



Número: 404/2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

RAFAEL SOUZA DE FARIA

**LICÓFITAS GUADALUPIANAS DA BACIA DO PARANÁ: NOVOS DADOS MORFO-
ANATÔMICOS.**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências como
parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Geociências.

Orientadora: Profa. Dra. Fresia Soledad Ricardi-Branco

CAMPINAS - SÃO PAULO

Fevereiro – 2009

**Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca
do Instituto de Geociências/UNICAMP**

F2251 Faria, Rafael Souza de.
Licófitas Guadalupianas da Bacia do Paraná: novos dados morfo-anatômicos / Rafael Souza de Faria-- Campinas, SP.: [s.n.], 2009.

Orientador: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Paleobotânica. 2. Paleontologia estratigráfica. 3. Geologia estratigráfica - Permiano. I. Ricardi-Branco, Fresia . II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em inglês: Guadalupian lycopods from the Paraná Basin: new morpho-anatomic data.

Keywords: - Paleobotany;

- Stratigraphy paleontology;

- Stratigraphy geology - Permian.

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais.

Titulação: Mestre em Geociências.

Banca examinadora: - Fresia Soledad Ricardi Torres Branco;

- George John Shepherd;

- Rosemarie Rohn Davies.

Data da defesa: 27/02/2009

Programa de Pós-graduação em Geociências.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

RAFAEL SOUZA DE FARIA

**LICÓFITAS GUADALUPIANAS DA BACIA DO PARANÁ: NOVOS DADOS MORFO-
ANATÔMICOS.**

Orientadora: Profa. Dra. Fresia Soledad Ricardi-Branco

Aprovada em: ____/____/____

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Fresia Soledad Ricardi-Branco

_____ - **Presidente**

Prof. Dr. George John Shepherd

Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies

Campinas, 27 de Fevereiro de 2009.

*Aos meus avós
José Evany e Maria Aparecida,
pelo carinho e sabedoria doados.*

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pelo constante apoio mesmo distantes, pelo eterno conforto quando próximos, e pelo insubstituível carinho em qualquer situação.

Agradeço à Profa. Dra. Fresia Ricardi Branco, pela amizade e orientação, não apenas me incitando a buscar o progresso da pesquisa paleontológica como do ensino desta tão fascinante disciplina.

Aos meus queridos colegas de bancada, em especial a Isabel, ao Jean e a Melina que se tornaram importantes amigos.

Sou grato ainda a todos meus outros grandes amigos, de momentos fora do laboratório, colegas da Unicamp, de morada, de balada, etc., em especial a Luciana, a Fran, ao André, ao Alê, ao Rafael (Japa) e a LÍlian.

À Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies, pela ajuda nos trabalhos de campo em Santa Teresinha, Piracicaba e pela disponibilização de muitas das amostras de tal afloramento como pela participação em minha banca.

Ao Prof. Dr. George John Shepherd, por me apresentar a linhagem Lycophyta e pela participação em minha banca.

À Dra. Margarita Torres de Ricardi, pela importante ajuda nas análises anatômicas.

Aos profs.drs. Paulo César F. Giannini e André O. Sawakuchi, pela disponibilização das amostras do afloramento da Castelo Branco.

Ao biólogo Luiz Eduardo Vieira Del Bem, pela ajuda nos trabalhos de campo em São Roque, Bofete e pelas amostras doadas.

Ao geólogo Fábio Branco, pela ajuda em todos os trabalhos de campo realizados.

Aos colegas do Departamento de Geologia e Recursos Naturais, em especial aos profs.drs. Giórgio Basilici, Alexandre Vidal e Sueli Yoshinaga pela amizade e pela boa vontade em me ensinar.

As funcionárias Valdirene, Edinalva e Helena, pela presteza e prontidão.

Ao CNPQ, pela bolsa de estudos adquirida.

À Fapesp, pelo projeto de auxílio a pesquisa “Bryophyta, Lycophyta e fitofósseis associados, do Guadalupiano da Bacia do Paraná” (processo 06/01365-9).

“O passado não reconhece o seu lugar: está sempre presente.”

Mário Quintana

ÍNDICE

Introdução	1
Sobre a linhagem Lycophyta	1
Sobre <i>Lycopodiopsis derbyi</i>	2
Contexto Geológico	4
Objetivos	5
Materiais e Métodos	6
Afloramentos	6
Amostras	14
Artigo 1: <i>Lycopodiosis derbyi</i> Renault from the Corumbataí Formation in the State of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, southern of Brazil): New data from compressed silicified stems	15
Artigo 2: <i>Lepidophylloides corumbataensis</i> sp. nov. do Guadalupiano da Bacia do Paraná, Brasil	44
Conclusões	71
Referências bibliográficas	82
Anexo: E-mail de resposta à submissão do Artigo 1 ao periódico <i>Review of Palaeobotany and Palynology</i>	88

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Mapa de localização dos afloramentos	7
Figura 2: Afloramento no bairro Santa Teresinha, Piracicaba, SP.	8
Figura 3: Afloramento na estrada de acesso a Fazenda Espólio José Francisco Vieira, em Bofete, SP.	9
Figura 4: Afloramento no espelho d'água dentro da Fazenda Espólio José Francisco Vieira em Bofete, SP.	10
Figura 5: Vista geral do afloramento do km 164 da SP280, SP.	11
Figura 6: Pedreira de Rio Preto, PR.	12
Figura 7: Afloramento de Canoinhas, SC.	13
Figura 1, Artigo 1: Mapa de localização dos afloramentos estudados	33
Figura 2, Artigo 1: Visão geral de alguns dos caules de <i>Lycopodiopsis derbyi</i> estudados	35
Figura 3, Artigo 1: Preservação do cilindro vascular nas compressões e almofadas típicas de <i>Lycopodiopsis derbyi</i> .	37
Figura 4, Artigo 1: Visão interna das almofadas e almofadas de maiores dimensões de <i>Lycopodiopsis derbyi</i> .	39
Figura 5, Artigo 1: Almofadas de maiores dimensões e almofadas pouco desenvolvidas de <i>L. derbyi</i> .	41
Figura 6, Artigo 1: Características anatômicas de <i>L. derbyi</i> .	43
Figura 1, Artigo 2: Mapa de localização dos afloramentos estudados	61
Figura 2, Artigo 2: <i>Lepidophylloides corumbataensis</i> em concentrações, associado a bivalves, a caules licofíticos e isolados.	63
Figura 3, Artigo 2: <i>Lepidophylloides corumbataensis</i> : ápice de um microfilo e cortes transversais dos mesmos.	65
Figura 4, Artigo 2: <i>L. corumbataensis</i> : Cortes longitudinais e espécime recristalizado.	67
Figura 5, Artigo 2: <i>L. corumbatensis</i> visto em MEV	69
Figura 7: Modelo ontogenético sugerido.	73

Figura 8: Relação entre a anatomia e a preservação.	74
Figura 9: <i>Lepidophylloides corumbataensis</i>	77
Tabela 1: Carófitas, briófitas, hepatófitas e licófitas encontradas no Grupo Passa Dois.	78
Tabela 2: Esfenófitas, filicíneas, pteridospermas e gimnospermas do Grupo Passa Dois.	80



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Licófitas Guadalupianas da Bacia do Paraná: Novos dados morfo-anatômicos

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Rafael Souza de Faria

Lycopodiopsis derbyi é a espécie à qual mais comumente se relacionam os fragmentos caulinares licofíticos encontrados em estratos guadalupianos da Bacia do Paraná. Tipicamente caracteriza-se por um cilindro vascular sifonostélico com o anel descontínuo cortado por raios medulares e pela presença de almofadas foliares rômbricas com vesícula infrafoliar e cicatrizes foliares sem sinais de páricnos. Microfilos fragmentados geralmente ocorrem associados aos caules. Aqui foram tomadas três localidades no estado de São Paulo (de afloramentos da Formação Corumbataí), uma no estado do Paraná e uma em Santa Catarina (ambas de afloramentos da Formação Teresina) para as quais se estudaram os caules e microfilos de licófitas encontrados. Os caules foram diagnosticados como *L. derbyi*. Análises morfológicas levaram a sugestão de um possível modelo ontogenético relacionando as almofadas foliares e o diâmetro dos ramos. Nas análises anatômicas interpretou-se o córtex de maneira diferente a de autores anteriores. Com base nos dados adquiridos propõe-se uma emenda à diagnose da espécie e ainda sugere-se uma modificação da chave de identificação de Thomas e Meyen (1984) para as *Lepidodendrales* do Paleozóico superior. Para os microfilos definiu-se uma nova organo-espécie com base em amostras de Piracicaba (SP), *Lepidophylloides corumbataensis*. Tal organo-espécie é a primeira do gênero formalmente descrita para o Brasil e possivelmente para o Gondwana. Representa ainda o primeiro registro de tecido paliçádico numa espécie de *Lepidophylloides*. A organização dos fexies de xilema em forma de crescente sugere uma proximidade às espécies da Catásia. A íntima associação com *Lycopodiopsis derbyi* indica que provavelmente representem as folhas dos mesmos. Comparando as ocorrências de microfilos estudadas nas formações Teresina e Corumbataí, concluiu-se que na primeira aqueles ocorrem em menores concentrações e sem anatomia preservada, indicando maior transporte.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Gudalupian Lycopods from the Paraná Basin: New morpho-anatomic data

ABSTRACT

Master degree dissertation

Rafael Souza de Faria

Lycopodiopsis derbyi is the most common species to which the lycopod stem fragments found in the Guadalupian strata from the Paraná Basin are assigned. A vascular cylinder represented by a siphonostele with a discontinuous ring crossed by medular rays and the presence of rhombic leaf cushions with infrafoliar bladders and leaf scars without any sign of pharichnos typically characterize the species. Fragmented microphylls occur in general associated with the stems. Here three localities in the state of São Paulo (from outcrops of Corumbataí Formation), one in Paraná state and one in Santa Catarina state (from outcrops of Teresina Formation) where lycopods stems and microphylls are found have been studied. The stems were diagnosed as *L. derbyi*. Morphological analyses suggest a possible ontogenetic model relating the leaf cushions to the branch diameter. In the anatomical analyses the cortex was interpreted differently from previous authors. Based on the data acquired an emended diagnoses is proposed for the species together with a modification of the Thomas and Meyen's (1984) identification key for the Upper Paleozoic Lepidodendrales. With regard to the microphylls, a new organo-species based on samples from Piracicaba (São Paulo state) was defined, *Lepidophylloides corumbatensis*. This organo-species is the first of the genus formally described for Brazil and probably for Gondwanaland. It also represents the first register of palisade tissue in a *Lepidophylloides* species. The xylem bundle organization in crescent shape suggests a close relation with the catasian species. The association with *Lycopodiopsis derbyi* indicates that they represent the leaves of the such stems. Comparing the microphylls studied from the Teresina and Corumbataí formations, the ones occurring in the first are commonly in lower concentrations and with no preserved anatomy, indicating more transport.

