

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ABORDAGEM MICROPALEONTOLÓGICA E  
GEOQUÍMICA DA FORMAÇÃO ASSISTÊNCIA (SUBGRUPO  
IRATI, PERMIANO, BACIA DO PARANÁ, BRASIL)**

**Cléber Pereira Calça**

Orientador: Prof. Dr. Setembrino Petri

**TESE DE DOUTORADO-VERSÃO REVISADA**  
Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**SÃO PAULO**

2014

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

Calça, Cléber Pereira

Abordagem micropaleontológica e geoquímica da  
Formação Assistência (Subgrupo Irati, Permiano,  
Bacia do Paraná, Brasil). / Cléber Pereira Calça. -  
- São Paulo, 2014.

186 p. : il. + anexos

Tese (Doutorado) : IGc/USP

Orient.: Petri, Setembrino

1. Micropaleontologia 2. Dolomita 3. Permiano :  
Bacia do Paraná I. Título

*Em memória ao meu querido avô,  
Raimundo Francisco Pereira*

# Agradecimentos

---

Agradeço ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que forneceu bolsa de doutorado através do processo 2010/50659-0, financiando os trabalhos de campo, compras de materiais de laboratório, passagens aéreas, envios postais e diárias com verbas dos processos 2010/51190-5; 2010/50659-0 e 2009/02599-1.

Também foi essencial o papel do Instituto de Geociências da USP, que disponibilizou espaço, pessoal e material que auxiliaram o desenvolvimento adequado de quase todas as atividades realizadas no decorrer do projeto. Agradeço à Universidade do Porto, Portugal, por ter usado o Laboratório Nacional de Energia e Geologia do seu Departamento de Geologia e à Universidade de Johannesburgo, África do Sul, por permitir-me acessar suas instituições e utilizar o Laboratório de Geologia.

Agradeço e estimo profundamente aos seguintes amigos:

Barbara Cavalazzi, atualmente da Universidade de Bologna, Itália, que possibilitou, em 2012, que eu acessasse os laboratórios da Universidade de Johannesburgo, África do Sul. Lá fiz um estágio onde aprendi muito do que hoje sei sobre petrografia, microscopia eletrônica, espectroscopia, difratometria e microssonda. Além disso, obtive boa parte dos dados que exponho aqui. Não seria justo deixar de mencionar o apoio de Axel Hoffmann, da Universidade de Johannesburgo, professor que deu apoio institucional para que este estágio fosse realizado.

Os técnicos de laboratório Eve Fisher e Christian Reinke, também da Universidade de Johannesburgo, que, apesar do meu inglês atrapalhado, foram extremamente simpáticos e pacientes, me ensinando diversos procedimentos de laboratório.

Paulo Alves de Souza e Cristina Félix, ambos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por permitir que eu examinasse de lâminas palinológicas da coleção do Laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo, do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências desta universidade. Paulo Alves de Souza, em particular, tem sido muito importante em constantes trocas de ideias e informações.

Luis Armando Espitio Sanguan e Mário Gonzalez, do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP, que

simpaticamente ajudaram-me a utilizar softwares e compreender os dados de difratometria de raio X.

Os professores do Instituto de Geociências da USP: Thomas Rich Fairchild, que, desde que nos conhecemos, em muito vêm contribuindo à minha formação profissional e pessoal. É também um dos principais responsáveis por esta pesquisa, pois esteve em quase todas as etapas da pesquisa. Foi ele, inclusive, quem descobriu os primeiros micro-organismos silicificados em lâminas de Taguaí, SP.

Jorge Hachiro, que esteve em todos os trabalhos de campo deste trabalho, e, desde a época do mestrado, nunca se negou a contribuir com informações, material e conhecimento.

André de Oliveira Sawakuchi, pelas constantes trocas de ideias e contribuição no trabalho de campo no estado do Paraná.

Alexandra Guedes, da Universidade do Porto, Portugal, que me permitiu utilizar o espectrômetro Raman do laboratório em que trabalha sem exigir qualquer retorno.

Os técnicos de laboratório do Instituto de Geociências da USP Jordana Acuña Zampelli e Isaac Jamil Sayeg, pela amizade e competência demonstram em constantes ajudas nas análises petrográficas e de microscopia eletrônica de varredura.

O técnico Sebastião de Almeida Boleta, do Laboratório Multi-usuário de Histologia e Microscopia Eletrônica do Instituto de Ciências Biológicas 3 da USP, que com completo desprendimento preparou amostras para microscopia eletrônica de varredura.

A estagiária Débora Kátia de Vargas e à técnica Ivone Cardoso Gonzales, pessoas de elevada paciência e competência, que muito me ajudaram na inclusão de mais de 200 amostras de mão e outras mais de 200 lâminas em coleções do Laboratório de Paleontologia Sistemática do Instituto de Geociências da USP.

Tereza Regina, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, pelas valiosas contribuições com ideias e ajuda no reconhecimento dos microfósseis. A René Rodrigues, da mesma instituição, pela atenção e doação de amostras do Poço PaleoSul.

Marley Antônio Carrari Chani, colega também pós-graduando, por ter fornecido imagens do afloramento de Paraisolândia.

Donald Emmanuel Ngonge, pela amizade e correções do *abstract*.

Os pesquisadores estrangeiros que, simpaticamente, responderam e-mails e esclareceram-me muitas questões científicas: Stjepko Golubić, da Universidade de Boston, EUA, pelas simpáticas trocas de ideias sobre os microfósseis. Barbara Kremer,

da Academia Polonesa de Ciências, Varsóvia, Polônia e Kliti Grice, da Universidade de Curtin, Perth, Austrália, pelas ajudas nos reconhecimentos de estruturas microscópicas.

Os demais companheiros do Instituto de Geociências da USP, pós-graduando, graduando e funcionários, que durante o dia-a-dia tornaram minhas idas à universidade uma rica experiência humana. São tantos que me nego a citar nomes com medo de esquecer alguém. Espero que se sintam também responsáveis por este trabalho.

Meu estimado orientador Setembrino Petri, grande ícone da ciência brasileira. De extenso conhecimento, foi sempre extremamente solícito em todas as ocasiões que necessitei. Ensinou-me muito, sendo importantíssima fonte de inspiração científica e pessoal.

Minha querida Sheila Cardoso da Silva, que deu-me força constante, coisa que somente o amor verdadeiro seria capaz. À minha família, por sempre ter estado no meu lado até mesmo nos momentos mais difíceis, fazendo-me sentir uma pessoa privilegiada.

# Resumo

---

Sedimentos microbianos, ao modificar concentrações iônicas das águas sobre substratos, podem tanto provocar fossilizações de micro-organismos quanto precipitações de calcita, aragonita, dolomita, pirita e minerais de sílica e fosfato. Dados micropaleontológicos, petrográficos e geoquímicos, comumente estudados separadamente, quando integrados, podem elucidar questões sobre a formação destes minerais. A Formação Assistência (Subgrupo Irati, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil) apresenta células e estruturas normalmente associadas a atividades microbianas, como microesferas dolomíticas e pirita. Microfósseis foram reconhecidos e seus processos de fossilização reconstituídos. Sílex, dolomito e folhelho de diversas níveis e localidades foram estudados utilizando-se seções petrográficas normais e polidas; resíduos orgânicos extraídos por dissolução ácida (HF/HCl); superfícies corroídas com dissolução parcial com HF; microscopia petrográfica e eletrônica de varredura (MEV); espectroscopia Raman e de energia dispersiva de raio-X (*Energy Dispersive X-ray-EDX*) e fluorescência e difratometria de Raio-X. As prospecções iniciais revelaram alta variedade de microfósseis de parede orgânica (cianobactérias; grãos de pólen; clorófitas; acritarcos; fitoclástos; escolocodontes; palinoforaminíferos e raros esporos) e microesferas dolomíticas. Diferentemente das pesquisas tradicionais sobre palinoestratigrafia, que utilizam de resíduos rochas siliciclásticas finas, a petrografia do sílex diagenético revelou uma microbiota fóssil composta principalmente por delicadas cianobactérias. Permitiu também o reconhecimento de estágios ontogenéticos e de feições tafonômicas tais como a morfologia tridimensional de vesículas orgânicas e agregações polínicas. Esta preservação excepcional é resultado de silicificação eodiagenética. Todas amostras examinadas por fluorescência e difratometria de Raio-X apresentaram predomínio de sílica e dolomita e menores quantidades de pirita. Ao contrário dos nódulos e lentes de sílex de outros níveis, somente o espesso sílex microbialítico da Camada Evaporítica demonstrou abundantes células de parede orgânica, janelas e fraturas preenchidas, sendo que as janelas possuem bordas dolomíticas. A sílica deste nível, portanto, foi gerada por fluidos supersaturados que substituíram a dolomita pré-existente. Análises com MEV e EDX revelaram cianobactérias fossilizadas com invólucros orgânicos (paredes celulares e/ou bainhas extracelulares) e regiões protoplasmáticas preenchidas por quartzo microcristalino.

Comparações com estudos laboratoriais e ambientais demonstraram, em primeiro lugar, como a interação entre moléculas nas superfícies das células e íons em solução reteve os componentes dos invólucros celulares e mineralizou as demais partes das células. Em segundo lugar, porque o sílex da Camada Evaporítica é espesso ao passo que as ocorrências de sílex dos demais níveis são relativamente pequenas em tamanho. A matriz quartzítica do sílex da Camada Evaporítica também concentra microesferas dolomíticas agregadas em grandes quantidades e associadas a materiais carbonosos. Camadas externas recobrem esferas individuais, pequenos conjuntos e superfícies botrioidais. Nem toda microesfera exibe interior celular preenchidos por dolomita. Além das afinidades biológicas, as análises permitiram deduzir como certas condições na interface água/biossedimento provocaram a precipitação deste tipo de dolomita. Tais condições são relacionadas a salinidade, oxido-redução, razões  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  e atividades biológicas tais como acumulações de substâncias poliméricas extracelulares (EPS - *extracellular polymeric substances*) e processos microbianos anóxicos (e.g. redução de sulfato e metanogênese). Foi possível também se reconhecer a sequência de mineralização (dolomitização e silicificação) bem como certas etapas que levaram a preservação de bainhas e interiores celulares. Os dados obtidos lançam novas perspectivas às discussões globais sobre o “problema da dolomita”.

Palavras-chaves: Subgrupo Irati; Dolomita; Sílex; Micropaleontologia; Permiano.

# Abstract

---

Microbial modification of ionic concentrations on shallow-water substrates recently reached valuable results both on fossilization and precipitation of calcite, aragonite, dolomite, pyrite, and minerals of silica and phosphate. Data on micropaleontology, petrography, and geochemistry, which are often studied separately, when treated together, improve the understanding of the formation of these minerals. The Permian Assistência Formation of the Irati Subgroup in the Brazilian Paraná Basin bears preserved cells and structures commonly associated with microbial activities, such as dolomite microspheres, microcrystalline quartz and pyrite. Microfossils were recognized and their processes of fossilization reconstituted. Chert, dolostone and shale from many stratigraphic levels and locations were studied by the use of normal and polished petrographic sections; organic residues extracted via HF/HCl attack, HF-etched surfaces; polished petrographic sections; scanning electron microscopy (SEM); Raman and Energy Dispersive X-ray (EDX) spectroscopy; fluorescence and X-ray diffraction. Initial surveys revealed a large variety of organic-walled microfossils (cyanobacteria, pollen grains, chlorophytes, acritarchs, phytoclasts, scolecodonts, palynoforaminifers and rare spores) and dolomitic microspheres. Unlike traditional research on palynostratigraphy, which employ organic residues from fine siliciclastic rocks, the petrography of diagenetic chert revealed an abundant fossil microbiota composed principally of delicate cyanobacteria. This procedure allowed also the recognition of ontogenetic stages of microorganisms and taphonomic features such as three-dimensional morphology of organic vesicles and the pollen aggregations. This excellent preservation results from eodiagenetic silicification. Every chert sample examined by fluorescence and X-ray diffraction shows mostly silica and dolomite with minor amounts of pyrite. Unlike the nodules and lenses of chert from other levels,

which are known in many stratigraphic levels, only the massive chert from Evaporite Beb bears abundant organic-walled cells and filled fenestrae and fractures, wherein fenestrae exhibiting dolomitic edges. Silica from this sequence, therefore, was generated from supersaturated solutions which replaced pre-existing dolomite, preserving the organic content. SEM and EDX revealed fossilized cyanobacteria with organic cover (cell walls and/or extracellular sheath) and protoplasmatic region filled by microcrystalline quartz. Comparison with laboratory and environmental studies show, firstly, how the interaction between molecules at cell surfaces and ions in solution retained the organic components of cellular surfaces and mineralized protoplasmatic portions, and secondly, why Evaporite Beb chert is thick, in one hand, and in other hand the further concretionary chert from other levels are relatively smaller. The silica matrix of the Evaporite Beb chert also concentrates dolomitic microspheres, which occurs in large quantities aggregates with carbonaceous material. Outer layers coat individual spheres, small clusters and rounded surfaces. Not every microsphere exhibits in filling by dolomite in the interior of cells. Besides biological affinity, this analysis allowed evaluation of how certain conditions at the water-biosediment interface led to the precipitation of this kind of dolomite. Such conditions are related to salinity, redox,  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  ratios, and ancient biological activities such as the accumulation of extracellular polymeric substances (EPS) and anoxic microbial processes (e.g. sulfate reduction, methanogenesis). It was also possible to recognize the mineralization sequence (dolomitization and silicification) as well as certain steps that led to the preservation of sheaths and some cell interiors. The acquired data launches a new prospect for global discussions on the "dolomite problem".

Keywords : Irati Subgroup; dolomite; chert; micropaleontology; Permian.

