O. 1978. Les stromatolites globuleux de la Fazenda Serra Virgem (Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociências*, 8: 219-234.
- Caxito, F.A.; Halverson, G.P.; Uhlein, A.; Stevenson, R.; Dias, T.G.; Uhlein, G.J. 2012. Marinoan glaciation in east central Brazil. *Precambrian Research*, 200: 38-58.
- Couto, J.G.P.; Cordani, U.G.; Kawashita, K.; Iyer, S.S.; Moraes, N.M.P. 1981. Considerações sobre a idade do Grupo Bambuí com base em análises isotópicas de Sr e Pb. *Revista Brasileira de Geociências*, 11:5-16.
- Cruz, F.W., Utida, G., Gomes, T., Pessenda, L.C.R., Paula-Santos, G.M., Chiessi, C.M., Campos, M.C., Novello, V.F., 2021. Aplicação de isotópos estáveis de carbono no estudo das mudanças climáticas e ambientais. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br>
- Denezine, M. 2018. Microfósseis orgânicos da Formação Sete Lagoas, município de Januária, estado de Minas Gerais, Brasil: taxonomia e análise bioestratigráfica [Dissertação de Mestrado]: Brasília, Universidade de Brasília, disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/32285>.
- Denezine, M. 2022. Taxonomia de microfósseis orgânicos da Formação Sete Lagoas, Brasil: Bioestratigrafia e paleobiogeografia do Gondwana durante o Ediacarano [Tese de Doutorado]: Brasília, Universidade de Brasília.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Tulsa: American Association of Petroleum Geologist.
- Fairchild, T.R.; Dardenne, M.A. 1978. First report of well-preserved Precambrian Microfossils in Brazil (Paraopeba Formation, Bambuí Group, near Brasília). *Boletim IGc/USP*, 9: 62-68.
- Fairchild, T.R.; Schopf, J.W.; Shen-Miller, J.; Guimarães, E.M.; Edwards, M.D.; Langstein, A.; Li, X.; Pabst, M.; Melo-Filho, L.S. 1996. Recent discoveries of Proterozoic microfossils in south-central Brazil. *Precambrian Research*, 80: 125-152.
- Fairchild, T.R.; Schorscher, H.D. 1985. Ocorrência de microfósseis e estromatólitos no Grupo Bambuí, Proterozoico (?) Médio-Superior, na região de Piumhi-Pimenta, SW de Minas Gerais, Brasil. *Paleobotânica Latinoamericana*, 7(1): 14.
- Fairchild, T.R.; Subacius, S.M.R.; Karmann, I. 1980. A silified stromatolite microflora from the Late Precambrian of west-central Brazil and its implications for Proterozoic Biostratigraphy. *Boletim IGc/USP*, 11: 33-40.
- Gaucher, C., & Sprechmann, P., 2009. Neoproterozoic acritarch evolution. *Developments in Precambrian Geology*, 16, 319-326.
- Grey, K. 2005. Ediacaran palynology of Australia. *Memoir 31 of the Association of Australasian Palaeontologists*, 439 pp.
- Grey, K. 1999. A modified palynological preparation technique for the extraction of large Neoproterozoic acanthomorph acritarchs and other acid insoluble microfossils. *Western Australia Geological Survey, Record 1999/10*, 23p.

- Hidalgo, R. L. L. 2007. Vida após as glaciações globais neoproterozóicas: um estudo microfossilífero de capas carbonáticas dos Crátons do São Francisco e Amazônico [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/T.44.2016.tde-05012016-155048.
- 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*, 139:1-15.
- Javaux, E. J., & Benzerara, K., 2009. Microfossils. *Comptes Rendus Palevol*, 8(7), 605-615.
- Kroopnickp, M. 1985. The distribution of ^{13}C of ΣCO_2 in the world oceans. *Deep-Sea Res.* 32 (1), 57-84.
- Kuchenbecker, M. 2011. Químioestratigrafia e proveniência sedimentar da porção basal do Grupo Bambuí em Arcos (MG). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 91 p.