INTRODUÇÃO

Sobre a linhagem Lycophyta

A linhagem Lycophyta representa um grupo de ‘plantas vasculares sem sementes’ com uma história evolutiva que remonta ao Devoniano, ou possivelmente ao Siluriano (Taylor e Taylor, 1993). Dentre as sinapomorfias da linhagem estão a posição dos esporângios na axila ou na superfície adaxial das folhas, a deiscência transversal daqueles e a presença de folhas do tipo microfilas, caracterizadas por apresentarem em geral uma única unidade vascular não ramificada que parte do caule sem deixar lacuna (Judd et al., 2002).

Os licopódios, como são conhecidas popularmente as Lycophyta, são um grupo relictual, o que significa que a grande diversidade de tais plantas está extinta. Os cinco gêneros vivos se distribuem em três ordens: Lycopodiales (Pensilvaniano ao presente), Selaginellales (Pensilvaniano ao presente) e Isoetales (Cretáceo ao presente). Com relação a ordens extintas temos as Drepanophycales (restritas ao Devoniano), Protolepidodendrales (Devoniano ao Missipiano), Lepidodendrales (Devoniano ao Permiano) e Pleuromeiales (Triássico ao Cretáceo). A grande diversidade pretérita se deu principalmente pela Ordem Lepidodendrales cujos membros atingiram as maiores dimensões dentre as Lycophyta (Taylor e Taylor, 1993; Raven et al., 2005).

As Lepidodendrales são os elementos mais conspícuos em qualquer reconstrução da vegetação do Carbonífero, especialmente nos pântanos da Euramérica; nesse período tais plantas representavam a vegetação dominante. No Gondwana, as Lepidodendrales foram mais comumente distribuídas durante o Permiano (quando a ordem já se encontrava menos diversa e em declínio) e muitos fósseis são encontrados em estratos cisuralianos e guadalupianos (algumas vezes associados a níveis de carvão).

Os caules das Lepidodendrales (como de alguns outros licopódios extintos) são recobertos por almofadas foliares. A almofada foliar pode ser definida como a porção basal do micrófilo, intumescida e que permanece no caule mesmo após a abscisão daquele. Na almofada foliar podem existir a cicatriz foliar e a vesícula infrafoliar. A cicatriz foliar corresponde à marca da camada de abscisão do micrófilo. Temos uma falsa cicatriz foliar quando o microfilo é colapsado por outros processos que não uma abscisão natural, como por exemplo, por processos tafonômicos. A vesícula infrafoliar é um montículo (em contramoldes e em algumas compressões) ou uma depressão (nos moldes e em algumas compressões) relacionados a uma

região de aerênquima (Hirmer, 1927). Sobre a presença de lígula, esta é muito difícil de distinguir, principalmente em compressões-impressões, o que deve ser considerado antes de se estabelecer que um táxon é eligulado. Nos taxa ligulados a cicatriz ligular localiza-se logo acima da cicatriz foliar. Finalmente a filotaxia que como em qualquer licófito é espiralada, pode ser subdividida em dois tipos: sigillarióide quando a distância entre almofadas na mesma ortóstica é menor do que a distância entre ortósticas vizinhas e quando do contrário, lepidodendróide (Thomas e Meyen, 1984).

Os gêneros euramericanos de *Lepidodendrales* são, muitas vezes, distinguidos dos gondwânicos por suas almofadas foliares, uma vez que aqueles apresentam cicatrizes ligulares e páricnos. *Lepidodendron*, *Sigillaria* e *Lepidophloios* são os gêneros mais comuns de *Lepidodendrales* Euramericanas, enquanto *Lycopodiopsis*, *Lycopodiophloios*, *Brasilodendron* e *Bumbudendron* são os gêneros típicos do Gondwana Ocidental.

As *Lepidodendrales* gondwânicas brasileiras começaram a ser estudadas em fins do século XIX e provêm principalmente da Bacia do Paraná. *Brasilodendron pedroanum* Carruthers (Chaloner, 1979) e *Lycopodiopsis derbyi* Renault 1890 são os principais gêneros estudados. Enquanto a primeira espécie é comumente encontrada em camadas cisuralianas (Formação Rio Bonito) a última é típica do Guadalupiano da bacia (Formação Teresina/Corumbataí).

Sobre *Lycopodiopsis derbyi*

Lycopodiopsis derbyi foi descrito por Renault em 1890 através da análise de espécimes silicificados provindos de Piracicaba, SP, de estratos na época tidos como permo-carboníferos (provavelmente parte do que hoje se sabe é a Formação Corumbataí, e assim de idade permiana). O autor em sua descrição apontou diferenças de seus espécimes em relação à *Lepidodendron* e gêneros relacionados da Euramérica. Além do que já foi dito anteriormente das almofadas foliares sem sinais de lígula ou páricnos, há a presença de um cilindro vascular formado por um anel de xilema descontínuo.

Zeiller (1898), contudo, revisando os espécimes de Renault (1890) interpreta o cilindro como contínuo. Em sua opinião, as células formando os raios cortando o anel de xilema não seriam células da medula, mas traqueídes mal preservados. Tal interpretação é refutada por autores subsequentes como White (1908) que estudou novos espécimes da Formação Corumbataí, de Bofete (SP) e Steinmann (1924) que analisou um novo espécime de Piracicaba.

Tais autores confirmam a diferença anatômica apontada por Renault (1890) entre *Lycopodiopsis derbyi* e as *Lepidodendrales* da Euramérica.

Rao (1940) re-analisou o material de Steinmann (1924) que se encontrava depositado na Universidade de Bonn, e outra amostra coletada em Tatuí (SP), na época depositada na *École des Mines*, Paris. Edwards (1952) propõe uma sinonímia para *Lycopodiopsis derbyi* e a espécie sul-africana *Cyclodendron leslii*. Em 1961, em sua revisão das *Lepidodendrales* do Gondwana, Kräusel refuta tal sinonímia quando re-examina o espécime de Steinmann (1924) uma vez que as amostras estudadas por Renault (1890), por White (1908) e o espécime da *École des Mines* visto por Rao (1940) haviam sido perdidos.

Lemoigne e Brown (1980) apresentam uma diagnose emendada ao gênero *Lycopodiopsis* em que relatam a presença de cicatriz ligular. Thomas e Meyen (1984) em sua chave de identificação para gêneros de caules licofíticos do Paleozóico Tardio consideram *Lycopodiopsis* como ligulado. Bernardes-de-Oliveira e Rösler (1983) analisando amostras de Fluvíópolis (PR) mostram que em caules, os quais sofreram decorticação (processo comum nas *Lepidodendrales*, no qual o córtex vai perdendo as camadas mais externas) muitas vezes não se distingue qualquer limite entre as almofadas e as cicatrizes foliares. Tais espécimes são de difícil identificação e assim por questão de proximidade geográfica, litoestratigráfica e por prioridade nomenclatural acabam incluídos no gênero *Lycopodiopsis*. Alarcon (1998) estudando caules de Artemis (SP) diagnosticou diversas feições para as almofadas as quais relacionou com tipos diferentes de preservação e com a decorticação dos caules.

Do que se tem estabelecido para *Lycopodiopsis derbyi* sabe-se que a planta não atingia dimensões semelhantes às das *Lepidodendrales* euramericanas, nem mesmo às da espécie mais próxima, *Brasilodendron pedroanum* (Chaloner, 1979). Rao (1940), por exemplo, relata ramos com apenas 2 cm de diâmetro. Em relação às características anatômicas do caule há um sifonostelo que como dito possui um anel de xilema cortado por raios medulares. A medula apresenta células isodiamétricas no corte transversal que tendem a mais estreitas e alongadas longitudinalmente na periferia. No anel descontínuo os feixes de xilema são de maturação exarca e formam estruturas na forma de “Vs”, “Us” e “Ws”. Não há registro de xilema secundário (Renault, 1890; Rao, 1940; Kräusel, 1961).

Segundo Kräusel (1961) o córtex apresenta a zona mais interna composta de células pequenas e de paredes finas, que comumente se encontra destruída. Segue-se uma zona de células

de maiores dimensões e após tal o que se considera ser a periderme. Por fim, a porção mais externa do caule representa o tecido das almofadas foliares. Em relação a tais, tendem a ser romboidais com cerca de 4 a 5 mm de altura e 3,5 a 4 mm de largura (Renault, 1890). Uma cicatriz foliar verdadeira é observada na porção superior da almofada (cabe dizer que Lemoigne e Brown, 1890, no entanto, afirmam que a cicatriz foliar encontra-se localizada na porção inferior). Um montículo (ou depressão no caso dos moldes) pode ser visto na porção inferior da almofada, sendo essa estrutura a qual Thomas e Meyen (1984) denominaram vesícula infrafoliar. Não há presença de páricnos e com exceção de alguns poucos autores (Lemoigne e Brown, 1980; Alarcon, 1998) a cicatriz ligular é de difícil observação.

Têm-se relatado em alguns locais a associação de caules de *Lycopodiopsis derbyi* com microfílos isolados. Kräusel (1961) mostra a presença de microfílos silicificados em afloramentos em Porangaba e Piracicaba no estado de São Paulo os quais relaciona a *L. derbyi*, e de impressões relacionadas à *Lycopodiopsis* sp. provindas de Cêrro Chato, RS. Rohn et al. (1997a; 1997b; 1997c) em levantamento paleoflorístico menciona a presença dos mesmos microfílos silicificados associados a coquinas na Pedreira de Rio Preto, na estrada Irati-Guaramirim, no estado do Paraná, em afloramentos ao longo da PR 239 próximo a região de Cândido de Abreu-Reserva, também no Paraná e na BR 280 a 6 km de Canoinhas, SC. Menciona ainda a presença de grandes concentrações de microfílos isolados na Pedreira de Gonçalves Júnior, PR.

Contexto geológico

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhões de quilômetros quadrados e que acumulou sedimentos do Ordoviciano ao Neocretáceo (Milani et al., 2007). No território brasileiro a bacia ocupa os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e São Paulo (Petri e Fúlfaro, 1981).

Milani et al. (1998) reconheceu em tal registro seis unidades de ampla escala ou supersequências. A Supersequência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), de interesse no presente estudo, materializa um ciclo transgressivo-regressivo completo, fruto da invasão do Panthalassa sobre o interior do Gondwana (Milani et al., 2007).