# Índice

---

Resumo.....	6
Abstract.....	8
Apresentação.....	22
Capítulo 1 - Contexto Geológico Geral .....	26
Capítulo 2 - Materiais e Métodos .....	40
Amostragem .....	41
Microscopia óptica.....	41
Extração de resíduos orgânicos.....	42
Corrosão ácida ( <i>Etching</i> ) .....	42
Microscopia Eletrônica de Varredura.....	45
Espectroscopia Raman.....	45
Fluorescência de Raio X.....	47
Difratometria de Raio X.....	48
Fixação de microfósseis de parede orgânica .....	48
Microsonda.....	49
Ordenamento e quantificação dos microfósseis.....	49
Capítulo 3 - Diversidade geral dos microfósseis e estratigrafia.....	50
Capítulo 4 - Abordagem petrográfica ao estudo de microfósseis de parede orgânica da formação assistências.....	54
Introdução.....	55
Resultados.....	56
Comparação entre os processos de preservação.....	65
Vantagens e limites do estudo de microfósseis orgânicos em resíduos palinológicos e em lâminas delgadas .....	67
Capítulo 5 - Sílex e micro-organismos silicificados.....	71

Introdução.....	72
Resultados.....	73
Mineralogia.....	73
Microtramas.....	73
Nódulos e Lentes.....	73
Matriz do sílex espesso.....	77
Morfologias das cianobactérias.....	78
Espectroscopia.....	82
Possíveis fontes de sílica.....	83
Processos de silicificação .....	86
Permineralização dos micro-organismos.....	90
Capítulo 6 – Microesferas dolomíticas.....	92
Introdução.....	93
Resultados.....	95
Petrografia.....	95
Superfície polida e espectrômetro de energia dispersiva de raio X.....	97
Espectroscopia Raman.....	97
Discussão.....	101
Comparações morfológicas.....	101
Condições geoquímicas da interface água/sedimento.....	102
Mecanismos e cronologia da dolomitização.....	104
Capítulo 7 – Conclusões .....	107
Referências Bibliográficas .....	110
Apêndice 1 – Materiais Extracelulares.....	134
Introdução.....	135
Resultados.....	136
Discussão.....	140
Diferenciação dos materiais extracelulares.....	140
Paleobiologia e implicações paleoambientais.....	143

<i>Gloeocapsomorpha</i> sp.....	143
<i>Botryococcus</i> sp.....	144
Conclusões.....	146
Referências Bibliográficas.....	146
Apêndice 2 – Taxonômica das cianobactérias fósseis da Formação Assistência.....	150
Referências Bibliográficas.....	158
Anexo 1 – Clorófitas solitárias, acritarcos, zoomorfos, fitoclástos e grãos de pólen.....	161
Anexo 2 – Dados complementares.....	170
Fixação de microfósseis de parede orgânica .....	171
Células em macerações palinológicas.....	173
Micro-estromatólito.....	174
Películas com superfícies botrioidais.....	175
Microsonda.....	177

# Lista de Figuras

---

- Figura 1:** Área da Bacia do Paraná na América do Sul e em território brasileiros (modificado de Souza et al. 2010; Souza & Marques-Toigo, 2003; Milani 1997), faixa aflorante da Supersequência Gondwana I (PAULIPETRO 1981) e localização dos sítios paleontológicos (SP) amostrados.....28
- Figura 2:** Parte superior da Supersequência Gondwana I (Milani et al. 2007) entre o estado do Paraná e a região de Santa Rosa do Viterbo, em São Paulo (Figura 1) (Modificado de Hachiro 1996).....30
- Figura 3:** Litologias do Subgrupo Irati e da Formação Taquaral ao sul do Arco de Ponta Grossa. 1: Formação Taquaral: Folhelho cinza sem sílex. Sítio Paleontológico 15, Irati, PR. 2: Ritmito de dolomito e folhelho sinsedimentar, setas apontam para camadas de folhelho. Sítio Paleontológico 11, São Mateus do Sul, PR. 3: Folhelho do nível da Camada Inferior de Folhelhos Betuminosos. Sítio Paleontológico 11, São Mateus do Sul, PR. 4: Contato entre folhelhos verde-oliva da Camada Laje Azul (Camada Intermediária) e camada fina de dolomito da base da Camada Interestratificada Superior. Sítio Paleontológico 11, São Mateus do Sul, PR. 5: Folhelho com nódulos de sílex (setas) da Camada Superior de Folhelhos Betuminosos. Sítio Paleontológico 5, Correia Pinto, SC.....32
- Figura 4:** Litologias do Subgrupo Irati na região entre Joaquim Távora, PR e Taguaí, SP, ao norte do Arco de Ponta Grossa. 1: Contato entre Formação Taquaral e Camada Evaporítica. Sítio Paleontológico 17, Joaquim Távora, PR. 2: Contato entre Formação Taquaral, composta somente por folhelho cinza, e a Camada de Folhelhos Betuminosos, com nódulos de sílex (ver setas em destaque). Sítio Paleontológico 19, Fartura, SP. 3-4: Sílex espesso negro e microbialítico da Camada Evaporítica em bloco solto, com microlaminações (3) e folhelho, provavelmente diapírico (4). Sítio Paleontológico 17, Joaquim Távora, PR.....33
- Figura 5:** Microbialitos em brechamento da Camada Evaporítica. Sítio paleontológico 29, Charqueada, distrito de ParaísoLândia, SP. 1: Fotomontagem do afloramento com dobramento (acamamento convoluto) de camada de dolomito (dol) com nível composto por sílex espesso e folhelho (folh). 2-6: Detalhes das feições microbialíticas, com porções dolomítica (2) e altamente silicificada (3-6). 2: Nível estromatolítico com bioherma inferior contendo estromatólitos colunares (BEC) e nível superior composto por bioestroma com pequenos estromatólitos planares (BEP). 3-4: Bioestroma ligeiramente dobrado. Em (4) há detalhe de laminação moderadamente convexa de estromatólito colunar centimétrico. 5-6: Laminação estratiforme em parte de bioherma silicificado.....34
- Figura 6:** Domos salinos da Camada Evaporítica. 1: Disposição dos domos silicificados e carbonato estratificado circundante. 2: Detalhe da porção externa mais silicificada. 3: Compactação do dolomito estratificado ao redor do domo mais escuro. Sítio Paleontológico 29, Charqueada, distrito de ParaísoLândia, SP.....35
- Figura 7:** Variação litológica do Subgrupo Irati no Estado de Goiás, na porção norte da bacia. 1-2: Ritmitos Inferiores. Ritmitos de folhelho negro e dolomito. Sítio Paleontológico 35, Caiapônia. Detalhe da exposição (2) mostra camadas de folhelho entre dolomito com acamamento lenticular. 3-6: Três camadas do Membro Ipeúna. Sítio Paleontológico 32, Perolândia. 4: Camada Bairrinho, com dolomito predominante em relação às camadas milimétricas de rocha pelítica (ver detalhe em Figura 9.1). Notam-se, neste local, níveis contínuos de sílex mais negro. 5: Ritmitos Intermediários. Contato entre intervalo com predomínio de folhelhos e nível predominantemente dolomítico. Observam-se níveis contínuos altamente silicificados nas duas porções. 6: Parte superior da frente exposta, com Ritmitos Superiores no topo. Notar acamamento tabular.....36

- Figura 8:** Formas espessas de sílex do Subgrupo Irati. 1-2: Porção de rocha altamente silicificada com microlaminações microbialíticas estratiforme. Camada Evaporítica, Sítio Paleontológico 29, Charqueada, distrito de Paraisolândia, SP. 3-4: Amostra de sílex oolítico mais acinzentado e estratificado. Ritmitos Superiores, Sítio Paleontológico 33, Portelândia, GO.....38
- Figura 9** Formas concrecionais de sílex negro do Subgrupo Irati. 1: Nódulos concrecionais em dolomito com compactação da laminação circundante. Camada Bairrinho, Sítio Paleontológico 25, Laranjal Paulista; GP/4E1503. 2: Nível contínuo de sílex em folhelho (seta). Camada Evaporítica, Sítio Paleontológico 29, Charqueada, distrito de Paraisolândia, SP. 3: Níveis contínuos de sílex (seta) em camada dolomítica. Ritmitos Delgados, Sítio Paleontológico 34, Perolândia, GO. 4: Sílex em camada dolomítica, que incluem nódulos, mais arredondados (setas amarelas), e lentes, com extremidades mais afinadas (setas brancas). Camada Bairrinho, Sítio Paleontológico 25, Laranjal Paulista, SP. 5: Nódulos de sílex em folhelho. Notar compactação da camada circundante. Ritmitos Delgados. Sítio Paleontológico 25, Laranjal Paulista, SP. 6: Compactação da laminação ao redor de nódulos em folhelho negro. Bloco solto. Sítio Paleontológico 25, Laranjal Paulista, SP. GP/4E1523. 7: Amostra de mão polida de folhelho negro com compactação ao redor de nódulos e lentes de sílex. Bloco Solto. Sítio Paleontológico 18, Guapirama, PR. GP/4E 1613.....39
- Figura 10:** Posição estratigráfica dos sítios paleontológicos a sul do Arco de Ponta Grossa. Sítios Paleontológicos 1, 12 e 15 não representados porque os respectivos níveis estratigráficos exatos são desconhecidos (ver Tabela 1-2 e Figura 1). CSFB= Camada Superior de Folhelhos Betuminosos; CIS= Camada Intraestratificada Superior; LA= Laje Azul (Camada Intermediária); CIFB= Camada Inferior de Folhelhos Betuminosos; CII= Camada Intraestratificada Inferior.....46
- Figura 11:** Posição estratigráfica dos sítios paleontológicos na porção norte da bacia. Sítios Paleontológicos 20-22, 24 e 31 não representados porque os respectivos níveis estratigráficos exatos são desconhecidos (ver Tabela 1 e Figura 1). FB= Folhelhos Betuminosos; CE= Camada Evaporítica; RI= Ritmitos Inferiores; BA= Camada Bairrinho; RD= Ritmitos Delgados; RS= Ritmitos Superiores.....47
- Figura 12:** Porcentagens de ocorrências dos tipos fossilíferos nas lâminas (delgadas e palinológicas) por nível estratigráfico (ver Tabela 1). Quantidade de lâminas analisadas (n) dos respectivos intervalos: Camada Superior de Folhelhos Betuminosos (CSFB) (n=5); Camada Intraestratificada Superior (CIS) (n=6); Camada Laje Azul, Camada Intermediária (LA) (n=4); Camada Inferior de Folhelhos Betuminosos (CIFB) (n=3); Camada Intraestratificada Inferior (CII) (n=5) e Formação Taquaral (FT) (n=5).Ritmitos Superiores (RS) (n=12); Ritmitos Delgados (RD) (n=6); da Camada Bairrinho (BA) (n=6); Ritmitos Inferiores (RI) (n=9) e Camada Evaporítica (CE) (n=43). A Formação Taquaral da porção norte, a Camada Laje Azul e os Folhelhos Betuminosos não foram analisados.....52
- Figura 13:** Porcentagens de ocorrências dos tipos fossilíferos nas lâminas (delgadas e palinológicas) por sítio paleontológico (ver Figura 1). Foram incluídas somente localidades com pelo menos 5 lâminas analisadas. Sítios paleontológicos e respectivas quantidades (n): (11) (n=10); (12) (n=9); (16) (n=9); (17) (n=9); (19) (n=7); (25) (n=12) (29) (n=17); (32) (n=8); (33) (n=5); (35) (n=9).....53
- Figura 14:** Preservação de grãos de pólen bisacados no dolomito da Formação Assistência. 1: Parede orgânica oxidada com coloração negra (GP/L-6E 65). 2: Espaços vazios na rocha com morfologia semelhante à de grãos de pólen bisacado (GP/L-6E 65).....59
- Figura 15:** Palinomorfos de folhelho (1-3) e seus respectivos equivalentes em sílex (4-7) da Formação Assistência. Os grãos de pólen em folhelho (1-2) são preservados como compressões bidimensionais. Setas em (1) e (2) apontam sobreposição dos órgãos centrais com o saco aéreo, que torna área mais enegrecida. Os restos extracelulares, no folhelho no sílex (3,7), ao contrário, são semelhantes. (1,4) gênero *Staurosaccites*. (2, 5-6) *Lueckisporites virkkiae*. (3,7). *Gloeocapsomorpha* sp. (1-3) lâminas palinológicas

depositados no Museu de Paleontologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Imagens fornecidas por cortesia de Paulo A. Souza). (1) *Staurosaccites cordubensis* (Lâmina MP- P:5147, R43-3), Premaor et al. (2006, fig. 3F), Montevidiu, GO. (2) *Lueckisporites virkkiae* (Lâmina MP -P: 5137; L34 -4), Premaor et al. (2006, fig. 2L). Montevidiu, Goiás, GO. (3) Lajes (2004, Fig. 27). (3) Lâmina palinológica provisória. (4) *Staurosaccites* sp. (Lâmina delgada GP/L-6E 63), Sítio Paleontológico 28. (5-6) *Lueckisporites stenotaeniatius* visto em dois planos óticos diferentes (GP/L-6E 39), Sítio Paleontológico 30. (g) (GP/L-6E 12), Sítio Paleontológico 29. Barras = 10µm .....59

**Figura 16:** Grãos de pólen sacados preservados em três dimensões em lâminas delgadas de sílex da Formação Assistências, expondo detalhes morfológicos da parede, o arranjo deposicional e a relação entre microfósseis e o sedimento. 1: Grão bissacado em vista equatorial com detalhes da parede do saco (GP/L-G6 36). Sítio Paleontológico 25. 2: Grão em vista lateral (GP/L-G6 36). Sítio Paleontológico 25. 3: Agregação polínica. (GP/L-G6 50). Sítio Paleontológico 25. 4: Grãos de pólen e grãos euhédricos de pirita (seta) (GP/L-G6 42). 5-7: Sequência de diferentes níveis óticos de agregado polínico com pelo menos três grãos de pólen bissacados (GP/L-G6-4). Sítio Paleontológico 29. Barras= 10µm.....60

**Figura 17:** Preservação diferencial dos micro-organismos fósseis no sílex da Formação Assistências. (2), (4), (6) e (8) são equivalentes degradados das figuras (1), (3), (5) e (7), respectivamente. 1-2: Clorófita solitária (GP/L-6E 23) e célula similar, porém fraturada (GP/L-6E 19). Ambas do sítio Paleontológico 29. 3-4: Conjunto de células hemisferóides de *Gloeodiniopsis lamellosa* com bainhas extracelulares bem definidas (GP/L-6E 2, Sítio Paleontológico 29) e análogo composto por resíduo orgânico que conservou morfologia das células (GP/L-6E 118, Sítio Paleontológico 17). 5-6: Colônia de cianobactéria com arranjo e contornos celulares bem definidos formados por pares e quartetos de células (GP/L-6E 13, Sítio Paleontológico 29). Em (6) há análogo definido com resíduo orgânico que conservaram arranjo colonial (GP/L-6E 22, Sítio Paleontológico 19). 7-8: Colônia empacotada de cianobactéria com células relativamente bem definidas agrupadas como pares de conjuntos com células hemisferóides (GP/L-6E 3, Sítio Paleontológico 29) e equivalente degradado constituído por restos orgânicos sem contornos celulares claros (GP/L-6E 22, Sítio Paleontológico 19). Barras=10µm.....61

**Figura 18:** Quatro níveis óticos (1-4) de colônia cianobacteriana e reconstituição do se padrão de divisão celular (5). A ocorrência conjunta de células cuneiformes, subesféricas e hemisferóides demonstra que havia pelo menos dois planos de divisão celular (GP/L-6E 13, Sítio Paleontológico 29). Barra=10µm.....62

**Figura 19:** Microfósseis em lâminas delgadas e em resíduos orgânicos da Formação Assistência. 1-3: Visão ampla do conteúdo microfossilífero/petrográfico em lâminas delgadas de sílex. Além dos grãos de pólen, observa-se colônia de cianobactérias (setas brancas) e componentes minerais, como grãos euhédricos e frambóides de pirita e microesferas dolomíticas (md). 2: GP/L-6E 2; 3-4: GP/L-6E 6. 4: Esfregação temporário de resíduo orgânico de sílex dessecado em chapa quente com fitoclástos (fit), pirita, matéria orgânica amorfa (mo) e grãos de pólen (gp). Amostra GP/4E 1546.....63

**Figura 20:** Paredes orgânicas de cianobactérias resíduos orgânicos. 1: Colônia em lâmina palinológica provisória preparada sem dessecamento do resíduo orgânico. Amostra GP/4E 1592. 2: Micrografia eletrônica de conjunto celular com duas células filhas hemisferóides, composto principalmente pelas paredes celulares (pc) e apenas parte da bainha extracelular (be), aparentemente fragmentada. Amostra GP/4E 1548. 3-4: Efeito de dessecamento. Colônia em resíduo orgânico (3) momento antes de ser alterada pelo calor da luz microscópio (4). Setas apontam limites celulares. Amostra GP/4E 1592.....64