- Kuchenbecker, M., Atman, D., Costa, R.D., Pedrosa-Soares, A.C., Babinski, M., 2016b. A Formação Gorutuba: sedimentação litorânea a continental na margem leste da Bacia Bambuí (MG). *Geologia USP – Série Científica* 16(2), 67–81.
- Marchese, H.G. 1974. Estromatólitos “Gymnosolenideos” em El lado Oriental de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 4(4): 257-271.
- Mulitza, S., Arz, H., Kemle-Von Mücke, S., Moos, C., Niebler, H.-S., Pätzold, J., Segl, M. 1999. The South Atlantic carbon isotope record of planktic foraminifera. In : G. Fisher; G. Wefer (Eds.) *Use of Proxies in Paleoceanography*. Verlag Berlin Heidelberg, Springer, p. 427-445.
- Paula-Santos, G.M., Caetano-Filho, S., Babinski, M., Trindade, R.I.F, Guacaneme, C., 2017. Tracking connection and restriction of West Gondwana São Francisco Basin through isotope chemostratigraphy. *Gondwana Research* 42, 280–305.
- Paula-Santos, G.M.; Babinski, M.; Kuchenbecker, M.; Caetano-Filho, S.; Trindade, R.I.F; Pedrosa-Soares, A.C. 2015. New evidence of an Ediacaran age for the Bambuí Group in southern São Francisco craton (eastern Brazil) from zircon U–Pb data and isotope chemostratigraphy. *Gondwana Research*, 28:702–720.
- Perrella Júnior, P.; Uhlein, A.; Uhlein, G.J.; Sial, A.N.; Pedrosa-Soares, A.C.; Lima, O.N.B. 2017. Facies analysis, sequence stratigraphy and chemostratigraphy of the Sete Lagoas Formation (Bambuí Group), northern Minas Gerais State, Brazil: evidence of a cap carbonate deposited on the Januária basement high. *Brazilian Journal of Geology*, 47(1):59-77.
- Pimentel, M.M., Rodrigues, J.B., DellaGiustina, M.E.S., Junges, S., Matteini, M., Armstrong, R., 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: a review. *Journal of South American Earth Sciences* 31, 345–357.

- Reis, H.L.S., Alkmim, F.F., Fonseca, R.C.S., Nascimento, T.C., Suss, J.F., Prevatti, L.D., 2016. The São Francisco Basin. In: Heilbron, M., Cordani, U.G., Alkmim, F.F. (Eds.), São Francisco Craton, Eastern Brazil, Regional Geology Reviews. Springer, Switzerland, pp. 117–143.
- Reis, H.L.S.; Suss, J. F. 2016. Mixed carbonate-siliciclastic sedimentation in forebulge grabens: An example from the Ediacaran Bambuí Group, São Francisco Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 339:83-103.
- Rodrigues, J.B., 2008. Proveniência dos sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí. Um estudo de zircões detríticos e idades modelo Sm-Nd (PhD dissertation). Universidade de Brasília, Brazil, 141 pp.
- Romano, A.W., 2007. Geologia da Folha Pará de Minas (SE.23-Z-C-IV), escala 1:100.000: nota explicativa. UFMG/CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, Brazil.
- Rueda, C.B., 2019. Químioestratigrafia isotópica (C, O, Sr) de alta resolução dos carbonatos da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, na região sudoeste da Bacia do São Francisco [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.2019.tde-12122019-095232.
- Sanchez, E.A.M. 2010. Micropaleontologia aplicada na interpretação estratigráfica e paleoclimática da transição entre o Grupo Paranoá e o Supergrupo São Francisco (Neoproterozóico, Cabeceiras, GO) [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.2010.tde-06052010-133018.
- Sanchez, E.A.M. 2015. Microbialitos e microfósseis da Formação Sete Lagoas, Neoproterozoico, Brasil: implicações geomicrobiológicas em um contexto de mudanças climáticas e evolutivas [Tese de Doutorado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/T.44.2015.tde-22042015-143918.