Gondwana I constitui-se dos grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. O Grupo Passa Dois, unidade que contém as formações onde as licófitas em questão são encontradas representa um acúmulo de sedimentos do fim do Artinskiano ao Eotriássico. É composto da base ao topo pelas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. No estado de São Paulo, e em direção à paleomargem da bacia, as formações Serra Alta e Teresina gradam de pelitos com tons acinzentados a predominantemente vermelhos e diminuem em espessura. Por essa razão, tais depósitos são descritos como uma unidade designada Formação Corumbataí (Rohn, 2007).

A sedimentação nas formações Teresina e Corumbataí desenvolveu-se acompanhando uma definitiva tendência regressiva em grande escala que culmina no fechamento da bacia as incursões marinhas do oeste e no aprisionamento da mesma no árido interior continental do Gondwana mesozóico (Milani et al. 2007). É provável que o sistema deposicional se trate de um mar epicontinental raso sem conexão com o Panthalassa, uma vez que nenhum fóssil encontrado pode ser considerado verdadeiramente marinho (Rohn, 2007). As formações são incluídas na Zona *Lycopodiopsis derbyi* (Rohn e Rösler, 2000) e representam parte da unidade fitogeográfica Sulamericana-Indiana do Estágio Quatro definido por Cúneo (1996) para o Neopaleozóico do Gondwana.

OBJETIVOS

Como principais metas da dissertação aqui apresentada têm-se:

- ✓ A revisão da literatura a respeito das Lycophyta das formações Teresina e Corumbataí;
- ✓ O estudo morfanatômico e sistemático dos fragmentos de ramos de Lycophyta encontrados em três afloramentos da Formação Corumbataí: no bairro Santa Teresinha em Piracicaba (SP), no bairro São Roque Novo em Bofete (SP) e no km 164 da SP 280, Rodovia Castelo Branco;
- ✓ O estudo morfo-anatômico e sistemático dos microfilos silicificados geralmente associados aos ditos ramos nos afloramentos de Piracicaba e Bofete;
- ✓ A análise comparativa entre os microfilos mencionados e os encontrados em outros dois afloramentos da Formação Teresina, na Pedreira de Rio Preto (PR) e em Canoinhas (SC);

- ✓ A análise das possíveis informações tafonômicas e paleoambientais dos caules e microfilos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

Afloramentos

No total fizeram parte do estudo cinco localidades (**Figura 1**):

1. Afloramentos da Formação Corumbataí:

- Em Piracicaba, no bairro Santa Teresinha (22°40'04,4"S / 47°42'23,5"W) afloram siltitos de cores avermelhadas onde são encontrados níveis de concentrações de microfilos silicificados (algumas vezes chegam a mais de cinco centímetros) associados em alguns casos a caules ou a impressões destes. Frondes de *Pecopteris* sp. também são comuns (Tavares, 2007). As rochas afloram num pasto e muitas das amostras coletadas foram encontradas como blocos rolados. A vegetação de cobertura dificultou a identificação dos níveis de onde provinham as amostras (**Figura 2**).
- Em Bofete, nos arredores da Fazenda Espólio José Francisco Vieira (Juquinha), no bairro São Roque Novo foram prospectados afloramentos contendo licófitas na estrada de acesso a fazenda (23° 3' 51,9"S / 48° 10' 13"W) e dentro da mesma, num espelho d'água (23° 3' 24,5"S / 48° 9' 43,3"W). Aqui também são comuns os siltitos avermelhados com níveis de concentrações de microfilos associados a caules silicificados. Não foram encontradas frondes de *Pecopteris* sp. ou outras plantas (**Figuras 3 e 4**).

- No km 164 da SP 280, Rodovia Castelo Branco ($23^{\circ} 14' 01,4''\text{S} / 48^{\circ} 08' 24,8''\text{W}$) foram coletados fragmentos muito bem preservados de caules de Lycophyta, alguns deles com mínima compressão. Tais fragmentos foram coletados pelos professores Paulo César Giannini e André Oliveira Sawakuchi do Instituto de Geociências, USP. Realizou-se nova prospecção na tentativa de coletar mais espécimes, mas nada foi obtido. Aqui afloram siltitos menos avermelhados, acinzentados em geral, intercalados a arenitos finos com lentes carbonáticas (**Figura 5**).



Figura 1: Mapa de localização dos afloramentos.



Figura 2: Bairro Santa Teresinha, Piracicaba, SP. **A, B.** Vista geral do pasto onde as amostras foram encontradas roladas. **C.** Vista da estrada de acesso onde também são comuns os fósseis rolados.



Figura 3: Afloramento na estrada de acesso a Fazenda Espólio José Francisco Vieira, em Bofete, SP. **A.** Vista geral. **B.** Detalhe onde são apontados dois níveis onde ocorrem concentrações de microfósseis. **C, D.** Detalhe dos níveis fossilíferos. Em D a seta aponta um microfóssil.



Figura 4: Afloramento no espelho d'água dentro da Fazenda Espólio José Francisco Vieira em Bofete. Em A, a seta aponta um nível onde são comuns caules e microfílos. Em B, outro nível onde os microfílos encontram-se orientados. Em C, um detalhe de B com os microfílos *in situ*.



Figura 5: Vista geral do afloramento do km 164 da SP280.

2. Afloramentos da Formação Teresina:

- A Pedreira de Rio Preto (**Figura 6**) se localiza na rodovia que liga as cidades de Irati e Guaramirim, a 12,6 km da saída de Irati, estado do Paraná, ($25^{\circ} 31' 30,3''\text{S} / 50^{\circ} 44' 54,0'' \text{W}$). É composta de dois platôs onde predominam seqüências pelíticas, com intercalação de arenitos finos e carbonatos. No primeiro platô há ocorrência de briófitas e carófitas associadas. Já no segundo platô, ocorrem coquinas contendo conchas de moluscos bivalves e microfósseis permineralizados (Rohn et al., 1997; Cortez, 2008).
- O afloramento de Canoinhas (**Figura 7**) se localiza na BR 280, a 6,2 km do trevo principal da cidade na direção de Porto União, no estado de Santa Catarina ($26^{\circ} 12' 00,7''\text{S} / 50^{\circ} 26' 01,2''\text{W}$). Rohn et al. (1997a) descreve para tal a presença de siltitos cinza com acamamento *wavy* e bioturbações, de arenitos finos esbranquiçados e calcários oolíticos com pelecípodes e restos de peixes. Para o topo há um nível coquinóide onde são encontrados bivalves e microfósseis, semelhante à Pedreira de Rio Preto.



Figura 6: Pedreira de Rio Preto. A. Vista geral. B. Platô inferior. C. Platô superior; a seta aponta o nível coquinóide.

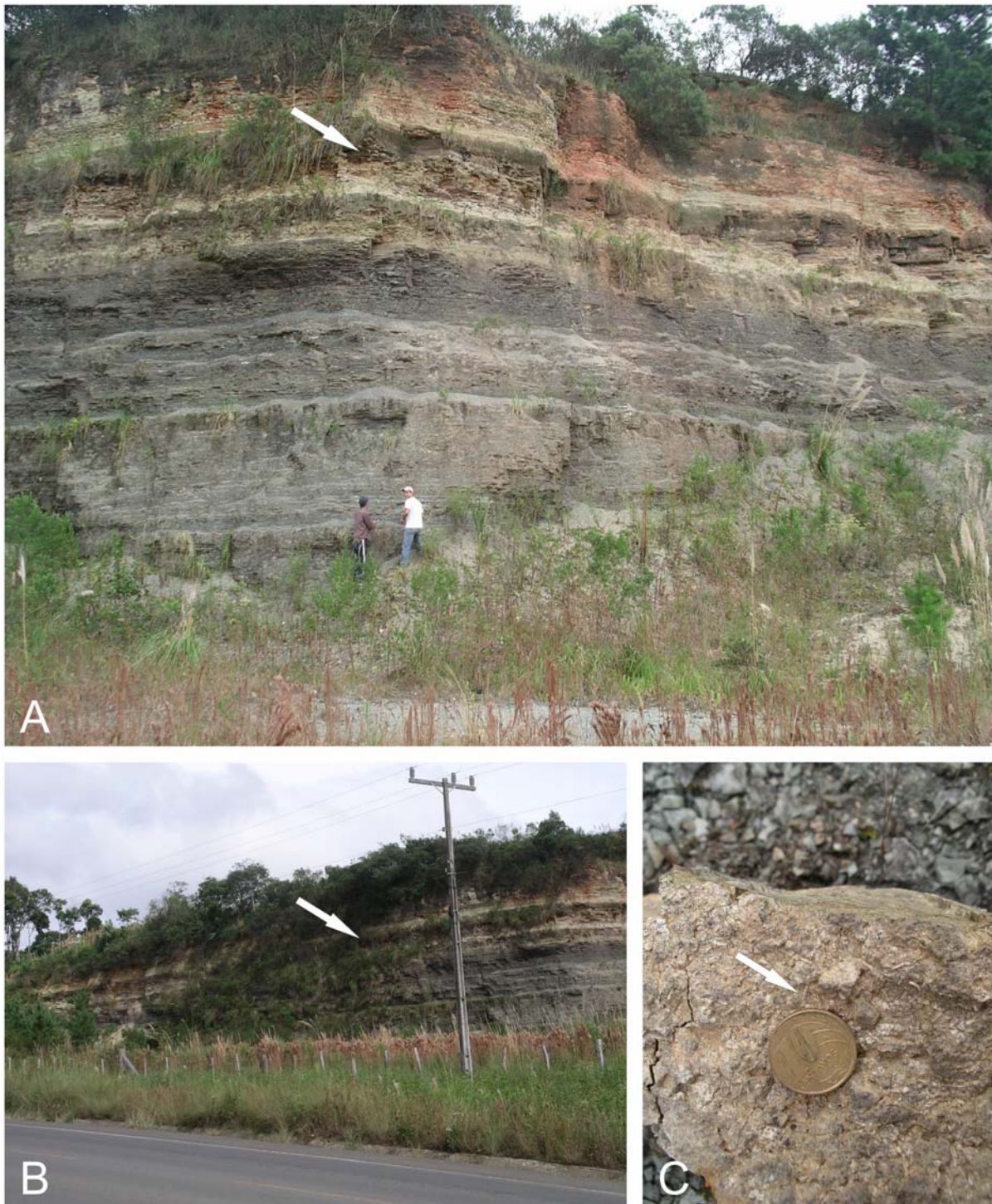


Figura 7: Afloramento de Canoinhas. **A, B.** Vista geral; a seta aponta o nível coquinóide. **C.** Detalhe de um bloco rolado onde se observam microfós (seta).