**Figura 21:** Difrátogramas de raio X em diferentes formas de sílex: nódulos, lentes e sílex espesso. Picos indicados em vermelho e verde correspondem, respectivamente, a difratogramas de quartzo e dolomita da base de dado do software Match 1.5.....74

- Figura 22:** Micrografias em luz transmitida de seções delgadas de amostras de nódulos e lentes concrecionais de sílex. 1-2: Aspecto laminado da porção dolomítica. 1: (GP/L-6E 184). Sítio Paleontológico 18. 2: (GP/L-6E 49). Sítio Paleontológico 25. 3: Nódulo com compactação da laminação circundante (seta). (GP/L-6E 49). Sítio Paleontológico 25. 4: Nódulo que expõe a maior concentração de dolomita (dol.), mais opaca, em suas áreas mais superficiais, enquanto o quartzo criptocristalino (crip) e translúcido é mais concentrado no centro do nódulo. (GP/L-6E 49). Sítio Paleontológico 25. 5: Microoólitos em lente de sílex. (GP/L-6E 213). Sítio Paleontológico 33. 6: Concentração de grãos euhédricos de piritita com coloração marrom ou negra (setas). (GP/L-6E 185). Sítio Paleontológico 16.....76
- Figura 23:** Micrografias petrográficas com luz transmitida da matriz quartzítica de amostras de sílex espesso. 1: Fenestra preenchida por microquartzo fibroso (mf) e fratura geneticamente posterior preenchida por sílica com padrão de extinção sacaroidal (sc). Ao redor há áreas com carbonato (mais opaco) e sílica (cs). Nicóis Cruzados. (GP/L-6E 112). Sítio Paleontológico 29. 2: Matriz dolomítica, à esquerda, com quartzo criptocristalino subordinado, mais claro, apresentando células fossilizadas em alguns locais. À direita está matriz silicosa, com acumulação de grãos euhédricos e framboides de piritita e dolomita subordinada, de coloração marrom como extremidades botrioidais em bordas de fenestras preenchidas (fp). Lâmina não incorporada. Sítio Paleontológico 29. 3-4: Colônia de cianobactéria associada a quartzo circundada por grãos de dolomita. Nicóis Cruzados em (3). (GP/L-6E 7). Sítio Paleontológico 29. 5: Campo com cristais fibrosos (cf), framboides e grãos euhédricos de piritita e colônia de cianobactérias. Nicóis Cruzados. (GP/L-6E 112). Sítio Paleontológico 29. 6: Fenestra com calcedônia fibrorradiada. (GP/L-6E 22). Sítio Paleontológico 19. 7: Detalhe de calcedônia fibrorradiada. Nicóis cruzados. (GP/L-6E 105). Sítio Paleontológico 25.....78
- Figura 24:** Micrografias eletrônicas de varredura de cristais da matriz de quartzo expostos por corrosão ácida com HF 5%. Observam-se feições equivalentes às obtidas nos exames com luz transmitida (ver Figura 23) porém com melhor resolução tridimensional. 1: Fenda preenchida com cristais de textura mosaica (cristais irregulares com superfícies que se interpenetram), que são sacaroidais quando vistos em luz transmitida. Comparar com Figura 23.1. Setas negras apontam vazios interpretados como moldes externos de micro-organismos fossilizados. Comparar micro-organismos fósseis das Figuras 23.2-23.5. 25-26. Retroespalhamento. (GP/4E 1548). 2: Detalhes de cristais fibrosos, equivalentes aos da Figura 23.5. Elétrons secundários. (GP/4E 1592). 3: Calcedônia fibrorradiada. Compare com Figuras 23.6-23.7. Elétrons secundários. (GP/4E 1592). Todas amostras do sítio paleontológico 29.....81
- Figura 25:** Micrografia de luz transmitida de cianobactérias abundantes na matriz quartzítica. 1: Campo com abundância de células (setas) (GP/L-6E 16), Sítio Paleontológico 29. 2-5: *Archaeophycus* sp, com paredes lisas. Em (2), colônia com arranjo aleatório. 2: (GP/L-6E 30). Sítio Paleontológico 21. 3-4: (GP/L-6E 18). Sítio Paleontológico 19. 5: (GP/L-6E 16). Sítio Paleontológico 29. 6-10: *Gloeodiniopsis lamellosa*. (6) e (7) são dois planos óticos de colônia com arranjo aparentemente cubóide. Setas em (6) apontam para limites das bainhas externas hialinas. Em (8) e (9) há bainhas extracelulares que expõem claramente duas lamelas. Célula solitária em (8) e conjunto de celular com quatro células hemisferóides em (9). Em (10), conjunto com células filhas hemisféricas com lamela única. 6-10: Sítio Paleontológico 29. 6: (GP/L-6E 9). 8-9: (GP/L-6E 7). 10: (GP/L-6E 16). Barras=10µm.....82
- Figura 26:** Micrografia de luz transmitida de colônias de *Cyanosarcinopsis hachiroi* (n. gen. et sp.). 1-3: Três níveis óticos de uma mesma colônia com arranjo empacotado. (GP/L-6E 3). 4: Colônia com arranjo framboidal. (GP/L-6E 2). Todas micrografias do Sítio Paleontológico 29. Barras=10µm.....83
- Figura 27:** Micrografias eletrônicas de varredura de moldes artificiais e arcabouços cristalinos de quartzo (criptocristalinos em luz transmitida) expostos após corrosão das superfícies de sílex com HF 5%. Observa-se feições equivalentes às obtidas nos exames com luz transmitida (Figuras 23.3-23.5, 25-26), porém com melhor resolução tridimensional. 1: Moldes externos. Matriz com grãos de quartzo euhédricos com tamanhos variados.

Elétrons secundários. (GP/4E 1592). 2-9: Moldes internos. (2-7) e parte de (8) apresentam regiões protoplasmáticas quase totalmente preenchidas. Notar padrão fibroso dos cristais da matriz em (4). 3-2, 9: Elétrons secundários. 4-8: Retroespalhamento. 2-9: (GP/4E 1548). Todas micrografias de amostras do Sítio Paleontológico 29.....	84
<b>Figura 28:</b> Micrografias eletrônicas de varredura de moldes internos, cada um com uma camada mineralizada. 1: (GP/4E 1548). Retroespalhamento. 2: (GP/4E 1548). Elétrons secundários. 3: (GP/4E 1548). Retroespalhamento. 4: (GP/4E 1548). Retroespalhamento. 5: (GP/4E 1592). Elétrons secundários. 6: (GP/4E 1548). Elétrons secundários. Barra são 10µm para 1-2, 5 e 5µm para 3-4, 6.....	85
<b>Figura 29:</b> Espectro com alta fluorescência em célula silicificada. (GP/L-6E 11). Sítio Paleontológico 29.....	86
<b>Figura 30:</b> Micrografias eletrônicas de retroespalhamento e mapeamento EDX de conjuntos celulares na superfície de seções delgadas polidas de sílex. Tanto em arcabouços dolomíticos (1) quanto silicosos (2) nota-se elementos da sílica (silício e oxigênio) nos interiores das células, enquanto carbono é mais frequente na superfície das células. Sítio Paleontológico 29.1: (GP/L-6E 11). 2: (GP/L-6E 12).....	87
<b>Figura 31:</b> Micrografias de luz transmitida 1: Grande quantidade de microesferas dolomítica em quartzo criptocristalino. (GP/L 6E 3). Sítio Paleontológico 29. 2-3: Detalhe das microesferas dolomítica. Notar camada externa. Conjunto com duas unidades hemisferóides em (2). Setas em (3) apontam para partes de camadas externas isoladas. (GP/L 6E 128). Sítio Paleontológico 11. 4: Extremidades arredondadas nas bordas das janelas com morfologias semelhantes às das microesferas dolomíticas. Notar que continuidade lateral da camada externa. (GP/L 6E 22). Sítio Paleontológico 19.....	96
<b>Figura 32:</b> Micrografias eletrônicas de varredura de porções de rochas dolomitizadas em superfícies de matrizes quartzíticas expostas após 30 minutos de dissolução com HF 5%. 1: Aglomerado de superfícies arredondas unidas por camada externa com espessura de um grão euhédrico de dolomita. Elétrons secundários. Revestimento de carbono. (GP/4E 1548). 2: Espaços vazios morfologicamente equivalente à (1), por isso interpretados como moldes externos de camadas externas. Retroespalhamento. Revestimento de ouro. (GP/4E 1592). Ambas micrografias do Sítio Paleontológico 29.....	98
<b>Figura 33:</b> Detalhamento morfológico e mapeamento EDX das microesferas dolomíticas na superfície de seção delgada polida. 1: Área geral analisada. 2: Subesfera com camadas concêntricas de dolomita na porção interna. Grãos de quartzo no interior. 3: Subesfera com porção interna com arranjo aparentemente irregulares. 4: Camada externa ao longo de porções internas contínuas. Porções internas como dolomita em camadas concêntricas. 5: Superfícies externas das microesferas dolomítica, expondo grãos com bordas euhédricas de grãos de dolomita. 6: Imagiamentos da área de (1). Sinais dos elementos da dolomita (Mg e Ca) nas áreas correspondentes às microesferas e de silício fora desta região. Lâmina não incorporada. Sítio Paleontológico 29.....	99
<b>Figura 34:</b> Micrografias petrográficas de luz transmitida de detalhamento de microesfera dolomítica em janela (1, 3A, 4A) e imagiamentos confocais Raman correspondentes de bordas arredondadas (equivalentes às Figuras 23.2 e 31.3) e parte da janela (3B-3D), em plano lateral (4B-4D) e em profundidade (5A-5D). Nota-se que quartzo é mais concentrado externamente à microesfera. Espectro (2) mostra pico de quartzo (464cm <sup>-1</sup> ) mais intenso na matriz. Picos da dolomita (1099cm <sup>-1</sup> ) e de materiais carbonosos (1370 e 1598cm <sup>-1</sup> ) presentes somente nas microesferas (2). Imagiamentos ilustra que a microesfera é composta basicamente por uma camada externa dolomítica. Material carbonoso mais concentrado na camada externa. Os mapas Raman das regiões do quartzo, da dolomita e dos materiais carbonosos foram gerados com os picos 464, 1099 e 1598 cm <sup>-1</sup> respectivamente. Lâmina petrográfica não incorporada, gerada da amostra (GP/4E 1592).....	100

- Figura 35:** Micrografias petrográficas com luz transmitida de detalhamento de microesfera dolomítica (1, 3A) e imageamentos confocais Raman correspondentes em plano lateral (3B-3D) e em profundidade (4A-4D). (2) Mostra ausência dos picos dolomítico (1099cm<sup>-1</sup>) e de material carbonoso (1370 e 1598 cm<sup>-1</sup>) na área 1, fora da microesfera, e presença destes picos nas áreas 1-6, analisados na área da microesfera. Imageamentos mostram que o quartzo é menos comum, porém presente, no interior celular. Material carbonoso mais concentrado na camada externa e com ocorrência que coincidem quase completamente com a de dolomita. Dolomita encontrada tanto na camada externa quanto na porção interna. Nesta última, ocorre como camadas concêntricas, análogos às das Figuras 33.1-33.2. Os mapas Raman das regiões do quartzo, da dolomita e dos materiais carbonosos foram gerados com os picos 464, 1099 e 1598 cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Lâmina Petrográfica não incorporada, gerada da amostra (GP/4E 1592).....101
- Figura 36:** Reconstituição do processo de precipitação dos minerais mais abundantes (dolomita e sílica), que culminaram com a preservação de micro-organismos, bem como da faciologia da Camada Evaporítica.....106
- Figura 37:** Variação morfológica dos palinomorfos normalmente interpretados como *B. braunii* no Subgrupo Irati. 1-6: Morfotipo 1. Subesferas ou conjuntos de hemisferas com superfície lisa. Seta em (1) aponta para provável cova preenchida (compare com Foster et al. 1989 Pl. 1.1, Pl. 1.5). 1: GP/L-6E 16; Sítio Paleontológico 29. 2,4: GP/L-6E 120; Sítio Paleontológico 17. 3: GP/L-6E 122; Sítio Paleontológico 16. 5-6: GP/L-6E 2. Sítio Paleontológico 29. 7-8: Morfotipo 2. Espécimes globóides com superfícies lisas. 7: Lâmina palinológica depositada no Museu de Paleontologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Imagens fornecidas por cortesia de Paulo A. Souza). Lajes (2004, Fig. 27). 8: GP/L-6E 12. Sítio Paleontológico 29. 9-13: Morfotipo 3. Espécimes globóides que apresentam superfícies com extremidades arredondadas (setas) (9-10) ou irregulares (11-13).9: GP/4E1725. Sítio Paleontológico 12. 10: GP/4E 1749. Sítio Paleontológico 11. 11: GP/L-6E 185. Sítio Paleontológico 16. 12: GP/4E 1767. Sítio Paleontológico 33. 13: GP/4E 1761. Sítio Paleontológico 33. 14-16: Morfotipo 4. Espécimes botrioidais com cálice e hastes estendidas nas extremidades. Seta em (14) aponta para cálices aparentemente preenchidos. Hastes estendidas bem definidas em (15) e (16). Lâmina palinológica depositadas no Museu de Paleontologia, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Imagens fornecidas por cortesia de Cristina Félix e Paulo A. Souza). 14: MP-P 5754. Félix (2012, Fig. III.2). Sítio Paleontológico 1. 15: MP-P 6124. Sítio Paleontológico 1.16: MP-P 6126. Sítio Paleontológico 1. Barras =10µm.....137
- Figura 38:** Restos extracelulares indeterminados. 1-3: Clorófitas indeterminadas com extremidade arredondadas (setas), (2-3) são, aparentemente, mais alterados. 1-2: GP/L-6E 2; Sítio Paleontológico 29. 3: GP/L-6E 119; Sítio Paleontológico 17. 4-6: Criptarcos: Formas muito alteradas que permitem reconhecer somente que são restos extracelulares de micro-organismos. 4: GP/L-6E 120; Sítio Paleontológico 17. 5: GP/L-6E 9; Sítio Paleontológico 29. 6: GP/L-6E 12; Sítio Paleontológico 29. Barras =10µm.....140
- Figura 39:** Ontogenia comparada de *Botryococcus braunii* modificada de Guy-Ohlson (1992). 1: Forma mais comum, constituída de colônias globóides com hastes estendidas, equivalente ao Morfotipo 4 (Figuras 37.14-37.16). 2: Formação da bainha multilamelar decorrente do crescimento colônia. 3: Colônia jovem, sem ramificação, típica de águas calmas, morfológicamente semelhante ao Morfotipo 3 (Figuras 37.9-37.13). 4: Colônias com ramificações e/ou abundantes mucilagens originadas graças a mudanças ambientais. 5: Estágios não coloniais, característicos de águas oxigenadas e rasas.....145
- Figura 40:** Histogramas com variações de tamanho das subesferas, hemisferas e cunhas de *Archaeophycus parum*, *Gloeodiniopsis lamellosa* e *Cyanosarcinopsis hachiroi* (n. gen. et sp.) da Formação Assistência.....157