- Santos, R.V., Alvarenga, C.J.S., Babinski, M., Ramos, M.L.S., Cukrov, N., Fonseca, M.A., Sial, A.N., Dardenne, M.A., Noce, C.M., 2004. Carbon isotopes of Mesoproterozoic–Neoproterozoic sequences from southern São Francisco craton and Araçuaí Belt, Brazil: Paleogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences* 18, 27–39.
- Sarmiento, J.L., Toggweiler, J.R., Najjar, R. 1988. Ocean carbon-cycle dynamics and atmospheric pCO₂. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 325 (1583): 3-21. <https://doi.org/10.1098/rsta.1988.0039>
- Schopf, J. W.; Kudryavtsev, A. B.; Agresti, D. G.; Czaja, A. D.; Wdowiak, T. J. 2005. Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils. *Astrobiology*, 5(3), 333-371.
- Simonetti, C. 1994. Paleobiologia de sedimentos meso e Neoproterozoicos da porção meridional do cráton do São Francisco [Dissertação de Mestrado]: São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, doi: 10.11606/D.44.1994.tde-19062015-151155.

- Simonetti, C.; Fairchild, T.R. 1989. Paleobiologia de uma nova microflórua silicificada do Grupo Bambuí (Proterozoico Superior), da região de Unaí, MG. Boletim do IGc/USP, Publicações Especiais, 7: 1-25.
- Simonetti, C.; Fairchild, T.R. 2000. Proterozoic microfossils from subsurface siliciclastic rocks of the São Francisco Craton, south-central Brazil. *Precambrian Research*, 103: 1-29.
- Sommer, F.W. 1971. Microfósseis do Calcário Bambuí, de Pedro Leopoldo, Estado de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43: 135-139.
- Sommer, F.W. 1982. Mais oncólitos do Calcário Bambuí de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 54(2): 343-349.
- Tuller, M.P., Ribeiro, J.H., Signorelli, N., Féboli, W.L., Júlio Murilo Martino Pinho, J.M.M., 2010. Projeto Sete Lagoas –Abaeté, CPRM –Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, 160p.
- Uhlein, G.J., Carvalho, J.F.M.G., Uhlein, A., Caxito, F.A., Halverson, G.P., Sial, A.N., 2012. Estratigrafia e sedimentologia da Formação Carrancas, Grupo Bambuí, nas regiões de Belo Horizonte e Pitangui, MG. *Geonomos* 20(2), 79–97
- Uhlein, G.J., Uhlein, A., Pereira, E., Caxito, F.A., Okubo, J., Warren, L.V., Sial, A.N., 2019. Ediacaran paleoenvironmental changes recorded in the mixed carbonate-siliciclastic Bambuí Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 517, 39–51.
- Vieira, L.C.; Trindade, R.I.F.; Nogueira, A.C.R.; Ader, M. 2007a. A Formação Sete Lagoas em sua área-tipo: fácies, estratigrafia. *Brazilian Journal of Geology*, 37(4): 168-181.
- Vieira, L.C.; Trindade, R.I.F.; Nogueira, A.C.R.; Ader, M. 2007b. Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. *C R Geoscience*, 339: 240-258.
- Warren, L.V.; Quaglio, F.; Riccomini, C.; Simões, M.G.; Poiré, D.G.; Strikis, N.M.; Anelli, L.E.; Strikis, P.C. 2014. The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil *Cloudina* reveals an old proto-Gondwana seaway. *Geology*, 42:391-394.
- Zaine, M.F. 1991. Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 215 p.
- Zalán, P.V., Romeiro-Silva, P.C., 2007. Bacia do São Francisco. *Boletim de Geociências Petrobrás* 15(2), 561–571.
- Zhou, C., Xie, G., McFadden, K., Xiao, S., Yuan, X., 2007. The diversification and extinction of Doushantuo-Pertatataka acritarchs in South China: causes and biostratigraphic significance. *Geological Journal*, 42(3-4), 229-262.