Amostras

Os caules foram coletados dos afloramentos de Santa Teresinha, em Piracicaba, de São Roque Novo, em Bofete e do km 164 da SP 280 (Rodovia Castelo Branco). Em grande parte dos casos encontram-se silicificados e sofreram compressão. Alguns caules, no entanto, se preservaram como impressões. Um ramo silicificado de por volta de 1,5 cm de diâmetro, amostra CPE1/241, provindo do km 164 da Castelo Branco, pouco deformado pela compressão, foi seccionado e forneceu três lâminas delgadas.

Amostras de microfílos foram coletadas também em Piracicaba e Bofete além dos afloramentos da Pedreira de Rio Preto e de Canoinhas. Nos dois primeiros afloramentos os microfílos são encontrados em concentrações que em alguns casos formam verdadeiras “coquinas” de folhas. Em outros as camadas contendo microfílos são menos espessas e aqui muitas vezes eles encontram-se orientados. Os microfílos estão silicificados, fragmentados e cimentados. Nas concentrações há uma pequena associação com conchas de moluscos bivalves e com porções de caules de licófitas. Nos depósitos da Pedreira Rio Preto (PR) e de Canoinhas (SC) os microfílos não se encontram em concentrações altas como em Piracicaba e Bofete e, além disso, sua anatomia está muito menos preservada. A associação com conchas de bivalves é muito maior; não se constata, porém, a presença de porções caulinares de licófitas.

Para a análise anatômica foram produzidas lâminas delgadas polidas a partir das “coquinas” de Piracicaba. No caso das amostras da Pedreira Rio Preto e de Canoinhas os microfílos foram manualmente retirados da matriz com o auxílio de uma pinça e para a confecção das lâminas delgadas foram imersos em uma resina. Durante a imersão preocupou-se em ordenar os microfílos de forma a propiciar a secção transversal ou longitudinal.

Todas as amostras de caules (CPE1/89, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 100, 103, 105, 106, 107, 109, 110, 112, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 161, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 179, 240, 241, 242 e 244) e de microfílos (CPE1/19, 21, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 92, 101, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 164, 165 e 247) estudadas se encontram depositadas na Coleção Científica de Paleontologia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

ARTIGO 1

***Lycopodiopsis derbyi* Renault from the Corumbataí Formation in the State of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, Southern Brazil): New data from compressed silicified stems**

Rafael Souza de Faria

Department of Geology and Natural Resources, Institute of Geosciences, University of Campinas – UNICAMP. Postal Code: 6152, CEP: 13083-970, Campinas, São Paulo, Brazil. Fax Number: 0551935214552. Phone Number: 0551932891562. E-mail: rafaelfaria@ige.unicamp.br

Fresia Ricardi-Branco.

Department of Geology and Natural Resources, Institute of Geosciences, University of Campinas – UNICAMP. Postal Code: 6152, CEP: 13083-970, Campinas, São Paulo, Brazil. E-mail: fresia@ige.unicamp.br

Paulo César F. Giannini

Department of Sedimentary and Environmental Geology, Institute of Geosciences, University of São Paulo – USP. CEP 05508-080, São Paulo, São Paulo, Brazil. E-mail: pcgianni@usp.br

André O. Sawakuchi

Department of Sedimentary and Environmental Geology, Institute of Geosciences, University of São Paulo – USP. CEP 05508-080, São Paulo, São Paulo, Brazil. E-mail: andreos@usp.br

Luiz Eduardo Vieira Del Bem

Department of Genetics and Evolution, Institute of Biology, University of Campinas – UNICAMP. Postal Code: 6010, CEP: 13083-875, Campinas, São Paulo, Brazil. E-mail: dudelben@gmail.com

Submetido ao periódico Review of Paleobotany and Palynology em 13 de Dezembro de 2008.

Abstract: *Lycopodiopsis derbyi* Renault was analyzed on the basis of compressed silicified stems from four outcrops in the state of São Paulo, Brazil. These outcrops are of the Corumbataí Formation (Guadalupian of the Paraná Basin). A possible model for the development of these lycopods was proposed relating the diameter of the stems studied with the variation of the morphology of the leaf cushions. One of the best preserved stems which had undergone only slight compression made it possible to produce thin sections, which furnished anatomical data. The vascular cylinder is identical to those described for *L. derbyi*, but the cortex is interpreted differently. An emended diagnosis for *L. derbyi* is presented based on the new data and it is also suggested a modification of the identification key published by Thomas and Meyen in 1984 for Upper Paleozoic Lepidodendrales.

Key words: Lycopods; *Lycopodiopsis*; Guadalupian; Paraná Basin.

1. Introduction

Commonly known as club mosses or lycopods, the Lycophyta are “seedless vascular plants” with an evolutionary history that began in the Devonian, or possibly in the Silurian (Judd et al. 2002). The five extant genera are distributed in three monotypical orders: Lycopodiales (Pennsylvanian to present), Selaginellales (Pennsylvanian to present) and Isoetales (Cretaceous to present). These plants showed great diversity in the past, especially in relation to members of the extinct Order Lepidodendrales (Devonian to Permian) whose members were typically the largest of the Lycophyta (Raven et al. 2005).

The Lepidodendrales are the most conspicuous elements in any reconstruction of Carboniferous vegetation, especially in Euramerican swamps. In Gondwanaland, the Lepidodendrales were commonly widespread in Permian (when the lineage was already in global decline), and many of their fossils are found today in Cisuralian and Guadalupian strata, often associated with coal deposits.

The boreal genera of this order are typically distinguished from the austral ones by their leaf cushions, since the former clearly present ligular scars (just above the leaf scars) and parichnos scars (generally two located beside the vascular bundle and another two at the bottom of the leaf cushion). *Lepidodendron*, *Sigillaria* and *Lepidophloios* are the most common genera of the boreal Lepidodendrales, while *Lycopodiopsis*, *Lycopodiophloios*, *Brasilodendron* and *Bumbudendron* are typical austral genera (Chaloner, 1967).

In Brazil, the Lepidodendrales have been described in Cisuralian and Guadalupian strata of the Paraná Basin (Rio Bonito Formation and Teresina and Corumbataí formations, respectively). *Brasilodendron pedroanum* Carruthers (Challoner, 1979; Ricardi-Branco and Torres, 2003) and *Lycopodiopsis derbyi* Renault (Lemoigne and Brown, 1980) are the species which have been the subject of most of the research realized in the basin.

The main objective of this work is the investigation of lycophyte stems from four outcrops of Corumbataí Formation in the state of São Paulo where they have never been studied. Morphologic and anatomic analysis confirmed the presence of *Lycopodiopsis derbyi* in those outcrops. Moreover, we suggest a possible ontogenetic model for the *L. derbyi* leaf cushions. An

emended diagnosis for *L. derbyi* and a modification of the identification key published by Thomas and Meyen in 1984 for upper Paleozoic Lepidodendrales are also presented.

2. Geologic context

The Paraná Basin is an intracratonic basin of sediments accumulated from Silurian to Cretaceous times. It extends for some 1.750.000 km² throughout Brazil, Argentina, Uruguay and Paraguay. In Brazilian territory, it occupies 1.150.000 km² in the states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais and São Paulo (Petri and Fúlfaro, 1981; Zalán et al., 1991; Souza, 2006).

According to Milani (1997) and Milani and Zalán (1999), six supersequences encompass the entire sedimentary record of this basin. The Passa Dois Group, which contains the formation where the fossils were found, represents the transgressive facies of the Gondwana I Supersequence, and is constituted by heterogeneous faciological associations, reflecting environments that vary from lagoonal/marine (Irati Formation) and marine (Serra Alta and Teresina formations) to continental in the Rio do Rastro Formation.

In the State of São Paulo, from SW to NE, in direction to the paleomargin of the basin, the Serra Alta and Teresina formations grade from gray to predominantly red pelites and decrease in thickness (about 120 m in the Piracicaba region). For this reason, these deposits are described to a unit designated Corumbataí Formation, although no clear boundary can be established on maps and at subsurface with the southern lithostratigraphic units.

The deposition of the Corumbataí Formation probably took place along in an inland epicontinental sea. It was influenced by climatic variations, which may have been involved in controlling variations in water level and salinity. At the marginal regions, the wave energy was minimal, damped by friction along a broad shallow shelf. No formally described fossil from the formation can be considered to be truly marine, so this inland sea was probably not directly connected to the ocean (Rohn, 2007).

The formation is included in the *Lycopodiopsis derbyi* Zone (Rohn and Rösler, 2000) and represent part of the phytogeographic Southamerican-Indian Unity from Stage 4 defined by Cúneo (1996) for the Late Paleozoic of Gondwanaland

3. *Lycopodiopsis derbyi* Renault 1890

Renault described *Lycopodiopsis derbyi* in 1890 while analyzing silicified stems from Piracicaba, found in strata at the time classified as Permo-Carboniferous, though today these strata would probably be considered part of the Corumbataí Formation, and are thus of Permian age. The author pointed out differences in his specimens in relation to *Lepidodendron* and other related genera, mainly the discontinuous central cylinder found in the Brazilian material. Zeiller (1898), however, reviewed Renault's specimens and thought that the cylinder was probably continuous. In his opinion, the cells forming the rays crossing the xylem ring would be badly preserved vessels, not pith cells. This interpretation was not convincing to many authors, such as White (1908) who studied new specimens from strata of the Corumbataí Formation in Bofete (SP) and Steinmann (1924), who like Renault, analyzed a specimen from Piracicaba. The latest analysis confirmed the anatomical differences between *Lycopodiopsis derbyi* and the Euramerican *Lepidodendrales*.

Rao (1940) reanalyzed Steinmann's material, deposited in the University of Bonn, and other specimen collected in Tatuí (SP) at that time, deposited in the École des Mines, Paris. In his 1961 review of the *Lepidodendrales* of Gondwanaland, Kräusel also re-examined Steinmann's specimen but the original samples analyzed by Renault, White's material, and the specimen from the École des Mines studied by Rao (1940) had been lost.

These authors reported that *Lycopodiopsis derbyi* was probably a small plant, branches having about 2 cm of diameter (Rao, 1940). Their anatomical description reports the presence of a siphonostel without any secondary tissue. The pith generally is about 2 mm in diameter and shows isodiametric cells that become elongated and narrower at the periphery. The vascular ring is discontinuous and dissected by pith rays with the xylem bundles united in the internal portion of the ring, apparently forming structures like 'Vs', 'Us' or 'Ws'. External to the xylem ring is a

zone of smaller cells, interpreted as the phloem; outside these cells are the leaf traces; all these more external tissues are also crossed by the pith rays.