<b>Figura 41:</b> Clorófitas unicelulares. 1-3: Ficomas da prasinófitas <i>Cymatiosphaera</i> sp. 1: GP/L-6E 122. 2: GP/L-6E 118. 3: GP/L-6E 128. 4-5: Prováveis aplanosporóides (estrutura reprodutiva). 4: GP/L-6E 118. 5: GP/L-6E 119. 6: Clorófitas indeterminadas. 6: GP/L-6E 185. Barras=10µm.....	162
<b>Figura 42:</b> 1: Provável Grão de Pólen. GP/4E 1780. 2-3: Prováveis fitoclástos. 2: GP/4E 1752. 3: GP/4E 1752. 4: GP/4E 1780. 5: GP/L-6E 119. 6: GP/4E 1722. 7: GP/4E 1741. 8: Acritarcos esferomorfos. 8: GP/L-6E 122. 9: GP/L-6E 118. Barras=10µm.....	163
<b>Figura 43:</b> Microfósseis indeterminados. 1: GP/4E 1763. 2: GP/4E 1749. 3: GP/4E 1762. 4: GP/4E 1749. 5: GP/L-6E 118. 6: GP/4E 17566. 7: GP/4E 1741. 8: GP/4E 1725. 9-10: Acritarcos esferomorfos. 9: GP/4E 1782. 10: GP/4E 1725. Barras=10µm.....	164
<b>Figura 44:</b> 1-8: Fitoclástos. 1: GP/L-6E 185. 2: GP/L-6E 120. 3: GP/L-6E 185. 4: GP/L-6E 120. 5: GP/4E 1730. 6: GP/4E 1760. 7: GP/4E 1755. 8: GP/4E 1724. 9-11: Acritarcos não esferomorfos. 9: GP/4E 1733. 10: GP/4E 1733. 11: GP/L-6E 128. Barras=10µm.....	165
<b>Figura 45:</b> 1-3: Fitoclástos. 1: GP/L-6E 118. 2: GP/L-6E 185. 3-4: Escolocodontes. 3: GP/4E 1725. 4: GP/4E 1725. 5-8: Zoomorfos indeterminados. 5: GP/4E 1726. 6: GP/L-6E 127. 7: GP/4E 1725. 8: GP/L-6E 127. Barras=10µm.....	166
<b>Figura 46:</b> Amostra dos grãos de pólen não agregados. 1-6: GP/L-6E 128. 7--9: GP/L-6E 128. Barras=10µm.....	167
<b>Figura 47:</b> Conjuntos de Grãos de Pólen. 1-3, 4-5, 7-10 são sequências de um mesmo agregado em diferentes níveis óticos. Todas imagens são da lâmina GP/L-6E 118.....	168
<b>Figura 48:</b> Fitoclástos. 1: GP/L-6E 45. 2: GP/L-6E 40. 3: GP/L-6E 46. 4: GP/L-6E 21. 5: GP/L-6E 65. Barras=10µm.....	169
<b>Figura 49:</b> Micrografias eletrônicas de varredura de vesículas encontradas em extrato fixado com Carnovix e dessecado com ponto crítico. Não se observa morfologias caracteristicamente cianobacterianas, porém microfósseis encontrados apresentaram poucas alterações. Todas micrografias são da amostra GP/4E 1590. 2. Sítio Paleontológico 29 .....	172
<b>Figura 50:</b> Micrografias de luz transmitida de paredes orgânicas de cianobactérias fósseis reconhecíveis extraídas dos resíduos orgânicos (1,3) e respectivas micrografias eletrônicas de varredura (2,4). 1-2: (GP/4E 1591). 3-4: (GP/4E 1591). Todas amostras são do Sítio Paleontológico 29.....	173
<b>Figura 51:</b> Detalhamento crescente de micro-estromatólito colunar em lâmina delgada de sílex espesso. (GP/L-6E 122), Sítio Paleontológico 16. 1-2: Micrografia da seção. 3: Micrografia de luz transmitida de detalhamento de micro-estromatólito colunar.....	174
<b>Figura 52:</b> Micrografias eletrônicas de varredura e espectros EDX de películas silicosas de origem indeterminada. 1-2: Detalhamento das superfícies botrioidais. 3: Película (setas) sobre cristais quartzíticos euhédricos. 4: Esferas cobertas por película e espectros EDX (a-d) correspondente, mostrando composição silicosa tanto fora quanto dentro das esferas. Todas micrografias da amostra GP/4E 1548. Elétrons secundários. Sítio Paleontológico 29.....	176

# Lista de Tabelas

---

<b>Tabela 1:</b> Litoestratigrafia e litotipos do Subgrupo Irati, modificada de Hachiro (1996).....	31
<b>Tabela 2:</b> Camadas litoestratigráficas reconhecidas (Hachiro 1996) e respectivos sítios paleontológicos (ver Tabela 1 e Figura 1). Relação estratigráfica entre as amostras (pontos) correspondem somente às posições dentro do mesmo afloramento.....	43
<b>Tabela 3:</b> Número médio de espécimes por tipo de microfóssil por volume (mm <sup>3</sup> ) de rocha nas lâminas em petrográficas da Formação Assistência no estado de São Paulo. Cel= Células de cianobactérias; GP= Grãos de Pólen; ME= Material extra-celular (pertencente principalmente a clorófitas coloniais); Fit=Fitoclastos.....	51
<b>Tabela 4:</b> Abundâncias relativas e principais características tafonômicas dos tipos de microfósseis estudados. Todos são observados tridimensionalmente em sílex. As quantidades são classificadas, da maior à menor, como abundantes, comuns, raros e ausentes.....	57
<b>Tabela 5:</b> Concentração (%) dos componentes minerais observados por Florescência de Raio X em diferentes formas de sílex: nódulos, lentes e sílex espesso.....	75
<b>Tabela 6:</b> Ocorrências dos morfotipos classificados aqui (ver Figura 37). Ver Figura 1 para localização dos sítios paleontológicos. Morfotipo 1 (n=12); Morfotipo 2 (n=4); Morfotipo 3 (n=17); Morfotipo 4 (n=3).....	139
<b>Tabela 7:</b> Síntese dos dados morfológicos dos táxons reconhecidos.....	142
<b>Tabela 8:</b> Sumário de dados morfológicos das cianobactérias <i>Archaeophycus parum</i> , <i>Gloeodiniopsis lamellosa</i> e <i>Cyanosarcinopsis hachiroi</i> (n. gen. et sp.) do Subgrupo Irati. Todos os dados estão em micrometros N = Número de indivíduos mensurados. D <sub>máx</sub> = Diâmetro máximo; VB= Variação da espessura da bainha. $\bar{x}$ = Média do diâmetro máximo de cada espécime.....	156
<b>Tabela 9:</b> Concentrações <i>per mil</i> de moléculas analisadas com microsonda em sílex espesso.....	178
<b>Tabela 10:</b> Concentrações <i>per mil</i> de moléculas analisadas com microsonda em nódulos de sílex.....	179
<b>Tabela 11:</b> Concentrações <i>per mil</i> de moléculas analisadas com microsonda em lentes de sílex.....	180

# Lista de Abreviaturas

---

**BA:** Camada Bairrinho.

**BEC:** Bioherma Inferior Contendo Estromatólitos Colunares.

**BEP:** Bioestroma com Pequenos estromatólitos Planares.

**CE:** Camada Evaporítica.

**CIFB:** Camada Inferior de Folhelhos Betuminosos.

**CII:** Camada Intraestratificada Inferior.

**CIS:** Camada Intraestratificada Superior.

**CSFB:** Camada Superior de Folhelhos Betuminosos.

**EPS:** Substâncias Poliméricas Extracelulares (*Extracellular Polymeric Substance*).

**EDX:** Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raio X (*Energy Dispersive X Ray Spectroscopy*)

**FAPESP:** Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

**FB:** Folhelhos Betuminosos.

**FT:** Formação Taquaral.

**IGc-USP:** Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

**LA:** Camada Laje Azul.

**ME:** Material extra-celular.

**MEV:** Microscopia Eletrônica de Varredura

**RD:** Ritmitos Delgados.

**RI:** Ritmitos Inferiores.

**RS:** Ritmitos Superiores.

# Apresentação

---

A presente pesquisa trata principalmente de assuntos geobiológicos relacionados ao Subgrupo Irati, Permiano, Bacia do Paraná. É uma continuidade do trabalho de Calça (2008), mestrado do autor, que expôs o potencial da utilização de lâminas petrográficas de sílex no estudo de microfósseis com parede orgânica, procedimento até então inédito em sucessões fanerozóicas de rochas sul-americanas.

Na ocasião, revelou-se a existência de tafocenoses tridimensionalmente preservadas, ausentes em estudos tradicionais sobre micropaleontologia da sucessão, que utilizam preferencialmente resíduos orgânicos de rochas siliciclásticas finas. Além dos organismos alóctones já conhecidos, como os grãos de pólen, este conteúdo contém uma abundante microbiota (conjunto de micro-organismos) silicificada, composta principalmente por delicadas cianobactérias bentônicas, mas também por elementos planctônicos, como a clorófita *Botryococcus* sp.

A descoberta abriu caminho para que questões geobiológicas ou mesmo palinológicas fossem aprofundadas. O presente trabalho, neste sentido, explora principalmente aspectos tafonômicos e certas consequências mineralógicas, micropaleontológicas e geoquímicas relacionadas à microbiota fóssil da unidade.

O documento inicia com a caracterização do contexto geológico geral do Subgrupo Irati (Capítulo 1). A pesquisa ampliou a área de estudo previamente estudada por Calça (2008). Além de ter analisado tanto material novo quanto amostras anteriormente coletadas, lançou mão não somente de sílex negro, mas também de folhelhos. O Capítulo 2 traz o detalhamento da amostragem e dos procedimentos laboratoriais. A partir da microscopia óptica, base do trabalho inicial, utilizaram-se técnicas de microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia, difratometria e fluorescências, que caracterizam quimicamente tanto amostras de mão quanto microfósseis e minerais isolados.

Extensa área geográfica foi pesquisada, com amostragem de praticamente todos os níveis estratigráficos do subgrupo descritos por Hachiro (1996). Como resultado, variado e abundante conteúdo microfossilífero foi encontrado. O Capítulo 3 apresenta o ordenamento geográfico e estratigráfico deste material. Os microfósseis foram agrupados como cianobactérias; grãos de pólen; restos extracelulares; clorófitas solitárias; acritarcos; fitoclóstos (fragmentos de tecidos de plantas superiores); zoomorfos (escolocodontes e palinoforaminíferos) ou esporos.

As feições micropaleontológicas que forneceram maior quantidade de dados sobre a interação micro-organismos/rocha foram explorados entre os Capítulos 4 e 6. A

importância da utilização de lâminas delgadas de sílex e da silicificação nas novas descobertas é discutida no Capítulo 4. Os componentes mais abundantes da microbiota foram as delicadas e muitas vezes extremamente bem preservadas cianobactérias de paredes orgânicas, reveladas somente devido à utilização de lâminas delgadas de sílex. Também são discutidos neste capítulo aspectos preservacionais gerais e a morfologia tridimensional de microfósseis conhecidos anteriormente somente como compressões bidimensionais.

Os próximos dois capítulos exploram com mais detalhes importantes feições decorrentes da silicificação. O Capítulo 5 explora a importância da silicificação de células cianobacterianas à luz do contexto mineralógico, litológico e textural das diferentes formas de sílex. Foram observados ricos detalhes da parede e do interior das células, permitindo não somente reconstituir o processo de preservação, mas também compreender a influência das comunidades bentônicas na formação do sílex.

Outra importante feição do sílex é a presença de abundantes microesferas dolomíticas, tema do Capítulo 6. Ainda mais abundantes que as cianobactérias de paredes orgânicas, encontram-se no interior da matriz substituída por sílica. Inicialmente, elas foram interpretadas como dúbio-microfósseis, o que quer dizer que tinham características tanto microbianas, como esfericidade e abundância, quanto mineral, como formas aparentemente irregulares, menos parecidas com a de micróbios modernos. A partir de uma combinação de técnicas e comparações morfológicas, pôde-se discutir a biogeneidade, as prováveis afinidades biológicas, o processo de preservação e a influência das condições ambientais na formação destes objetos. Os resultados forneceram diversas informações paleoambientais e tafonômicas de grande relevância inclusive para as discussões globais sobre o “problema da dolomita”.

O Apêndice 1 trata da natureza dos materiais extracelulares, comumente interpretados como oriundos da micro-alga planctônica *Botryococcus* sp. Este relevante tópico foi explorado a parte por não se tratar de tema estritamente geobiológico. Reconhecidos como indicadores de salinidade baixa, estes palinomorfos são amplamente distribuídos na unidade e podem ser encontrados tanto em sílex quanto em rochas siliciclásticas finas. Os espécimes de *Botryococcus* sp. foram diferenciados dos possíveis exemplares da cianobactéria *Gloeocapsomorpha* sp., clorófitas indeterminadas e criptarcos. Propõe que a distribuição geográfica dos variantes ontogenéticos de *Botryococcus* sp. e *Gloeocapsomorpha* sp. ao longo do Subgrupo Irati tem intrínseca correspondência com variações ambientais.

Já Apêndice 2 traz a revisão da proposta taxonômica dos tipos morfológicos de cianobactérias mais abundantes no sílex espesso microbialítico. Os demais tipos de microfósseis encontrados nos exames de microscopia ótica foram ilustrados no Anexo 1. Por fim, Anexo 2 apresenta resultados complementares. Ou seja, que foram obtidos durante o presente trabalho, destacados do texto principal para evitar descontinuidade na sequência lógica das ideias.

Os objetivos gerais do presente estudos são, basicamente, estudar microfósseis pouquíssimos estudados em trabalhos prévios, ausentes em materiais palinológicos, bem como ampliar as informações geoquímicas a fim de que processos de fossilização e origem de minerais (silicatos, carbonatos, pirita) sejam melhor compreendidos.

# Capítulo 7

---

## Conclusões

O sedimento microbiano da Formação Assistência (Subgrupo Irati, Permiano, Bacia do Paraná) influenciou a precipitação de sílica e de dolomito. Os vestígios destes processos são mais evidentes no sílex diagenético do carbonato autigênico da Camada Evaporítica, que preservou em abundância tanto microfósseis de parede orgânica (palinomorfos e micro-organismos delicados) quanto células dolomitizadas.

Esta conclusão só foi possível graças aos exames petrográficos de sílex diageneticamente precoce. Este tipo de abordagem, raro em sucessões fanerozóicas de rochas sul-americanas, pode fornecer informações distintas, porém complementares em relação às assembleias microfossilíferas em folhelho e em sílex. Isto é especialmente verdadeiro em relação à preservação tridimensional de detalhes dos palinomorfos e à revelação da existência de microfósseis de paredes orgânicas frágeis, que são mais facilmente danificados ou destruídos durante as preparações palinológicas.

Ambas abordagens são úteis em investigações taxonômicas, porém as vantagens dos exames petrográficos de sílex microfossilífero são seu potencial para estudo de palinomorfos complexos e não compactados e o mérito, já bem estabelecido na paleontologia do Pré-Cambriano, de fornecer informações paleobiológicas e paleoambientais de assembleias com micróbios bentônicos preservadas *in situ*. A palinologia, por sua vez, é uma das ferramentas úteis aos trabalhos com bioestratigrafia, sobre a evolução de plantas continentais e sobre paleoclimatologia continental, temas que a análise petrográfica de sílex tem limitado potencial.