Their analysis divides the cortex into two portions, an internal one about 6 to 7 mm wide, with small thin-walled cells (commonly destroyed during preservation), and an external one about 3 to 4 mm wide, with cells in general of larger dimensions. The cortex is surrounded by a tissue of small cells interpreted as the periderm. Leaf traces are commonly seen on the external portion of the cortex. Outside the periderm is the leaf cushions tissue (Rao, 1940; Kräusel, 1961).

The leaf cushions tend to be rhomboid and are 4 to 5 mm high and 3,5 to 4 mm wide (Renault, 1890). A leaf scar can be observed in the upper portion of the cushion; on the other hand, Lemoigne and Brown (1980) describe leaf scars in the lower portion. A swelling (or a depression in the case of a mold), the so called infrafoliar bladder, can be observed at the bottom of the cushion (Thomas and Meyen, 1984). The leaf scars show the vascular trace but lack parichnos scars. Moreover, the cushions fail to reveal the presence of a ligular scar (although Lemoigne and Brown (1980) do report the presence of ligular scars in their samples).

4. Material and Methods

4.1 Outcrops

The fossils were collected from four outcrops in the state of São Paulo (**Figure 1**), representing strata from the upper portion of the Corumbataí Formation. These outcrops are located in the Santa Teresinha area of the municipality of Piracicaba (22°40'04,4''S / 47°42'23,5''W), in São Roque Novo area of the municipality of Bofete (one at 23° 3' 51,9'' S/ 48° 10' 13''W and another at 23° 3' 24,5'' S/ 48° 9' 43,3''W) and at kilometer 164 of the State Highway SP 280.

They are typically characterized by red siltstones with subsidiary intercalations of sandstones and limestones; the lycopod stems occasionally found are commonly associated with microphylls and pecopterids. In Piracicaba outcrop it were collected the samples CPE1/89, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 100, 103, 105, 106, 107, 109, 110, 112, 111, 113, 114, 115, 116, 117 and

161. In Bofete it were collected the samples 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 178, and 179. The samples CPE1/240, 241, 242 and 244 were collected from kilometer 164 of SP 280.

4.2 Samples

The stems are preserved either as compressed silicifications or impressions in red siltstones. A silicified branch of approximately 1,5 cm in diameter, Sample CPE1/241, which had undergone only slight compression, provided three thin sections which made it possible to combine anatomic analyzes with morphologic ones. All the samples studied are deposited in the Scientific Paleontology Collection of the Institute of Geosciences of the University of Campinas.

The morphological aspects of all the samples were studied using observation in a stereomicroscope. Measurements of the features were made both from line drawings using a caliper and from digital photographs using Zeiss Axiovision release 4.5 software. The transverse sections were studied and photographed under a light microscope. The measurements again were made using Zeiss Axiovision release 4.5 software. The thin sections' pictures were localized using the England Finder.

5. Results

The systematics analysis of the thirty-five stems studied confirmed the presence of:

Phylum LYCOPHYTA

Order LEPIDODENDRALES (*sensu* Chaloner, 1967)

Family LYCOPODIOPSIDACEAE (*sensu* Chaloner, 1967)

Genus *Lycopodiopsis* Renault, 1890 (Lemoigne and Brown, 1980)

Lycopodiopsis derbyi Renault, 1890 *emend.*

Figures 2, 3, 4, 5 and 6

Holotype: Renault 1890, Figures 1-5 (material lost)

Lectotype: CPE1/240

Paralectotypes: Typical cushions: CPE1/89, 91, 92, 96, 97, 98, 100, 103, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 170, 171, 175 and 178. Larger cushions: CPE1/93, 173, 174 and 176). Smaller cushions: CPE1/ 241, 242 and 244. Internal view: CPE1/95, 117, 169, 179 and 172.

Repository: Institute of Geosciences, University of Campinas, Campinas, Brazil.

Stratigraphic horizon: Corumbataí Formation, Guadalupian.

Type locality: Piracicaba, São Paulo, Brazil.

Emended diagnosis: Smaller branches with incipient leaf cushions interspersed among attached microphylls. Intermediate cushions rhomboid to almost circular, with upper-portion leaf scars and in the lower portion infrafoliar bladders. Mature cushions rhomboid with upper rebord arch enclosing leaf scars. No trace of pharichnos. Lepidodendroid phyllotaxy with even parastichies and commonly indistinct orthostichies. Vascular cylinder is a siphonostele with a discontinuous ring of exarch xylem bundles. Pith cells isodiametric and larger at the center than at the periphery. Cortex represented by four zones: an internal badly preserved parenchyma, a thin zone of fibers, an elongated cell tissue and the external collenchyma. Foliar traces circling the vascular cylinder at the internal cortical zone and with radial portions crossing all the cortex.

Description: The stems are in the great majority silicified branches with high levels of compression. The smaller ones show a diameter of approximately 1,5 cm in the less compressed samples (**Figure 2B**). The bigger branches have around 7 cm of diameter, although in these cases there are only high compressed samples (**Figure 2F**). Some of branches must probably have a bigger diameter than this as they have bigger leaf cushions, but here are preserved only as fragments (**Figure 2G**). Samples show dichotomized branches (**Figures 2A, 2C and 2D**).

The external features of the stems studied show leaf cushions in the great majority of samples like those described for *Lycopodiopsis derbyi*. However, three specific variations in some of these features are found. The first of these is actually an internal view of the cushion with the outline being indistinct and the only detail visible an arc around a hole. The other two variations both provide an external view of the cushions, but in one case, all features are much larger than the traditional description, whereas in the other, the features are only incipiently present and part of the leaf is frequently still attached.

The majority of cushions are thus generally rhomboid to almost circular, revealing in the upper-portion leaf scars and in the lower portion infrafoliar bladders. Leaf scars with singular vascular traces, but without pharichnos pits. Lepidodendroid phyllotaxy with even parastichies and commonly indistinct orthostichies. No apparent ligular scar (**Figures 3B, 3C and 3D**).

These cushions are typically 4.2 mm high (from 2.2 to 6.1 mm) with an average width of 3.3 mm (from 2.5 to 4.5 mm). Infrafoliar bladder typically occupying the whole lower half of the cushion, often with preserved elongated cells on surface. Leaf scars rounded, with an average diameter of 1mm (from 0.7 to 1.3 mm). The vascular trace, a circular pit or mark, with an average diameter of 0.5 mm (from 0.3 to 0.6 mm).

Variations include both larger and smaller leaf cushions. Larger cushions similar to the above described, but more clearly rhomboid, with an average height of 8.9 mm (from 7.5 to 11.8 mm) and average width of 6.1 mm (from 5.3 to 7.2 mm). Leaf scars circular to slightly oval, with average diameter of 1.7 mm (from 1.4 to 1.9 mm). Centralized vascular trace of 0.5 mm in diameter (from 0.3 to 0.7 mm). External limit of the cushion evidences 1.8 mm thick rebord arch enclosing leaf scars and descending to infrafoliar bladders (**Figures 4G, 4H and 5A**). Smaller branches evidence to inexistent leaf cushions with incipient leaf scars and infrafoliar bladders, interspersed among attached microphylls traces (**Figures 5C and 5D**). Under view of well-developed leaf cushions detached cortex shows greatly thickened arch development around a deep ovoid pit (**Figures 4A, 4B and 5B**).

As for the anatomy, the thin sections studied came from a 1.5 cm diameter branch. The vascular cylinder of some 4.8 mm in diameter is represented by a typical siphonostele with a discontinuous ring of exarch xylem bundles (**Figures 6A , 6B and 6C**). The pith composed of

isodiametric cells has a diameter of approximately 1.9 mm, with inner cells (48 μm in diameter) being larger than those on the periphery (30 μm), **Figures 6C and 6D**. The width of the vascular ring is an average of 681 μm . This ring presents an apparent division into two parts, an internal ring of xylem bundles and an external ring of vascular traces (**Figures 6B and 6D**). Both rings are discontinuous, separated by badly preserved cells which have been interpreted as medular cells. The inner cells of the exarch xylem bundles are 48 μm in diameter, with the outer cells approximately 25 μm . The leaf traces are quite irregular and indistinct.

Outside the vascular cylinder is a four-zoned cortex (**Figure 6E**). The most internal one consists of parenchymatous polygonal cells (in most cases hexagonal), that vary in size from 43 to 65 μm in diameter (average of 50 μm). The inner portion of this internal zone is commonly badly preserved, although the outer portion reveals the foliar traces. Commonly the traces circle the cylinder with perpendicular rays cutting through the entire cortex (**Figures 6E and 6F**). On the circular portion the cells are slightly tangentially elongated, whereas in the perpendicular part, they are slightly radially elongated. The width of the circular path of these leaf traces reaches some 284 μm , while the width of the perpendicular paths an average of 340 μm . Cells along the circular path are approximately $55 \times 65 \mu\text{m}^2$ (L1xL2; with L1 representing the radial length and L2 representing the tangential length) whereas those on the perpendicular path are generally $70 \times 50 \mu\text{m}$ (L1xL2).

The second zone consists of two to four layers of small, thick-walled isodiametric cells, with an average diameter of 54 μm **Figures 6F and 6G**). This zone extends for approximately 100 μm . The next zone consists of three to five layers of radially elongated thin-walled cells measuring approximately $58 \times 36 \mu\text{m}$ (L1xL2). This zone extends for an average of 230 μm (**Figures 6G and 6H**). The preserved portion of the outside zone has an average thickness of 369 μm and is composed of thick-walled isodiametric cells approximately 54 μm in diameter (**Figures 6F, 6G and 6H**).

Discussion: Variations in the leaf cushions may reflect developmental changes, ranging from incipient cushions scattered among attached microphylls on 1.5 cm compressed branches (**Figures 2A, 2B and 5C**) to fully developed ones on obviously much larger (although only isolated segments are available for study, they reach diameters up to 7.5 cm, **Figures 2F and**

2G). The fact that the variations in the leaf cushion are correlated to differences in branch thickness suggests the link between cushion characteristics and developmental stage of branches. Possible developmental trends can thus be identified. The smaller (young) branches have functionally microphylls (**Figure 5C**). As the branch matures (increases in diameter), the microphylls are abscised and the leaf cushions begin to develop, becoming larger to accompany the growth of the branch, and the 3x2 mm cushion (**Figure 5D**) grows into a 9x6 mm one (**Figures 4C and 4D**). This development in size is accompanied by the maturation of the cushion, until in the presumably mature cushion the superior edge has developed into a thick rebord.