A sílica da Formação Assistência deve ter tido origem química, ou seja, não é decorrente de retrabalhamentos ou re-deposição de bioclastos silicosos. Argilo-minerais ou cinzas vulcânicas são suas fontes mais prováveis. A silicificação dos nódulos e lentes dos níveis rítmicos ocorreu por substituição do dolomito em fase precoce da diagênese. Apesar de também ter substituído o carbonato precocemente, a sílica da Camada Evaporítica demonstrou mais claramente ter se originado de fluídos com soluções supersaturadas. A preservação dos micro-organismos em seu interior foi praticamente concomitante à substituição de dolomita por sílica. Os materiais extracelulares no substrato intensificaram a silicificação da matriz, tornando o sílex da Camada Evaporítica espesso.

Os EPS também promoveram a rápida preservação das paredes orgânicas, em muitos casos com pouca alteração da morfologia original. Os invólucros orgânicos,

atualmente carbonosos, resultam da preservação de moléculas mais resistentes localizadas nas bainhas extracelulares e nas paredes celulares, enquanto suas porções mais internas, hoje preenchidas por quartzo, são resultado da mineralização posterior de sílica nos espaços protoplasmáticos.

A precipitação de dolomita atualmente retida no sílex diagenético da Camada Evaporítica foi primária e resultou essencialmente da fossilização de micro-organismos. A presente pesquisa demonstrou como microfósseis dolomitizados podem ser muito úteis em reconstituições paleoambientais, pois para que fossem dolomitizados foi necessária combinação relativamente grande de condições: profundidades baixas; alta alcalinidade; hipersalinidade; elevada razão  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ ; abundância de EPS; condições anóxicas e silicificação precoce, porém parcial.

As feições microbianas nos minerais dolomíticos são importante registro em rocha que endossa o papel dos EPS e dos processos anóxicos na precipitação primária de dolomita sedimentar. A nucleação carbonática começou em bainhas extracelulares e geraram camadas externas que recobriria antigas superfícies coloniais ou células individuais. Em muitos casos, houve dolomitização protoplasmática em um segundo momento. A posterior substituição precoce e parcial por sílica englobou e reteve a dolomita microbiana na matriz quartzítica, o que deve ter evitado, de alguma forma, a posterior ação de agentes tafonômicos.

Ainda assim, a dolomitização de micro-organismos é, até o momento, um tema pouco explorado e com muitas nuances que necessitam ser melhor compreendidas. Futuros experimentos que consigam reproduzi-lo com mais detalhes permitirão melhor entendimento, por exemplo, dos efeitos da dolomitização e do encapsulamento por sílica. De qualquer forma, os dados apresentados aqui abriram caminho para aprofundamentos nas discussões sobre “o problema da dolomita”.

Por fim, ressalta-se que as variadas e muitas vezes nítidas feições microbianas no sílex da Camada Evaporítica, de natureza tanto silicosas quanto dolomíticas, têm potencial de auxiliar o reconhecimento de feições biogênicas suspeitas em outras unidades.

# Referências Bibliográficas

---

- Ahn, S.; Lee, S. J. 2003. Meso Neoproterozoic bacterial microfossils from the Sukhaya Tunguska Formation of the Turukhansk Uplift, Russia. *Geosciences Journal*. 7 (3): 277-236.
- Alferes, C. L. F. 2007. A geoquímica orgânica da Formação Irati na área de São Mateus do Sul, Paraná. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. 91p. Inédita
- Aloisi, G.; Gloter A.; Krüger, M.; Wallmann, K.; Guyot, F.; Zuddas, P. 2006. Nucleation of calcium carbonate on bacterial nanoglobules. *Geology*. 34: 1017–1020.
- Altermann, W.; Kazmierczak, J. Oren, A.; Wright, D. T. 2006. Cyanobacterial calcification and its rock-building potential during 3.5 billion years of Earth history. *Geobiology*. 4: 147-166.
- Amaral, G. 1987. Paleogeografia da América do Sul no Fanerozóico e suas relações com a evolução da plataforma sul-americana. In: VI Simpósio Regional de Geologia. Rio Claro. Atlas. Rio Claro: SBG. São Paulo. 1: 243-261.
- Amaral, S. E. 1971. Geologia e petrologia da Formação Iratí (Permiano) no Estado de São Paulo. *Boletim IGA*. 2: 8 – 81.
- Amaral, S. E. 1975. Sobre os dolomitos e o processo da dedolomitização na Formação Irati Permiano do estado de São Paulo. *Boletim IG. Instituto de Geociências, USP*. 6: 21-32.
- Ambers, C. P.; Petzold, D. D. 1996. Geochemical and petrologic evidence of the origin and diagenesis of a Late Mississippian, supratidal dolostone. *Carbonates and Evaporites*. 11: 42-58.
- Anagnostidis, K.; Komárek, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3–Oscillatoriales. *Archita Hydrobiology 80 Algological Studies*. 50–53: 327–472.

- Araújo-Barberena, D. C. 1993. Uma interpretação sobre o conhecimento paleoecológico e bioestratigráfico da Formação Irati. In: Resumos I Simpósio Cronoestratigrafia Bacia Paraná. Rio Claro: 64-70.
- Arvidson, R. S.; MacKenzie, F. T. 1999. The dolomite problem: Control of precipitation kinetics by temperature and saturation state. *American Journal of Science*. 299: 257–288.
- Ayllón-Quevedo, F.; Souza-Egipsy, V.; Sanz-Montero, M. E.; Rodríguez-Aranda J. P. 2007. Fluid inclusion analysis of twinned selenite gypsum beds from the Miocene of the Madrid basin, Spain. Implication on dolomite bioformation. *Sedimentary Geology*. 201: 212–230.
- Barghoorn, E. S.; Tyler, S.A. 1965. Microorganisms from the Gunflint chert. *Science*. 147: 563–577.
- Barghoorn, E. S.; Knoll, A. H.; Dembicki, H.; Meinschein, W. G. 1977. Variation in stable carbon isotopes in organic matter from the Gunflint Iron Formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41: 425-430.
- Bartley, J. K. 1996. Actualistic taphonomy of cyanobacteria: Implications for the Precambrian fossil record. *Palaios*. 11: 571-586.
- Barton, H. A.; Northup, D. E. 2007. Geomicrobiology in cave environments: Past, current and future perspectives. *Journal of Cave and Karst Studies*. 69 (1): 163–178.
- Baschnagel, R. A. 1924. Some microfossils from the Onondaga Chert of central New York. *Buffalo Society Natural Science Bulletin*. 17 (3): 1-8.
- Batten, D. J.; Grenfell, H. R. 1996. *Botryococcus*. In: Jansonius, J., McGregori, D. C. (eds). Palynology: principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynological Foundation. Dallas. 205–214.
- Benning, L. G.; Phoenix, V. R.; Yee, N.; Tobin, M. J. 2004a. Molecular characterization of cyanobacterial silicification using synchrotron infrared micro-spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 68:729–741.
- Benning, L. G.; Phoenix, V. R.; Yee, N.; Konhauser, K. O. 2004b. The dynamics of cyanobacterial silicification: an infrared micro-spectroscopic investigation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. (68): 743-757.
- Benning, L.G.; Phoenix, V.; Mountain, B. W. 2005. Biosilicification: the role of cyanobacteria in silica sinter deposition. In: LV SGM Symposium: Microorganisms

- and Earth systems—advances in geomicrobiology. Cambridge, England. Keele University, Staffordshire, England. 131–150p.
- Benzerara, K.; Menguy, N.; Guyot, F.; Skouri, F.; Luca, G.; Barakat, M.; Heulin, T. 2004. Biologically controlled precipitation of calcium phosphate by *Ramlibacter tataouinensis*. *Earth and Planetary Science Letters*. 228: 439 – 449.
- Bernardi-Campesi, H.; Cevallos-Ferriz, S. R. S.; Chacón-Baca, E. 2004. Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tahahumara Formation, Sonora, México. *Cretaceous Research*: 25: 249-265.
- Birnbaum, S. J.; Wireman, J. W.; Borowski, R. 1989. Silica precipitation by the anaerobic sulphate reducing bacterium *Desulfovibrio desulfuricans*: effects upon cell morphology and implications for preservation. In: Crick, R. E. (ed.). Origin, Evolution, and Modern Aspects of Biomineralization in Plants and Animals. Plenum Press. New York. 507–516.
- Bontognali, T. R. R.; McKenzie, J. A.; Warthmann, R. J.; Vasconcelos, C. 2014. Microbially influenced formation of Mg-calcite and Ca-dolomite in the presence of exopolymeric substances produced by sulphate-reducing bacteria. *Terra Nova*. 26: 72-77.
- Bosak, T.; Newman, D. 2003. Microbial nucleation of calcium carbonate in the Precambrian. *Geology*. 31: 577–580.
- Braissant, O.; Cailleau, G., Dupraz C.; Verrecchia E. P. 2003. Bacterially induced mineralization of calcium carbonate in terrestrial environments: the role of exopolysaccharides and amino acids. *Journal of Sedimentary Research*. 73: 485–490.
- Briggs, D. E. G.; Kear, A. J.; Martill, D. M.; Wilby, P. R. 1993. Phosphatization of soft-tissue in experiments and fossils. *Journal of the Geological Society, London*. 150: 1035-1038.
- Burn, D. J. 1982. A transmission electron microscope comparison of modern *Botryococcus braunii* with some microfossils previously referred to that species. *Revista Española de Micropaleontología*. 14: 165-188.
- Bustillo, M. A.; Alonso-Zarza, A. M. A. 2007. Overlapping of pedogenesis and meteoric diagenesis in distal alluvial and shallow lacustrine deposits in the Madrid Miocene Basin, Spain. *Sedimentary Geology*. 198: 255-271.
- Butterfield, N. J. 1990. Organic preservation of non-mineralizing organisms and the taphonomy of the Burgess Shale. *Paleobiology*. 16: 272–286.

- Butterfield N. J.; Chandler F. W. 1992. Paleoenvironmental distribution of Proterozoic microfossils, with an example from the Agu Bay Formation, Baffin Island. *Palaeontology*. 35: 943–957.
- Calça, C. P.; Fairchild, T. R. 2005. Uso de lâminas delgadas na paleopalinologia da Formação Assistência (Subgrupo Irati), Permiano, Estado de São Paulo. In: Resumos IXX Congresso Brasileiro de Paleontologia. Aracaju. Meio Digital.
- Calça, C. P. 2008. Microbiota fóssil em sílex da Formação Assistência Subgrupo Irati, Permiano, Bacia do Paraná no estado de São Paulo. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 80p. Inédita.
- Calça, C. P.; Fairchild, T. R. 2012. Petrographic approach to the study of organic microfossils from the Irati Subgroup (Permian, Paraná Basin, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*. 35: 51-61.
- Calijuri, M. C.; Alves, M. S. A.; Santos, A. C. A. 2006. Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais. Rima. São Carlos. 109p.
- Canfield, D.E.; Raiswell, R. 1991. Carbonate precipitation and dissolution: Its relevance to fossil preservation. In: Allison, P. A.; Briggs, D. E. G. (eds.). *Taphonomy: Releasing the data locked in the Fossil Record*. Plenum. London. 411–453.
- Cao, R. J. 1985. The new data of algal microfossils from simian Doushantuo Formation. *Bulletin Tianjin Institute*. 12: 183-188. (em chinês)
- Castanier, S.; Le Metayer-Levrel, G.; Perthuisot, J. P. 1999. Ca-carbonates precipitation and limestone genesis - the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology*. 126: 9–23.
- Cavagna, S; Clari, P.; Martire, L. 1999. The role of bacteria in the formation of cold seep carbonates: geological evidence from Monferrato Tertiary, NW Italy. *Sedimentary Geology*. 126: 253–270.
- Chafetz, H. S. 1986. Marine peloids: a product of bacterially induced precipitation of calcite. *Journal of Sedimentary Petrology*. 56: 812–817.
- Chmura, G. L. 1994 Palynomorph distribution in marsh environments in the modern Mississippi Delta plain. *Geological Society of America Bulletin*. 106: 705–714.
- Cole, D. I.; McLachlan, I. R. 1991. Oil potential of the Permian Whitehill Shale Formation in the main Karoo Basin, South Africa. In: *Gondwana Seven Proceedings*. São Paulo. 379–390.
- Collins, P. E. F.; Turner, S. D.; Cundy, A. B. 2001. High-resolution reconstruction of recent vegetation dynamics in a Mediterranean microtidal wetland: implication for

- site sensitivity and paleoenvironmental research. *Journal of coastal research*.17 (3): 684-693.
- Coutinho, J. M. V.; Hachiro, J. 2005. Distribution, mineralogy, petrography, provenance and significance of Permian ash-carrying deposits in the Paraná Basin. *Revista do Instituto de Geociências USP – Geologia USP, Série Científica*. 9: 29-36p.
- Daemon, R. F.; Quadros, L. P. 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Brasília. 34: 355-412.
- De Deckker, P.; Last, W. M. 1888. Modern dolomite deposition in continental, saline lakes, western Victoria, Australia. *Geology*. 16: 29-32.
- De Deckker, P.; Last, W. M. 1889. Modern, non-marine dolomite in evaporitic playas of western Victoria, Australia. *Sedimentary Geology*. 64: 223-238.
- Deffeyes, K. S.; Lucia, F. J.; Weyl, P. K. 1965. Dolomitization of Recent and Plio-Pleistocene sediments by marine evaporite waters on Bonaire, Netherlands Antilles. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. *Special Publication*. Tulsa.13:71-88.
- Degens, E. T.; Ittekkot, V. 1982. In situ metal staining of biological membranes in sediments. *Nature*. 298: 262–264.
- De Giovanni, W. F.; Salati, E.; Marini, O. J.; Friedman, I. 1974. Unusual isotopic composition of carbonates from the Irati Formation, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*. 85: 41-44.
- Deffeyes, K. S.; Lucia, F. J.; Weyl, P. K. 1965. Dolomitization of Recent and Plio-Pleistocene sediments by marine evaporite waters on Bonaire, Netherlands Antilles. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. *Special Publication*. Tulsa.13:71-88.
- Degens, E. T.; Ittekkot, V. 1982. In situ metal staining of biological membranes in sediments. *Nature*. 298: 262–264.
- Deng, S.; Dong, H.; Lv, G.; Jiang, H.; Yu, B.; Bishop, M. 2010. Microbial dolomite precipitation using sulfate reducing and halophilic bacteria: results from Qinghai Lake, Tibetan Plateau, NW China. *Chemical Geology*. 278: 151–159.
- Dellazzana, J. G. 1976. Contribuição à palinologia da Formação Irati (Permiano) Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*. 8: 1-42.
- Derenne, S.; Metzger, C.; Largeau, C.; Van Bergen, P. F.; Gatellier, J. P.; Damsté, J. S. S.; Leeuw, J. W.; Berkaloff, C. 1992. Similar morphological and chemical

- variations of *Gloeocapsomorpha prisca* in Ordovician sediments and cultured *Botryococcus braunii* as a response to changes in salinity. *Organic Geochemistry*. 19: 299-312.
- Diver, W. L.; Peat, C. J. 1979. On the interpretation and classification of Precambrian organic-walled microfossils. *Geology*. 7: 401-404.
- Donaldson, C. H. 1976. An experimental investigation of olivine morphology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 57: 187–213.
- Dong, G.; Morrison, G., Jairet S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland-classification, origin, and implication. *Economic Geology*. 90: 1841-1856.
- Dong, L.; Xiao, S.; Shen, B.; Zhou, C.; Li, G.; Yao, A. 2009. Basal Cambrian microfossils from the Yangtze Gorges area (South China) and the Aksu area (Tarim Block, Northwestern China). *Journal of Paleontology*. 83 (1): 30-44.
- Douglas, A. G.; Damsté, J. S. S.; Fowler, M. G.; Eglinton; T. I., Leeuw; J. W. 1991. Unique distributions of hydrocarbons and sulphur compounds released by flash pyrolysis from the fossilized alga *Gloeocapsomorpha prisca*, a major constituent in one of four Ordovician kerogens. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 55: 275–291.
- Dresselhaus, M. S.; Dresselhaus, G. 1982. Light scattering in graphite intercalation compounds. In: Cardona, M.; Guntherodt, G. (eds.). *Light Scattering in Solids III*. Springer. Berlin. 6: 423-480.
- Dunbar, N. W.; Jacobs, G. K.; Naney, M. T. 1995. Crystallization processes in an artificial magma: variations in crystal shape, growth rate and composition with melt cooling history. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 120: 412–425.
- Dupraz, C.; Reid, P. R.; Braissant, O.; Decho, A. W.; Norman, R. S.; Visscher, P. T.; 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*. 96: 141–162.
- Egipsy, V. S.; Wierzchos, J., Ascaso, C., Neelson, K. H. 2005. Mg–silica precipitation in fossilization mechanisms of sand tufa endolithic microbial community, Mono Lake (California). *Chemical Geology*. 217: 77– 87.
- El-Sayed, M. I.; Fairchild, I. J.; Spiro, B. 1991. Kuwaiti dolocretes: petrology, geochemistry and groundwater origin. *Sedimentary Geology*. 73: 59–75.
- El-Sayed, M. I. 1997. Quaternary dolocretes from Al-Ain, UAE: field investigation, petrography and genesis. *Egypt Journal of Geology*. 41: 1 –29.