In relation to the thin sections, they were made from a compressed stem apparently similar to specimen of Steinmann (1924), also studied by Rao (1940) and Kräusel (1961). As is characteristic of *L. derbyi* a siphonostele with a discontinuous xylem ring was found. The diameter of pith is similar to that reported by Rao (1940) and as in his work, it was not observed any secondary xylem. Rao (1940) and Kräusel (1961) also describe the form of pith cells as being slightly larger at the center than at the periphery, as reported here.

In Rao (1940) little is said about the cortex. Kräusel (1961) however, describes a cortical region divided into two portions, with an internal cortex of 6 to 7 mm in width and an external cortex of 3 to 4 mm. The internal cortex is described as having smaller cells than the external part, although in most cases it was badly preserved. The analysis of the samples studied here, however, suggest that what Kräusel (1961) refers to as a two-zoned cortex is only a single parenchyma zone, since the preserved cells appear to be the same throughout, although they are often badly preserved (**Figure 6**), which may indeed reflect thinner cell walls as alleged by Kräusel (1961).

In the most peripheral part of the external cortex, Kräusel (1961) reports a decrease in the cell dimensions and an increase in the thickness of the cell walls. He interprets this region as a periderm. Here it was also observed this region of smaller thicker cells, 2 to 4 layers (**Figures 6F and 6H**). It was interpreted as a layer of fibers because of their position, since periderm tissue would normally be found peripherally. The third zone described of elongated cells outside the fibers was not mentioned by Kräusel (1961) in his work (**Figures 6G and 6H**). It is suggested that due to their thin walls, they may not have been preserved in his samples. Finally the fourth

zone described could possibly be related to collenchyma cells, due to their thick walls (**Figures 6F, 6G and 6H**).

6. Remarks to Thomas and Meyen identification key

Thomas and Meyen (1984) recognized the difficulty involved in identifying compressions/impressions of Lepidodendrales, and created an identification key for the 25 known Upper Paleozoic genera, including the main characteristics of taxonomic importance. Among these genera are *Brasilodendron* and *Lycopodiopsis*, frequently found in Brazil. Various issues in relation to the classification of *Lycopodiopsis* should be reconsidered.

The steps involved in the identification of *Lycopodiopsis* include the following. In bold the steps leading to *Lycopodiopsis*:

1.a. Stems ligulated.....	2
b. Stems eligulated.....	13
2.a. Leaf cushions with infrafoliar bladders.....	3
b. Leaf cushions with no infrafoliar bladders.....	5
3.a. Leaf cushions longitudinally elongate.....	<i>Tomiodendron</i> Radczenko emend. Meyen 1972
b. Leaf cushions isodiametric or transversely elongated.....	4
4.a. Branching of stems known.....	<i>Valmeyerodendron</i> Jennings 1972
b. Branching of stems not known.....	<i>Angarodendron</i> Zalesky emend. Meyen 1976
.....	<i>Lycopodiopsis</i> Renault emend. Lemoigne and Brown 1980

The problems with this key involve steps one and four. Although some authors have described a ligular scar for *Lycopodiopsis* the great majority have not reported this feature. However, the lack of a ligular scar may be the result of the phase of development of the plant, so one must be aware of the problems involved in its observation. It is, however, likely that

Lycopodiopsis did not have a ligule, although here is maintained the characteristic of ligule presence.

Step four must be modified, since here it was found two examples with dichotomous branching (**Figures 2A, 2C and 2D**). It is proposed then, an adaptation of the key of Thomas and Meyen to accommodate these recently-acquired data about *Lycopodiopsis*. The original key include the following:

- 4.a. Branching of stems known.....*Valmeyerodendron*
- b. Branching of stems not known.....*Angarodendron*
-*Lycopodiopsis*

The proposal:

- 4.a. Branching of stems known.....4'
- b. Branching of stems not known.....*Angarodendron*
- 4'.a. Main axis approximately up to 3 cm in diameter..... *Valmeyerodendron*
- b. Main axis wider than 3 cm in diameter..... *Lycopodiopsis*

This modification will not only upgrade the key to include the discovery of dichotomized branches of *Lycopodiopsis*, but also solve the problem of a key lead ending in more than one genus. The original key does not distinguish between the genera *Angarodendron* and *Lycopodiopsis*. Here, it is possible to distinguish between *Lycopodiopsis* and *Valmeyerodendron* because the later has a main axis approximately of 3 cm in diameter (Jennings, 1972) and we clearly show that *Lycopodiopsis* must have a wider main axis (isolated compressed fragments reaching 7.5 in diameter, **Figures 2F and 2G**).

7. Paleoenvironmental aspects

As already mentioned the Corumbataí Formation was deposited in a shallow inland sea, with very low energy at the margin. Deposition would thus have been influenced by climatic variations, which would have controlled variations in water level and, consequently, salinity (Rohn, 2007). Since lycophytes need water to reproduce, they probably lived along the margins of this sea. Some of the silicified stems from the Corumbataí Formation are commonly associated with concentrated beds of isolated microphylls, also silicified. These beds may have been deposited during storm events, although the silicification of the plants probably took place before, and probably during hotter and drier periods. It is clear that the majority of the fossils studied are allochthonous, rather than parautochthonous (especially the stems associated with the leaf beds) because they are badly fragmented.

8. Conclusions

The analysis of relation of the diameter of the stems studied to the morphology of the leaf cushions suggests that the differences observed are related to the stage of development of the plants. It was seen that for the smaller branches, where leaf abscission is at best quite recent, the cushions are not very well developed, resulting in practically no swelling of the lower part. This would indicate an infrafoliar bladder in the initial stage of development; moreover many of the microphylls are still visible. As the diameter of the stem increases, the cushions develop their typical rhombic form, with the infrafoliar bladder becoming more pronounced. At this stage, all of the microphylls have abscised leaving visible leaf scars. As the stems grow even thicker, the upper border of the cushion develops into a pronounced arch.

It was clear that in many of the silicified stems only the vascular cylinder and the external tissue were preserved. The anatomical analysis of one exceptionally well preserved stem made it possible to understand what had happened. The cortex has various zones, with that towards the center of the stems composed of thin-walled isodiametric parenchyma, separated by 3 or 4 layers of small fibers from a zone of elongated and also thin-walled cells. From these, only the fibers tend to be preserved. On the other hand, the zone outside the elongated cells is composed of isodiametric thick-walled ones, such as a collenchyma. It is believed that this zone would have been preserved during silicification.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the collaboration of Rosemarie Rohn (Institute of Geology and Exact Sciences, State University of São Paulo) for the help at the field work and for the donation of many of the samples from Piracicaba, and the collaboration of Margarita Ricardi Torres (Botanic Garden Center, ULA, Mérida, Venezuela) who helped with the anatomy analysis and significantly improved the quality of the paper. We also like to thank The Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) and the Foundation for the Support of Research in the State of São Paulo (Fapesp – Project “Bryophyta, Lycophyta and associated plant fossils from Guadalupian of Paraná Basin”, 06/01365-9) for the financial support provided.

Figure captions

Figure 1: Map of localization of the outcrops studied.

Figure 2: Overview of some of the stems of *Lycopodiopsis derbyi* studied. **A**, CPE1/244. Branch believed to be of higher order and possessing regions of microphylls still connected, interspersed with regions of low developed cushions. The arrow shows a dicotomization. **B**, CPE1/241. Branch similar to the anterior one, but with less compression. It seems the branch that produced the thin sections. **C**, CPE1/169. Fragment of external cortex showing a dicotomization (arrow). The cushions are not so well preserved. **D**, CPE1/169. Internal view of C. **E**, CPE1/113A. Compressed stem fragment with typical leaf cushions. **F**, CPE1/178. Another compressed stem of typical leaf cushions. **G**, CPE1/176. Fragment of external cortex showing larger leaf cushions. **H**, CPE1/109 Compressed stem with its vascular cylinder silicified (arrow). Scale, 3 cm.

Figure 3: **A**, CPE1/115. Typical silicified compressed stem fragment with external cortex (white arrow) and vascular cylinder (black arrow) preserved. Scale, 0.5 cm. **B**, CPE1/96. Typical leaf cushions of *Lycopodiopsis derbyi*. White arrow the circular leaf scar, white tip arrow showing the vascular trace and black arrow pointing the infrafoliar bladder. Scale, 0.2 cm. **C**, CPE1/ 104. Typical rhomboid leaf cushions of *L. derbyi*. White arrow shows the circular leaf scar and black arrow shows the infrafoliar bladder. Scale, 0.5 cm. **D**, CPE1/114. Typical leaf cushions of *L. derbyi* with their circular leaf scar (white arrow) and the infrafoliar bladder (black arrow). **E**, Line drawing of A. Scale, 0.5 cm. **F**, Line drawing of B. Scale, 0.2 cm. **G**, Line drawing of C. Scale, 0.5 cm. **H**, Line drawing of D. Scale, 0.5 cm.

Figure 4: **A**, CPE1/172. Internal view of the cushion. The black arrow shows the elevated arc portion surrounding the foliar trace (white arrow). Scale, 0.5 cm. **B**, CPE1/169. Another internal view of a leaf cushion. White arrow pointing the arc that surrounds the foliar trace. Scale, 0.2 cm. **C**, CPE1/174. Larger cushion with the upper rebord (white tip arrow) enclosing a region where is the leaf scar (white arrow). Black arrow pointing the infrafoliar bladder more elevated than in the typical cushions. Scale, 0.5 cm. **D**, CPE1/174. Lateral view of C. White tip arrow pointing the upper rebord, white arrow showing the leaf scar and black arrow the infrafoliar bladder. Scale,

0.5 cm. **E**, Line drawing of A. Scale, 0.5 cm. **F**, Line drawing of B. Scale, 0.2 cm. **G**, Line drawing of C. Scale, 0.5 cm. **H**, Line drawing of D. Scale, 0.5 cm.

Figure 5: **A**, CPE1/174. Detail of the leaf scar with a hole in its center interpreted as the vascular trace. Scale, 0.1 cm. **B**, CPE1/174. Internal view of a larger cushion. Black arrow showing the arc surrounding the foliar trace (white arrow). Scale, 0.5 cm. **C**, CPE1/241. Microphylls still connected to a smaller branch. Scale, 0.2 cm. **D**, CPE1/241. View of the same branch showing a region with cushions in early development. White arrow showing leaf scars and black arrow the initial traces of the infrafoliar bladders. **E**, Line drawing of A. Scale, 0.1 cm. **F**, Line drawing of B. Scale, 0.5 cm. **G**, Line drawing of C. Scale, 0.2 cm. **H**, Line drawing of D. Scale, 0.2 cm.