- Eugene, A. S.; Lloyd, R. M.; Ginsburg, R. N. 1969. Anatomy of a modern carbonate tidal-flat, Andros Island, Bahamas. *Journal of Sedimentary Petrology*. 39 (3): 1202-1228.
- Fairchild, T. R.; Schopf, J. W.; Folk, R. L. 1973. Filamentous algal microfossils from the Caballos Novaculite, Devonian of Texas. *Journal of Paleontology*. 47: 946-952.
- Fairchild, T. R.; Schopf, J. W.; Shenmiller, J.; Guimarães, E. M.; Simonetti, C.; Edwards, M. D.; Lagstein, A.; Li, X.; Pabst, M.; Melo Filho, L. S. 1995. Microfósseis proterozóicos da parte ocidental do Cráton do São Francisco, Brasil. In: V Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Goiânia. Anais. 78-79.
- Faure, F.; Arndt, N.; Libourel, G. 2006. Formation of spinifex texture in komatiites: an experimental study. *Journal of Petrology*: 47: 1591–1610.
- Faure, K.; Cole, D. 1999. Geochemical evidence for lacustrine microbial blooms in the vast Permian Main Karoo, Paraná, Falkland Islands and Huab basins of southwestern Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 152: 189-213.
- Félix, C. M. 2012. Nova abordagem para o tratamento taxonômico de determinadas espécies de palinórfos do paleozóico superior do gondwana, com ênfase na Bacia Do Paraná, Brasil. Tese de Doutorado, 206p. Inédita.
- Ferris, F. G.; Fyfe, W. S.; Beveridge; T. J. 1988. Metallic ion binding by *Bacillus subtilis*: implications for the fossilization of microorganisms. *Geology*. 16: 149–152.
- Flügel, E. 2004. Microfacies of carbonates rocks. Springer, Berlin. 976 pp.
- Folk, R. L.; Land, L. S. 1975. Mg/Ca Ratio and Salinity: two controls over crystallization of dolomite. *American Association of Petroleum Geological Bulletin*. 59 (1): 60-68.
- Foster, C. B.; Reed, J. D.; Wicander, R. 1989. *Gloeocapsomorpha prisca* Zalesky 1917: A new study. Part I: Taxonomy, geochemistry, and paleoecology. *Geobios*. 22: 735-759.
- Foster, C. B.; Reed, J. D.; Wicander, R. 1990. *Gloeocapsomorpha prisca* Zalesky 1917: A new study. Part II: Origin of kukersite, a new interpretation. *Geobios*. 23(2): 133-140.
- Foucher, F.; Westall, F. 2013. Raman imaging of metastable opal in carbonaceous Microfossils of the 700–800 Ma Old Draken Formation. *Astrobiology*. 13 (1): 57-67.

- Fowler, M. G.; Douglas, A. G. 1984. Distribution and structure of hydrocarbons in four organic-rich Ordovician rocks. *Organic Geochemistry*. 6: 105-114.
- Fowler, M. G.; Stasiuk, L. D.; Hearn, M.; Obermajer, M. 2004. Evidence for *Gloeocapsomorpha prisca* in Late Devonian source rocks from southern Alberta, Canada. *Organic Geochemistry*. 35: 425-441.
- Francis, S.; Margulis, L.; Barghoorn, E. S. 1978. On the experimental silicification of microorganisms, II. On the time of appearance of eukaryotic organisms in the fossil record. *Precambrian Research*. 6: 65-100.
- Gaucher, C.; Sprechmann, P.; Schipilov, A. 1996. Upper and Middle Proterozoic sedimentary sequences of the Nico Pérez Terrane of Uruguay: Lithostratigraphic units, paleontology, depositional environment and correlations. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*. 199: 339-367.
- Golubić, S. 1976. Taxonomy of extant stromatolites-building cyanophytes. In: Walter M.R. (ed.). *Stromatolites. Developments in Sedimentology*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 127-140.
- Golubić S, Seong-Joo L, Browne K. M. 2000. Cyanobacteria: architects of sedimentary structures. In: *Microbial Sediments* (eds Riding R.E., Awramik S.M.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 57– 67.
- Gradstein, F. M.; Ogg, J. G.; Smith, A. G. 2004. A Geologic Time Scale. *Episodes*. 27 (2): 83-100.
- Greensmith, J. T. 1989. Siliceous deposits. In: Folk R. L. (ed.). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Academic Press. London. 2: 153-163.
- Grey, K., Sugitani, K. 2009. Palynology of Archean microfossils (c. 3.0 Ga) from the Mount Grant area, Pilbara Craton, Western Australia: Further evidence of biogenicity. *Precambrian Research*. 173: 60–69.
- Gunatilaka, A. 1987. The dolomite problem in the light of recent studies. *Modern Geology*. 11: 311-324.
- Gunatilaka, A. 1989. Spheroidal dolomites--origin by hydrocarbon seepage. *Sedimentology*. 36: 701-710.
- Guy-Ohlson, D. 1992. *Botryococcus* as an aid in the interpretation of palaeoenvironment and depositional processes. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 71: 1-15.

- Hachiro, J. 1991. Litotipos, associações faciológicas e sistemas deposicionais da Formação Irati no Estado de São Paulo. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. 175p. Inédita.
- Hachiro J.; Coimbra, A. M.; Matos, S. L. F. 1993. O caráter cronoestratigráfico da unidade Irati. In: Resumos. 1º Simpósio sobre cronoestratigrafia da Bacia do Paraná -IGCE/UNESP. 62-63.
- Hachiro, J. 1996. O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná. Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, 196p. Inédita.
- Hachiro, J.; Coutinho, J. M. V. 2005. Distribution, Mineralogy, Provenance and Significance of Permian Ash-Carrying Deposits in the Paraná Basin, Brazil. *Geologia USP. Série Científica*. 5 (1): 29-39, 2005.
- Hesse, R. 1990a. Origin of chert: Diagenesis of biogenic siliceous sediments. In: Mcilreath, I. A.; Morrow, D. W. (eds.). Diagenesis. Geoscience Canada Reprint Series. Ottawa.4: 227-251.
- Hesse, R. 1990b. Silica diagenesis: Origin of inorganic and replacement cherts. In: Mcilreath, I. A.; Morrow, D. W. (eds.). Diagenesis. Geoscience Canada Reprint Series. Ottawa. 4: 253-275.
- Hofmann, H. J. 1976. Precambrian microbiota, Belcher Islands, Canada: significance and systematics. *Journal of Paleontology*. 50: 1040-1073.
- Hofmann, H. J.; Jackson, G. D. 1991. Shelf-facies microfossils from the Uluksan Group (Proterozoic Bylot Supergroup), Baffin Island, Canada. *Journal of Paleontology*. 65 (3): 361-382.
- Holz, M.; França, A. B.; Souza, P. A.; Iannuzzi, R.; Rohn, R. 2009. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*. 29: 381-399.
- Hopkins, J. A.; McCarthy, F. M. G. 2002. Post-depositional palynomorph degradation in quaternary shelf sediments: a laboratory experiment studying the effects of progressive oxidation. *Palynology*. 26: 167-184.
- Horodyski, R. J.; Vonder Haar, S. 1975. Recent calcareous stromatolites from Laguna Mormona (Baja Califórnia) Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*. 45 (4): 894-906.

- Horodyski, R. J.; Bloeser, B., Haar, V. S. 1977. Laminated algal mats from a coastal lagoon, Laguna Mormona, Baja California, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*. 47 (2): 680-696.
- Horsthemke, E.; Ledendecker, S.; Porada, H. 1990. Depositional environments and stratigraphic correlation of the Karroo Sequence in northwestern Damaral. *Communications of the Geological Survey of Namibia*. 6: 63-73.
- Hugo, R. C.; Candy, S. L.; Smythe, W. 2011. The role of extracellular polymeric substances in the silicification of *Calothrix*: Evidence from microbial mat communities in hot springs at Yellowstone National Park, USA. *Geomicrobiology Journal*. 28 (8): 667-675.
- Igisu, M.; Nakashima S.; Ueno, Y.; Awramik, S. M.; Maruyama S. 2006. *In situ* infrared microspectroscopy of 850 million-year-old prokaryotic fossils. *Applied Spectroscopy*. 60 (10): 1111-1120.
- Iler, R. K. 1979. The chemistry of silica. John Wiley & Sons. New York. 687p.
- Illing, L. V.; Wells, A. J.; Taylor, J. C. M. 1965. Penecontemporary dolomite in the Persian Gulp. In: Pray, L. C.; Murray, R. C. (eds.). Dolomitization and Limestone Diagenesis, a Symposium. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication. Tulsa. 13: 89-111.
- Jones, G. D.; Xiao, Y. 2005. Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*. 89 (5): 577-601.
- Kah, L. C.; Riding R. 2007. Mesoproterozoic carbon dioxide levels inferred from calcified cyanobacteria. *The Geological Society of America*. 9: 799-802.
- Khalaf, F. I. 1990. Occurrence of phreatic dolocrete within Tertiary clastic deposits of Kuwait, Arabian Gulf. *Sedimentary Geology*. 68: 223-39.
- Kelman, R.; Feist, M.; Trewin, N. H.; Hass, H. 2004. Charophyte algae from the Rhynie chert. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*. 94: 445-455.
- Kenward, P. A.; Goldstein, R. H.; Gonzalez, L. A.; Roberts, J. A. 2009. Precipitation of low-temperature dolomite from an anaerobic microbial consortium: the role of methanogenic Archaea. *Geobiology*. 7 (5): 556-565.
- Kidder, D. L.; Erwin, D. H. 2001. Secular distribution of biogenic silica through the Phanerozoic: Comparison of silica-replaced fossils and bedded cherts at the series level. *Journal of Geology*. 109: 509-522.

- Knauth, L. P. 1994. Petrogenesis of chert. In: Heavey, P. J.; Prewitt, C. T.; Gibbs, G. V. (eds.). *Silica, physical behavior, geochemistry and materials applications*. Mineralogical society of America. Chelsea. 233-256.
- Knoll, A. H.; Golubić, S. 1979. Anatomy and taphonomy of a Precambrian algal stromatolite. *Precambrian Research*. 10: 115-151.
- Knoll, A. H. 1982. Microfossils from the Late Precambrian Draken conglomerate, NY Frienland, Svalbard. *Journal of Paleontology*. 56 (3): 755-790.
- Knoll, A. H.; Swett, K.; Burkhardt, E. 1989. Paleoenvironmental distribution of microfossils and stromatolites in the Upper Proterozoic Backlundtoppen Formation, Spitsbergen. *Journal of Paleontology*. 63: 129–145.
- Knoll, A. H.; Swett, K.; Mark, J. 1991. Paleobiology of Neoproterozoic tidal flat/lagoonal complex: the Draken Conglomerate Formation, Spitsbergen. *Journal of Paleontology*. 65: 531-569.
- Knoll, A. H.; Fairchild, I. J.; Swett, K. 1993. Calcified microbes in Neoproterozoic carbonates: Implications for our understanding of the Proterozoic/Cambrian transition: *Palaios*. 8: 512–525.
- Knoll, A. H. 1996. Archean and Proterozoic paleontology. In: Jansonius, J.; Mcgregor, D. C. (eds.). *Palynology: Principles and Applications*. American Association of Stratigraphic Palynological Foundation. Dallas. 51-80.
- Knoll, A. H. 2003. Biomineralization and Evolutionary History. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 54 (1): 329-356.
- Komárek, J.; Anagnostidis, K. 1986. Modern approach classification system of cyanophytes, 2-*Chroococcales* fúr *Hydrobiologie/Algological Studies*. 43: 157-226.
- Konhauser, K. O., Jones, B.; Phoenix, V. R.; Ferris, G.; Renau, R. W. 2004. The Microbial Role in Hot Spring Silicification. *Ambio*. 33: 552–558.
- Krause, S.; Liebetrau, V.; Gorb, S.; Sánchez-Román, M.; McKenzie, J. A.; Treude, T. 2012. Microbial nucleation of Mg-rich dolomite in exopolymeric substances under anoxic modern seawater salinity: New insight into an old enigma. *Geology*. 40: 587-590.
- Krauskopf, K. B.; Bird, D. K. 1995. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill. New York. 647p.
- Kremer, B. 2006. Mat-forming coccoid cyanobacteria from early Silurian marine deposits of Sudetes, Poland. *Acta Palaeontologica Polonica*. 51 (1): 143–154.

- Kremer, B.; Kazmierczak, J.; Łukomska-Kowalczyk, M; Kempe, S. 2012. Calcification and silicification: fossilization potential of cyanobacteria from stromatolites of Niuafu'ou's caldera lakes (Tonga) and implications for the early fossil record. *Astrobiology*. 12 (6): 535-548.
- Krylov, I. N.; Tikhomirova, N. S. 1998. On the formation of siliceous microfossils. *Paleontological Journal*. 3: 1-8.
- Kumar, S.; Pandey, S. K. 2008. Discovery of organic-walled microbiota from the black-bedded chert, Balwan Limestone, the Bhandar Group, Lakheri area, Rajasthan. *Research Communications*. 94 (6): 797-800.
- Kudryavtsev, A. B. ; Schopf, J. W. ; Agresti, D. G.; Wdowiak, T. J. 2001. In situ laser-Raman imagery of Precambrian microscopic fossils. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 98 : 823–826.
- Kyle, J. E.; Schroeder, P. A.; Wiegel, J. 2007. Microbial silicification in sinters from Two Terrestrial Hot Springs in the Uzon Caldera, Kamchatka, Russia. *Geomicrobiology Journal*. 24: 627–641.
- Lages, L. C. 2004. A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no Furo de Sondagem Fp-01-PR (Sapopema, PR). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 117p. Inédita.
- Lalonde, S. V.; Konhauser, K. O.; Reysenbach, A. E.; Ferris F. G. 2005. The experimental silicification of Aquificales and their role in hot spring sinter formation. *Geobiology*. 3: 41–52.
- Lalonde, S. V.; Smith, D. S.; Owttrim, G. W.; Konhauser, K. O. 2008a. Acid-base properties of cyanobacterial surfaces I: influences of growth phase and nitrogen metabolism on surface reactivity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72: 1257–1268.
- Lalonde, S. V.; Smith, D. S.; Owttrim, G. W.; Konhauser, K. O. 2008b. Acid-base properties of cyanobacterial surfaces II: silica as a chemical stressor influencing cell surface reactivity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 72:1269–1280.
- Land, L. S., 1998. Failure to precipitate dolomite at 25 °C from dilute solution despite 1000-fold oversaturation after 32 years. *Aquatic Geochemistry*. 4: 361-368.
- Last, W. M. 1992. Petrology of modern carbonate hardgrounds from East Basin Lake, a saline maar lake, southern Australia. *Sedimentary Geology*. 81: 215-229.

- Last, F. M.; Last, W. M.; Halden, N. M. 2012. Modern and late Holocene dolomite formation: Manito Lake, Saskatchewan, Canada. *Sedimentary Geology*. 281: 222–237.
- Leo, R. F.; Barghoorn, E. S. 1976. Silicification of wood. *Harvard University Botanical Museum Leaflets*. 25: 1–29.
- Lespade, P., Al-Jishi, R., Dresselhaus, M. S. 1982. Model for Raman scattering from incompletely graphitized carbons. *Carbon*. 5: 427–431.
- Lindtke, J.; Ziegenbalg, S. B.; Brunner, B.; Rouchy, J. M.; Pierre, C.; Peckmann, J. 2011. Authigenesis of native sulphur and dolomite in a lacustrine evaporitic setting (Hellín Basin, Late Miocene, SE Spain). *Geological Magazine*. 1484: 655-669.
- Lo, S. C., 1980. Microbial fossils from the lower Yudoma Suite, earliest Phanerozoic, eastern Siberia. *Precambrian Research*. 13: 109-166.
- Lofgren, G. 1974. An experimental study of plagioclase crystal morphology; isothermal crystallization. *American Journal of Science*. 274: 243–273.
- Lucia, F. J. 2007. Dolostone reservoirs. In: Lucia, F. J. Carbonate Reservoir Characterization. *An Integrated Approach*. Springer. Austin. 217-296.
- Maliva, R. G.; Knoll, A. H.; Siever, R. 1989. Secular change in chert distribution: A reflection of evolving biological participation in the silica cycle. *Palaios*. 4: 519-532.
- Marin-Carbonne, J.; Faure, F.; Chaussidon, M.; Jacob, D.; Robert, F. 2013. A petrographic and isotopic criterion of the state of preservation of Precambrian cherts based on the characterization of the quartz veins. *Precambrian Research*. 231: 290–300.
- Marshall, C. P.; Javaux, E. J.; Knoll, A. H.; 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*. 138: 208–224.
- Marshall, C. P.; Edwards, H. G. M.; Jehlicka, J. 2010. Understanding the application of raman spectroscopy to the detection of traces of life. *Astrobiology*. 10: (2): 229-243.
- Martins-Neto, R. G. 2001. Review of some Crustacea (Isopoda and Decapoda) from Brazilian deposits (Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic) with descriptions of new taxa. *Acta Geologica Leopoldensia*. 24 (52) 237-254.

- Maynard, J.B.; Chocyk-Jaminski, M., Gaines, R.R., Huff, W.D.; Krekeler, M.P.; Prokopenko, M.; Summers, A. M. 1996. Bentonites in the Late Permian Tatarian Irati Formation of Brazil; geochemistry and potential for stratigraphic correlation, Abstract Programs. Geological Society of America. 28: 280p.
- McArthur, A. N.; Cas, R. A. F.; Orton, G. J. 1998. Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales). *Bulletin of Volcanology*. 60: 260–285.
- McKenzie, J. A. 1991. The dolomite problem: An outstanding controversy. In: Müller, D. W.; McKenzie, J. A.; Weissert, H. (eds.). *Controversies in modern geology: Evolution of geological theories in sedimentology, Earth history and tectonics*: London. Academic Press. p. 37–54.
- Mendelson, C. V.; Schopf, J. W. 1982. Proterozoic Microfossils from the Sukhaya Tunguska, Shorikha, and Yudoma Formations of the Siberian Platform, USSR. *Journal of Paleontology*. 56 (1): 42-83.
- Menéndez, C. A. 1976. Contenido palinológico de estratos permicos com “Mesosaurus” de Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" Paleontologia*. 2 (1): 1-30.
- Mera, M. U.; Beveridge, T. J. 1993. Mechanism of silicate binding to the bacterial cell wall in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*. 175: 1936-1945.
- Mernagh, T. P.; Cooney, R. P.; Johnson, R. A. 1984. Raman spectra of graphon carbon black. *Carbon*. 22: 39–42.
- Merz, M. U. E.; Zankl, H.; 1993. The influence of the sheath on carbonate precipitation by cyanobacteria. *Bolletino Della Società Paleontologica Italiana. Special Volume.1*: 325–331.
- Merz, M. U. E. 1992. The biology of carbonate precipitation by cyanobacteria. *Facies*. 26: 81–102.
- Mezzalira, S.; Martins Neto R. G., 1992. Novos crustáceos do Paleozóico do Estado de São Paulo, com descrição de novos taxa. *Acta Geológica Leopoldensia*. 36 (15): 49-66.
- Milani, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*. 8: 69-82.
- Milani, E. J.; Ramos V. 1998. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira Geociências*. 28 (4): 473-484.

- Milani, E. J.; Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary Basins of South America. In: XXXI International Geological Congress. Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro. 1: 389-449.
- Milani, E. J.; Melo, J. H. G.; Souza, P. A.; Fernandes, L. A.; França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*. 5 (2): 265-287.
- Moczydlowska, M.; Willman S. 2009: Ultrastructure of cell walls in ancient microfossils as a proxy to their biological affinities. *Precambrian Research*. 173: 27–38.
- Nielsen, P.; Swennen, R.; Dickson, J. A. D.; Fallick A. E.; Keppens E. 1997. Spheroidal dolomites in a Viséan karst system—bacterial induced origin?. *Sedimentology*. 44 1: 177–195.
- Nguyen, R. T.; Harvey H. R. 2003. Preservation via macromolecular associations during *Botryococcus braunii* decay: proteins in the Pula kerogen. *Organic Geochemistry*. 34: 1391–1403.
- Nyberg, A. V.; Schopf, J. W. 1984. Microfossils in stromatolitic cherts from the Upper Proterozoic Min'yar Formation, Southern Ural Mountains, USSR. *Journal of Paleontology*. 58: 738-77.
- O'Brien, G. W.; Harris, J. R.; Milnes, A. R.; Veeh, H. H. 1981. Bacterial origin of East Australian continental Margie phosphorites. *Nature*. 249: 442-444.
- Oehler, J. H. 1976. Experimental studies in Precambrian paleontology: structural and chemical changes in blue-green algae during simulated fossilization in synthetic chert. *Bulletin of the Geological Society of America*. 87: 117-129.
- Oehler, D. K. 1977. Pyrenoid-like structures in Late Precambrian algae from the Bitter Springs Formation of Australia. *Journal of Paleontology*. 51: 885-901. 2 (4): 269-309.
- Oehler, D. Z. 1978. Microflora of the middle Proterozoic Balbirini Dolomite (McArthur Group) of Australia. *Alcheringa*. 2(4): 269-309.
- Oelofsen, B.W.; Araújo, D. C. 1983. Palaecological implications of the distribution of mesosaurid reptiles in the Permian Irati sea (Parana Basin), South America. *Revista Brasileira de Geociências*. 13 (1): 1-6.
- Oelofsen, B. W.; Araújo, D. C. 1987. *Mesosaurus tenuidens* and *Stereosternum tumidum* from the Permian Gondwana of both Southern African and South America. *South African Journal of Science*. 83: 370-372.

- Orange, F.; Westall, F.; Disnar, J. R.; Prieur, D.; Bienvenu, N.; Romancer; M. L. E.; Défarge, C. H. 2009. Experimental silicification of the extremophilic Archaea *Pyrococcus abyssi* and *Methanocaldococcus jannaschii*: applications in the search for evidence of life in early Earth and extraterrestrial rocks. *Geobiology*. 7(4): 403-18.
- Orange, F.; Disnar, J. R.; Westall, F.; Prieur, D.; Baillif, P. 2011. Metal cation binding by the hyperthermophilic microorganism, *Archaeamethanocaldococcus jannaschii*, and its effects on silicification. *Palaeontology*. 54 (5): 953–964.
- Orange, F.; Lalonde, S. V.; Konhauser, K. O. 2013. Experimental simulation of evaporation-driven silica sinter formation and microbial silicification in hot spring systems. *Astrobiology*. 13 (2): 163-176.
- Oru , D. 1996. Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado. Universidade de São Paulo. Disserta o de Mestrado. 163p. Inédita.
- Ottone, E. G.; Toro, B. A.; Waisfeld, B. G. 1992. Lower Ordovician palynomorphs from the Acoite Formation, northwestern Argentina. *Palynology*. 16: 93-116.
- Pasteris, J. D.; Wopenka, B. 1991. Raman spectra of graphite as indicator of degree of metamorphism. *Journal of the Mineralogical Association of Canada*. 29 (1): 1-9.
- Pasteris, J. D.; Wopenka, B. 2003. Necessary, but not sufficient: Raman identification of disordered carbon as a signature of ancient life. *Astrobiology*. 3 (4): 727-738.
- Pedone, B. A.; Folk, R. L. 1996. Formation of aragonite cement by nanobacteria in the Great Salt Lake, Utah. *Geology*. 24: 763-765.
- Pentacost, A.; Riding, R. 1986. Calcification in cyanobacteria. In: Leadbeater, B. S. C.; Riding, R. (eds.). *Biom mineralization in lower plants and animals*. Clarendon Press. Oxford. 30: 73-90.
- Petersen, H. I.; Rosenberg, P.; Nytoft, H. P. 2008. Oxygen groups in coals and alginite-rich kerogen revisited. *International Journal of Coal Geology*. 74: 93–113.
- Petri, S.; Fulfaro, V. J. 1983. Geologia do Brasil (Faneroz ico). T. A. Queiroz – EDUSP, São Paulo. 631 p.
- Phoenix, V. R.; Adams, D. G.; Konhauser, K. O. 2000. Cyanobacterial viability during hydrothermal biomineralization. *Chemical Geology*. 169: 329-338

- Phoenix, V. R.; Bennett, P.C.; Engel, A. S.; Tyler, S, W.; Ferris, F. G. 2006. Chilean highaltitude hot-spring sinters: a model system for UV screening mechanisms by early Precambrian cyanobacteria. *Geobiology*. 4:15–28.
- Phoenix V. R.; Konhauser, K. O. 2008. Benefits of bacterial biomineralization. *Geobiology*. 6:303–308.
- Pratt, B. R. 2002. Calcification of cyanobacterial filaments: *Girvanella* and the origin of lower Paleozoic lime mud. *Geology*. 29: 763-766.
- Premaor, E.; Fischer, T. V.; Souza, P.A. 2006. Palinologia da Formação Irati (Permiano Inferior da Bacia do Paraná), em Montividiu, Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*. 8 (2): 221-230.
- Rao, V. P.; Kessarkar, P.M.; Krumbein, W.E.; Krajewski, K.P.; Scheider, R. J. 2003. Microbial dolomite crusts from the carbonate platform off western India. *Sedimentology*. 50: 819-830.
- Rao, V. P.; Hegner, E.; Naqvi, S. W.; Kessarkar, P. M.; Ahmad, S. M.; Raju, D. S. 2007. Miocene phosphorites from the Murray Ridge, northwestern Arabian Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 260 (3-4): 347-358.
- Reed, J. D.; Illich, H. A.; Horsfield, B. 1986. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. *Organic Geochemistry*. 10: 347-358.
- Ricardi-Branco, F.; Caires, E.; Silva, A. M. 2009. Giant stromatolite field of Santa Rosa de Viterbo, State of São Paulo Excellent record of the Irati Permian sea coastal environment, Paraná basin. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; Campos, D. A. (orgs.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. 1º ed. SIGEP 125. Brasília: 2: 371-380.
- Riding, R. 1991. Calcified cyanobacteria. In: Riding R. (ed.). *Calcareous algae and stromatolites*. Springer-Verlag. Berlin. 55-87.
- Riding, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms. *Sedimentology*. 47 (no. suppl.): 179–214.
- Riech, V.; Von Rad; U. 1979. Silica diagenesis in the Atlantic Ocean: diagenetic potential and transformations. In: Talwani, M.; Hay, W.; Ryan, W. B. F. (eds). *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironment*. American Geophysic Union. Washington. 3: 315-340.
- Rivadeneira, M. A.; Paraga J.; Delgado, G.; Ramos-Coemenzana A.; Delgado G. 2004. Biomineralization of carbonates by *Halobacillus trueperi* in solid and liquid media with different salinities. *FEMS Microbiology Ecology*. 48: 39-46.

- Roberts, J. A.; Bennett, P. C.; Gonzalez, L. A.; Macpherson, G. L.; Milliken, K. L.; 2004. Microbial precipitation of dolomite in methanogenic groundwater. *Geology*. 32 (4), 277-280.
- Rocha-Campos, A.C.; Basei, M.A.S.; Nutman, A.P.; Santos, P.R. 2007. SHRIMP U–Pb zircon ages of the late Paleozoic sedimentary sequence, Paraná Basin, Brazil. In: Boletim de Resumos. IV Simpósio Sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Armação de Búzios, 33-33.
- Rocha-Campos, A. C.; Basei, M. A.; Nutman, A. P.; Kleiman, L. E.; Varela, R.; Llambias, E.; Canile, F. M.; Rosa, O. C. R. 2011. 30 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U–Pb zircon geochronology evidence. *Gondwana Research*. 19: 509–523
- Rohn, R.; Lages, L.C.; Penatti, J. R. R. 2003. Litofácies da Formação Irati no furo de sondagem FP-01-PR (Permiano, borda leste da Bacia do Paraná). Resumos. II Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo & Gás. Rio de Janeiro. 1: 1-6.
- Sánchez-Román, M.; McKenzie, J. A.; Luca, A. R. W.; Rivadeneyra, M. A.; Vasconcelos, C. 2009. Presence of sulfate does not inhibit low-temperature dolomite precipitation. *Earth and Planetary Science Letters*. 285: 131–139.
- Sánchez-Román, M.; Romanek, C. S.; Fernández-Remolar, D. C.; Sánchez-Navas A.; McKenzie J. A.; Pibernat, R. A.; Vasconcelos, C. 2011. Aerobic biomineralization of Mg-rich carbonates: Implications for natural environments. *Chemical Geology*. 281: 143–150.
- Santos, R. V.; Souza, P. A.; Alvarenga, C. J. S.; Dantas, E. L.; Pimentel, M. M.; Oliveira, C. G.; Laury, M. A. 2006. Shrimp U–Pb zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research*. 9: 456-463.
- Sanz-Montero, M. E.; Rodríguez-Aranda, J. P.; Cura, M. A. G. 2008. Dolomite-silica stromatolites in Miocene lacustrine deposits from the Duero Basin, Spain: the role of organotemplates in the precipitation of dolomite. *Sedimentology*. 55: 729–750.
- Sanz-Montero, M. E.; Rodríguez, J. P.; Cura, M. A. G. 2009. Bioinduced precipitation of barite and celestite in dolomite microbialites. Examples from Miocene lacustrine sequences in the Madrid and Duero Basins, Spain. *Sedimentary Geology*. 222: 138-148.