Figure 6: Anatomical features. **A**, CPE1/240C (England Finder position, N41-0). Siphonostele with the discontinuous xylem ring. Scale, 100 μ m. **B**, CPE1/240B (P38-1). Detail of the exarch xylem bundles as “V” structures (white arrow). Black arrow showing foliar traces. Scale, 200 μ m. **C**, CPE1/240B (038-1). White arrow showing the exarch nature of the xylem and black arrow the inner medular cells. Scale, 200 μ m. **D**, CPE1/240B (N39-2). White arrow pointing the peripheral medular cells and black arrow indicating a foliar trace. Scale, 200 μ m. **E**, CPE1/240A (P40-4). Cortical portion of the stem. Inner zone badly preserved but presenting the foliar traces that circling the vascular cylinder (black arrow) and with perpendicular rays (white arrow) crossing the cortex. Scale, 100 μ m. **F**, CPE1/240A (N41-0). Detail of the cortex crossed by a foliar trace (black arrow). The foliar trace goes from the badly preserved inner cortex, passes by the thin zone of fibers (white arrow), then by the badly preserved palisade tissue (white tip arrow) and finally by the most external zone of thick cells interpreted as collenchyma tissue (black tip arrow). **G**, CPE1/240A (Q38-3). Detail of the cortex. From inside to outside there is a rare preserved region of the inner zone (white tip arrow tip) followed by the zone of fibers (black arrow tip), then by the palisade parenchyma (white arrow) and by the external collenchyma (black arrow). Scale, 200 μ m. **H**, CPE1/240A (M25-1), External cortex. From inside to outside, the black tip arrow shows the fibers, followed by the palisade (white arrow tip) and by the collenchyma (black arrow).