- Schneider, R. L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. A.; Daemon, R. F.; Nogueira, A. A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Anais. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre. São Paulo. 1: 41-65.
- Schieber, J. 2002. Sedimentary pyrite: A window into the microbial past. *Geology*. 30: 531-534.
- Schopf, J. W. 1968. Microbiota of the Bitter Springs Formation, Late Precambrian, central Australia. *Journal of Paleontology*. 42. 651-688.
- Schopf, J. W.; Blacic, J. M. 1971. New microorganisms from the Bitter Springs Formation Late Precambrian of the north-central Amadeus Basin, Australia. *Journal of Paleontology*. 45: 925-961.
- Schopf, J. W. 1992a. Proterozoic prokaryotes: affinities, geologic distribution, and evolutionary trends. In: Schopf, J. W.; Klein, C. (eds.). *The Proterozoic Biosphere: a Multidisciplinary Study*. Cambridge University Press. New York. 195-218.
- Schopf, J. W. 1992b. Informal revised classification of Proterozoic microfossils. In: Schopf, J. W.; Klein, C. (eds.). *The Proterozoic Biosphere: a multidisciplinary study*. Cambridge University Press. New York. 1119-1167.
- Schopf, J. W. 1995. Ritmo e modo da evolução microbiana pré-cambriana. *Estudos Avançados*. 23: 195-216.
- Schopf, J. W. 2000. The fossil record: tracing the roots of the cyanobacterial lineage. In: Whitton, B. A.; Pott, M. (ed.). *The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publisher. Cambridge. 13-35.
- 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.
- Schopf, J. W.; Tripathi, A. B.; Kudryavtsev, A. B. 2006. Three-dimensional confocal optical imagery of Precambrian microscopic organisms. *Astrobiology*. 6 (1): 1-16.
- Schopf, J. W.; Kudryavtsev, A. B.; Czaja, A. D.; Tripathi, A. B. 2007. Evidence of Archean life: Stromatolites and microfossils. *Precambrian Research*. 158: 141-155.
- Schulz, H. N.; Schulz, H. D. 2005. Large sulfur bacteria and the formation of phosphorite. *Science*. 416: 307-418.
- Schultze-Lam, S.; Fortin, D.; Davis, B. S.; Beveridge, T. J. 1996. Mineralization of bacterial surfaces. *Chemical Geology*. 132: 171-181.

- Sergeev, V. N.; Krylov, I. N. 1986. Microfossils from the Min'yar Formation of the Urals. *Paleontologicheskii Zhurnal*. 1: 84-95.
- Sergeev, V. N. 1994. Microfossils in cherts from the Middle Riphean (Mesoproterozoic) Avzyan Formation, southern Ural Mountains, Russian Federation. *Precambrian Research*, 65: 231-254.
- Sergeev, V. N. 2001. Paleobiology of the Neoproterozoic (Upper Riphean) Shorikha and Burovaya Silicified Microbiotas, Turukhansk Uplift, Siberia. *Journal of Paleontology*. 75 (2): 427-448.
- Sergeev, V. N.; Schopf, 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*. 84 (3): 363-401.
- Sergeev, V. N.; Knoll, A. H.; Grotzinger, J. P. 1995. Paleobiology of the Mesoproterozoic Billyakh Group, Anabar Uplift, Northern Siberia. *The Paleontological Society*. 39: 1-28.
- Shinn, E. A.; Ginsburg, R. N.; Lloyd R. M. 1965. Recent supratidal dolomite from Andros Island Bahamas. In: Pray, L. C.; Morry, R. C (eds). Dolomitization and limestone diagenesis. Special Publication. Tulsa. 112-123.
- Silva, Z. C.; Cornford, C. 1985. The kerogen type, depositional environment and maturity of the Irati Shale, Upper Permian of Paraná Basin, Southern Brazil. *Organic Geochemistry*. 8: 399-411.
- Souza, P. A.; Marques-Toigo, M. 2003. An overview on the palynostratigraphy of the Upper Paleozoic strata of the Brazilian Paraná Basin. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*. 5: 205-214.
- Souza, P. A.; Marques-Toigo, M. 2005. Progress on the palynostratigraphy of the Permian strata in Rio Grande do Sul State, Paraná Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 77 (2): 353-365.
- Souza, P. A.; Félix, C. M.; Pérez-Aguilar, A.; Petri, S. 2010. Pennsylvanian palynofloras from the Itu rhythmities (Itararé Subgroup, Paraná Basin) in São Paulo State, Brazil. *Revue de Micropaléontologie*. (53): 69-83.
- Spötl, C.; Wright, V. 1992. Groundwater dolomite from the Upper Triassic of the Paris Basin, France: a case study of an arid, continental diagenetic facies. *Sedimentology*. 39: 1119-1136.

- Subacius, S. M. R.; Amaral, S. E. 1983. Estudo biogeoquímico da matéria orgânica preservada em folhelhos pirobetuminosos próximos a soleira de diabásio, Formação Irati (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 55: 45-53.
- Sugitani, K.; Gray, K.; Allwood, A.; Nagaoka, T.; Mimura, K.; Minami, M.; Marshall, C. P.; Kranendonk, M. J. V.; Walter, M. R. 2007. Diverse microstructures from Archaean chert from the Mount Goldsworthy–Mount Grant area, Pilbara Craton, Western Australia: Microfossils, dubiofossils, or pseudofossils? *Precambrian Research*. 158: 228–262.
- Sugitani, K.; Grey, K.; Nagaoka, T.; Mimura, K.; Walter, M. R. 2009. Taxonomy and biogenicity of Archaean spheroidal microfossils (ca. 3.0 Ga) from the Mount Goldsworthy–Mount Grant area in the northeastern Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Research*. 173: 50–59.
- Sunagawa, I. 1981. Characteristics of crystal growth in nature as seen from the morphology of mineral crystals. *Bulletin de Mineralogie*. 104: 81–87.
- Tappan, H. 1980. The Paleobiology of Plant Protists. W. H. Freeman and Company, San Francisco. 1050 pp.
- Taylor, T. N.; Hass, H.; Kerp, H. 1997. A cyanolichen from the Lower Devonian Rhynie Chert. *American Journal of Botany*. 84 (8): 992-1004.
- Thompson, J. B.; Ferris, F. G. 1990. Cyanobacterial precipitation of gypsum, calcite and magnesite from natural alkaline lake water. *Geology*. 18: 995–998.
- Tobin, K. J. 2004. A survey of Paleozoic microbial fossils in chert. *Sedimentary Geology*. 168: 97-107.
- Toporski, J. K. W.; Steele, A.; Westall, F.; Thomas-Keprta, K. L.; McKay, D. S. 2002. The simulated silicification of bacteria - new clues to the modes and timing of bacterial preservation and implications for the search for extraterrestrial microfossils. *Astrobiology*. 2: 1-26.
- Tucker, M. E.; Wright, V. P. 1990. Carbonate Sedimentology. Blackwell Publishing. Oxford. 482p.
- Tuinstra, F.; Koenig, J. L. 1970. Raman spectrum of graphite. *Journal of Chemical Physics*. 53: 1126–1130.
- Turner, E. C.; James, E. N.; Narbonne, G. M. 2000. Taphonomic control on microstructure in Early Neoproterozoic reefal stromatolites and thrombolites. *Palaios*. 15: 87–111.
- Tyler, R. V. 1995. Sedimentary organic matter. Chapman & Hall, London. 591p.

- Uesugui, N. 1979. Palinologia: técnicas de tratamento de amostras. *Boletim Técnico da Petrobrás*. 22: 229-240.
- Urrutia, M. M.; Beveridge, T. J. 1993. Mechanism of silicate binding to the bacterial cell wall in *Bacillus subtilis*. *Journal of Bacteriology*. 175: 1936– 1945.
- van Lith, Y.; Vasconcelos, C.; Warthmann, R.; Martins, J. C. F.; McKenzie, J. A. 2002. Bacterial sulfate reduction and salinity: two controls on dolomite precipitation in Lagoa Vermelha and Brejo do Espinho (Brazil). *Hydrobiologia*. 485: 35–49.
- van Lith, Y.; Warthmann, R.; Vasconcelos, C.; McKenzie, J. A. 2003. Sulphate-reducing bacteria induce low-temperature Ca-dolomite and high Mg-calcite formation. *Geobiology*. 1: 71–79.
- Vasconcelos, C.; McKenzie, J. A.; Bernasconi, S.; Grujic, D. Tien, A. J. 1995. Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures. *Nature*. 377: 220–222.
- Vasconcelos, C.; McKenzie, J. A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Sedimentary Research*. 67: 378–390.
- Vavrdivá, 2008. Proterozoic acritarchs from the Precambrian-Cambrian transition on southern Moravia (Měnin-1 borehole, Czech Republic). *Bulletin of Geosciences*. 81 (1): 85-92.
- Versteegh, G. J. M.; Blokker, P. 2004. Resistant macromolecules of extant and fossil microalgae. *Phycological Research*. 52: 325–340.
- Wacey, D.; Wright, D. T.; Boyce, A. J. 2007. A stable isotope study of microbial dolomite formation in the Coorong Region, South Australia. *Chemical Geology*. 244: 155–174.
- Walker, J. D.; Geissman, J. W.; Bowring S. A.; Babcock L. E. 2013. The Geological Society of America Geologic Time Scale. *Geological Society of America Bulletin*. 3-4: 259-272.
- Warren, J. 2000. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*. 52: 1–81.
- Warthmann, R.; van Lith, Y.; Vasconcelos, C.; McKenzie, J. A.; Karpoff, A. M. 2000. Bacterially induced dolomite precipitation in anoxic culture experiments. *Geology*. 28 (12): 1091-1094.

- Watkins, J.; Manga, M.; Huber, C.; Martin, M. 2009. Diffusion-controlled spherulite growth in obsidian inferred from concentration profiles. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 157: 163–172.
- Westall, F.; Boni, L.; Guerzoni, M. E. 1995. The experimental silicification of microbes. *Palaeontology*. 38: 495-528.
- Westall, F. 1997. The influence of cell wall composition on the fossilization of bacteria and the implications for the search for early life forms. In: Cosmovici, C.; Bowyer, S.; Werthimer, D. (eds). *Astronomical and Biochemical Origins and the Search for Life in the Universe*. Editori Compositrici. Bologna. 491–504.
- Westall, F.; Ronde, C. E. J.; Southam, G.; Grassineau, N.; Colas, M.; Cockell, C.; Lammer, H. 2006. Implications of a 3.472–3.333 Gyr-old subaerial microbial mat from the Barberton Greenstone Belt, South Africa for the UV environmental conditions on the early Earth. *Philosophical Transaction of the Royal Society Bulletin*. 361: 1857–1875.
- White, D. 1908. Flora fossil das Coal Measures do Brasil. In: White, I. C. (ed.). *Relatório Final. Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brazil*. Imprensa Nacional. Rio de Janeiro. 3: 337-617.
- Wicander, R., Foster, C. B., Reed, J. D. 1996. Green and blue-green algae, 7E-*Gloeocapsamorpha*. In: Jansonius, J., McGregor, D. C. *Palynology: Principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynology Foundation. Salt Lake City. 1: 215-225.
- Wicander, R.; Playford, G.; Roberston, E. B. 1999. Stratigraphic and paleogeographic significance of an upper Ordovician acritarch flora from the Maquoketa shale, northeastern Missouri, USA. *Journal of Paleontology*. 73 (51): 1–38.
- Wicander, R.; Playford, G. 2008. Upper Ordovician microphytoplankton of the Bill's Creek Shale and Stonington Formation, Upper Peninsula of Michigan, U.S.A.: biostratigraphy and paleogeographic significance. *Revue de Micropaléontologie*. 51 (1): 39-66, 4.
- Wopenka, B.; Pasteris, J. D. 1993. Structural characterization of kerogens to graphite-facies graphite: Applicability of Raman microprobe spectroscopy. *American Mineralogist*. 78: 533-557.
- Wright, D. T. 1999. The role of sulphate-reducing bacteria and cyanobacteria in dolomite formation in distal ephemeral lakes of the Coorong region, South Australia. *Sedimentary Geology*. 126: 147–157.

- Wright, D. T.; Wacey, D. 2005. Precipitation of dolomite using sulphate-reducing bacteria from the Coorong Region, South Australia: significance and implications. *Sedimentology*. 52: 987–1008
- Yamamoto, J. K.; Montanheiro, T. J.; Hachiro, J. 2004. Trípoli no Subgrupo Irati: a ocorrência de Ipeúna, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*. 34: 35-40.
- Yee, N.; Phoenix, V. R.; Konhauser, K. O.; Benning, L. G.; Ferris F. G. 2003. The effect of cyanobacteria on silica precipitation at neutral pH: implications for bacterial silicification in geothermal hot springs. *Chemical Geology*. 199: 83– 90.
- Zalán, P. V.; Wolf, S.; Conceição, J. C. J.; Marques, A.; Astolfi, M. A. M.; Vieira, L. S.; Appi, V. T.; Zanotto, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: Gabaglia, G. P. R.; Milani, E. J. (coords). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. SNE-PETROBRÁS. 135-168.
- Zalessky, M. D. 1917. A marine sapropelite of Silurian age formed by blue-green alga. (em russo). *Izvestia Imperatorskoj Akademii Nauk IV Series*. 1: 3-18.
- Zalessky, M. D. 1918. Sur le sapropélite marin de l'âge silurien formé par une algue cyanophycée. *Ezhegodnik Russkago Paleontologicheskago Obshchestva*, Petrograd. *Annuaire de la Societé Paléontologine de Russie*. 1: 25-42. (em russo)
- Zhang, F.; Xu, H.; Konishi, H.; Shelobolina, E. S.; Roden E. E. 2012. Polysaccharide-catalyzed nucleation and growth of disordered dolomite: A potential precursor of sedimentary dolomite. *American Mineralogist*. 97: 556–567.
- Zhang, F.; Yan, C.; Teng H. H.; Roden E. E.; Xu, H. 2013. *In situ* AFM observations of Ca–Mg carbonate crystallization catalyzed by dissolved sulfide: Implications for sedimentary dolomite formation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 105: 44–55.