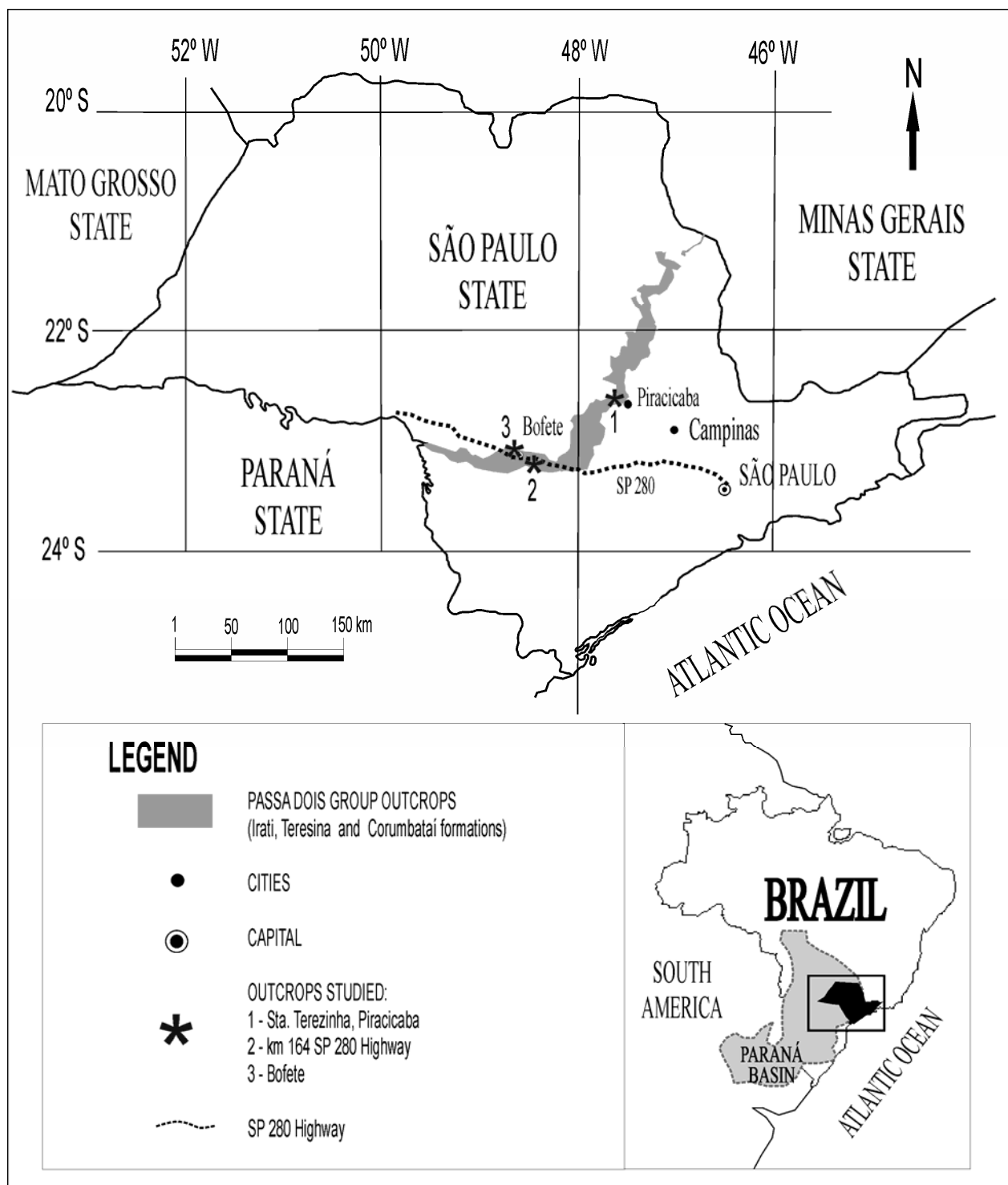


Figure 1

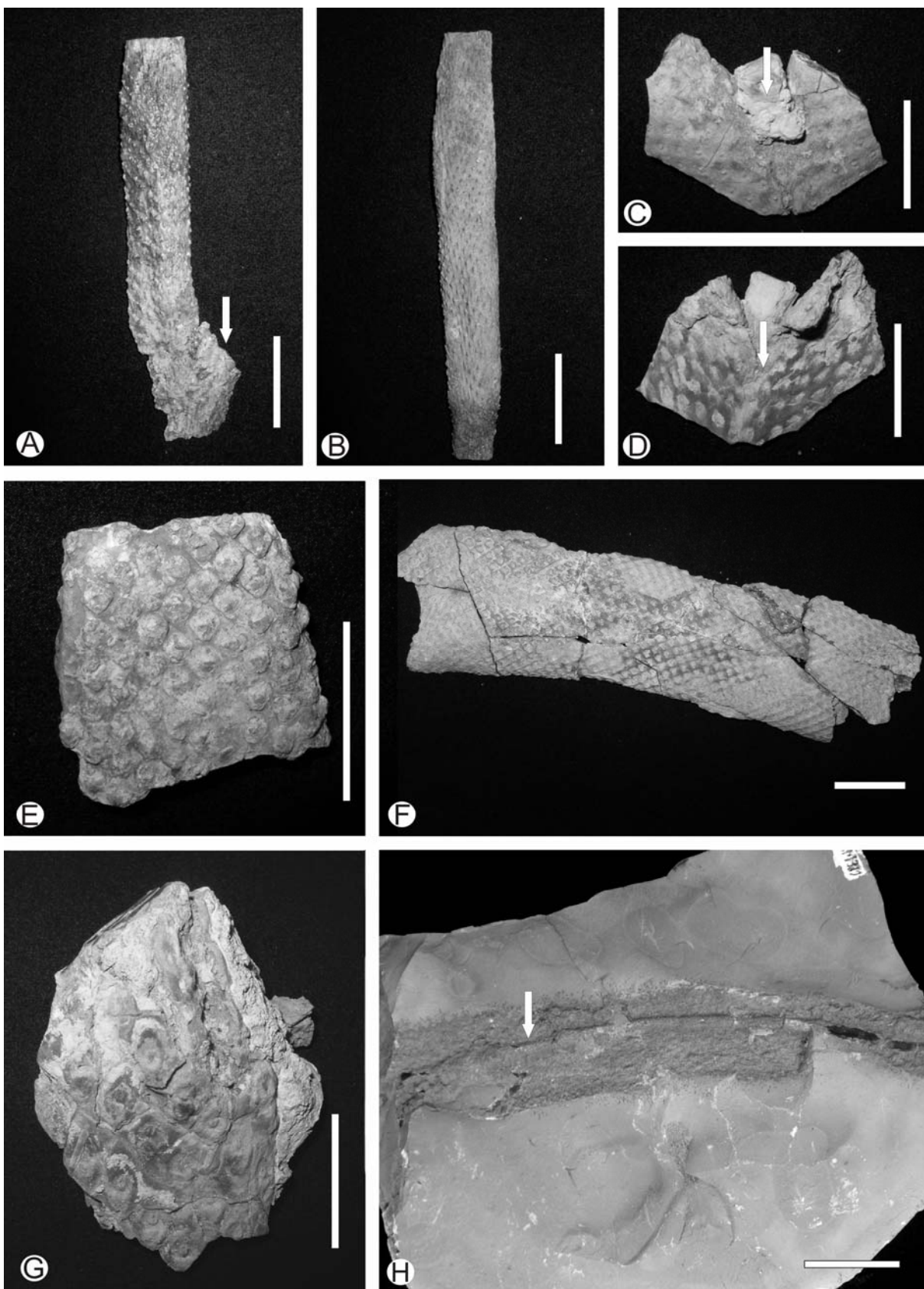


Figure 2

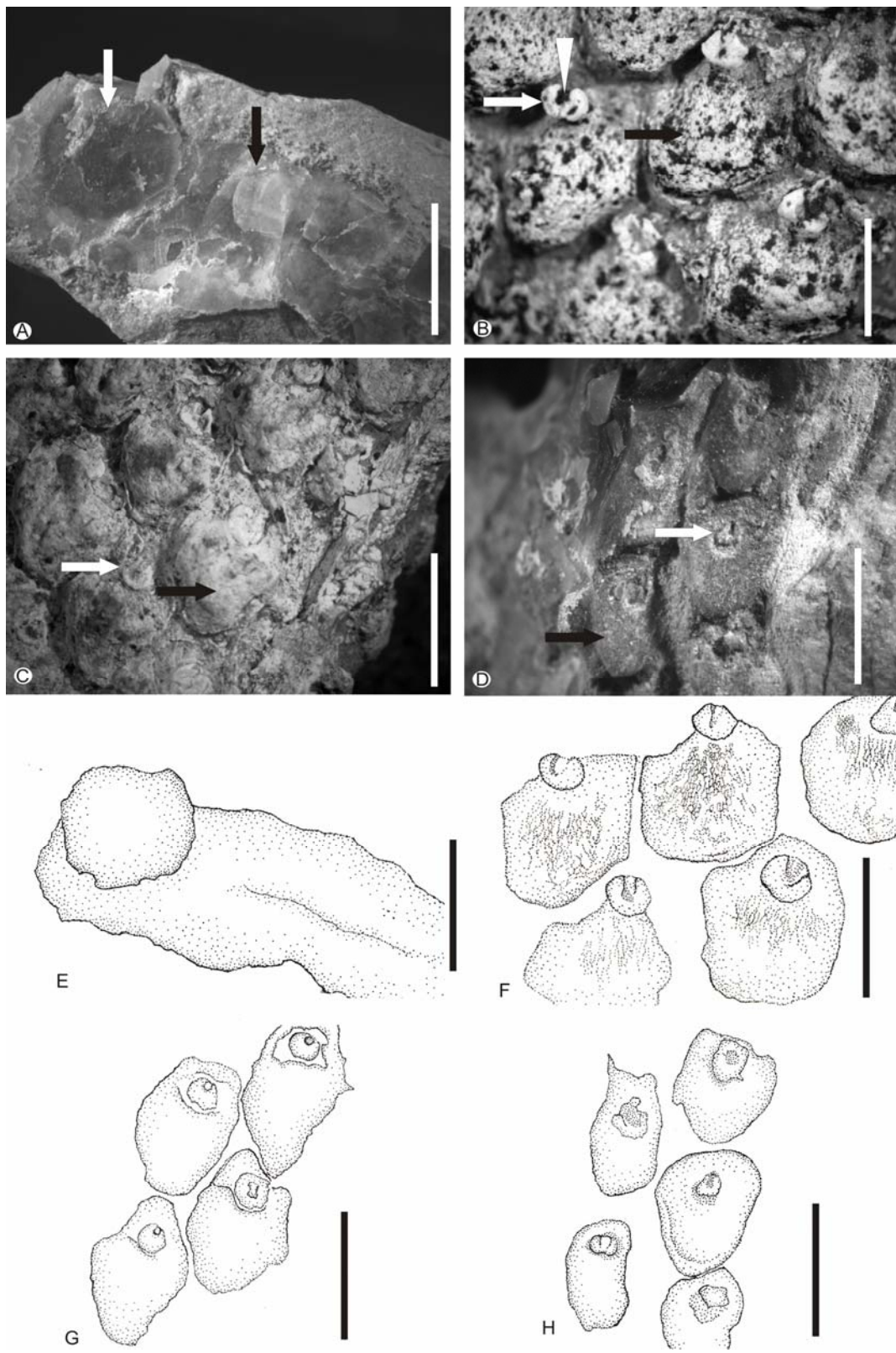


Figure 3

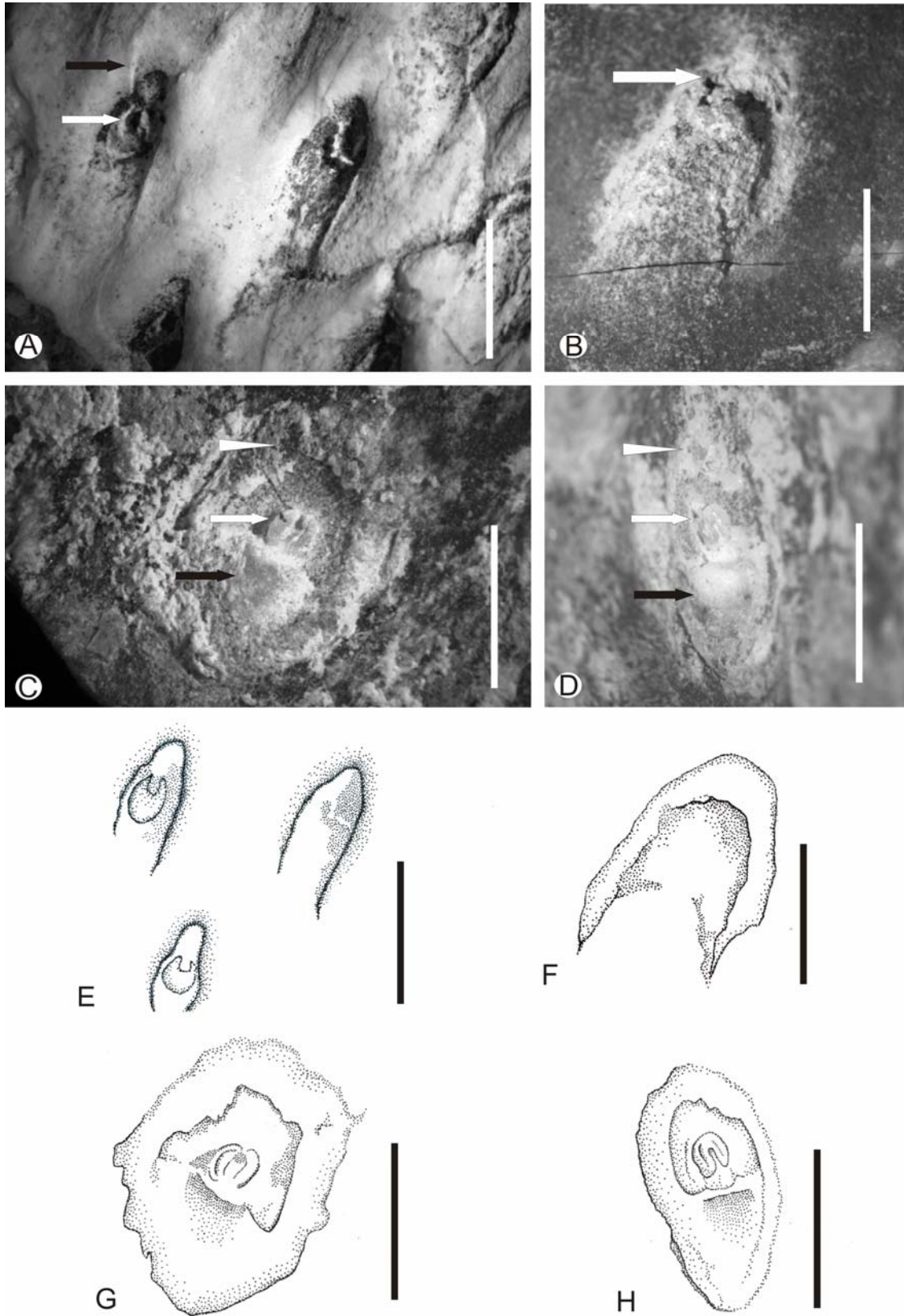


Figure 4

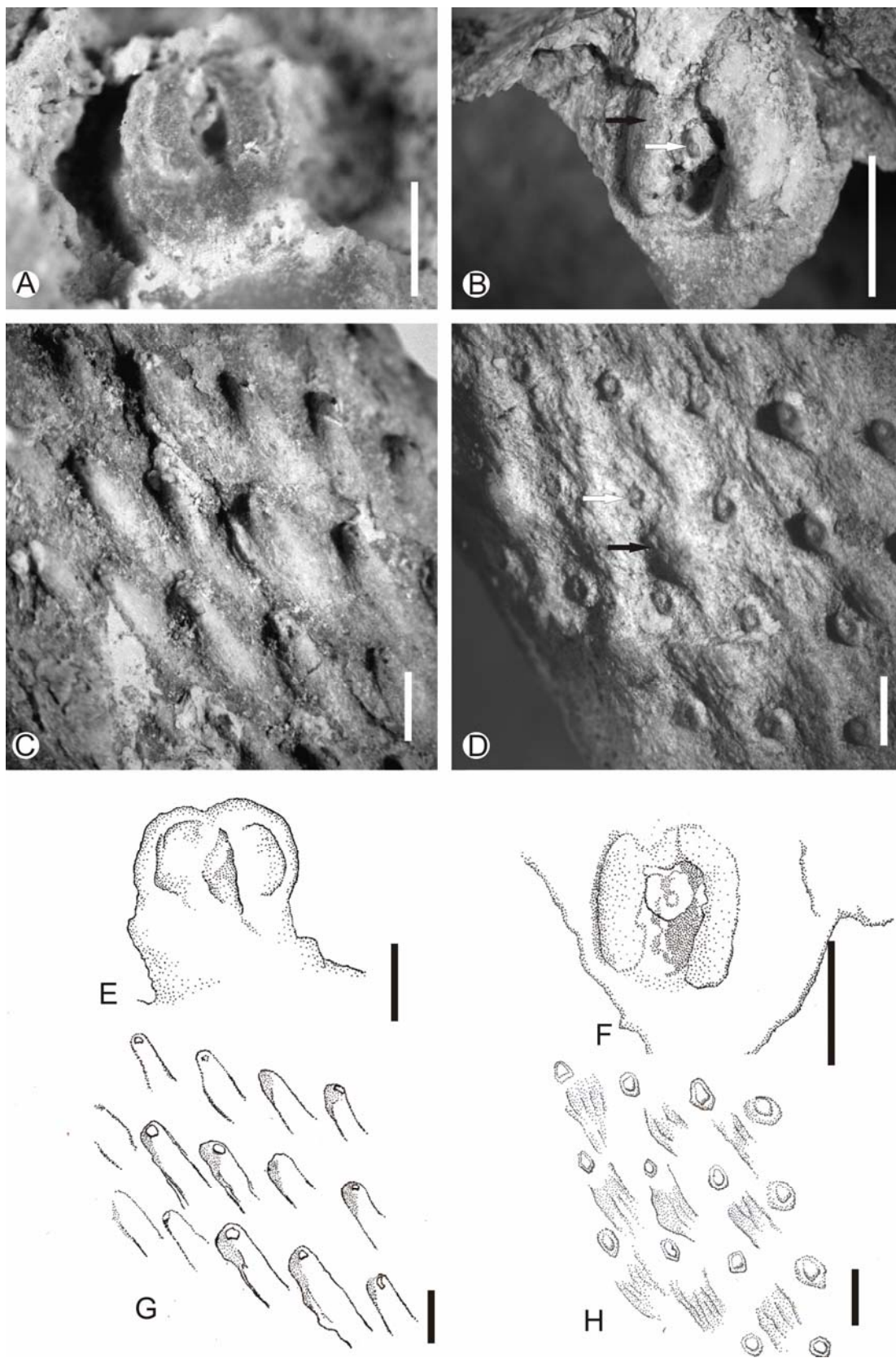


Figure 5

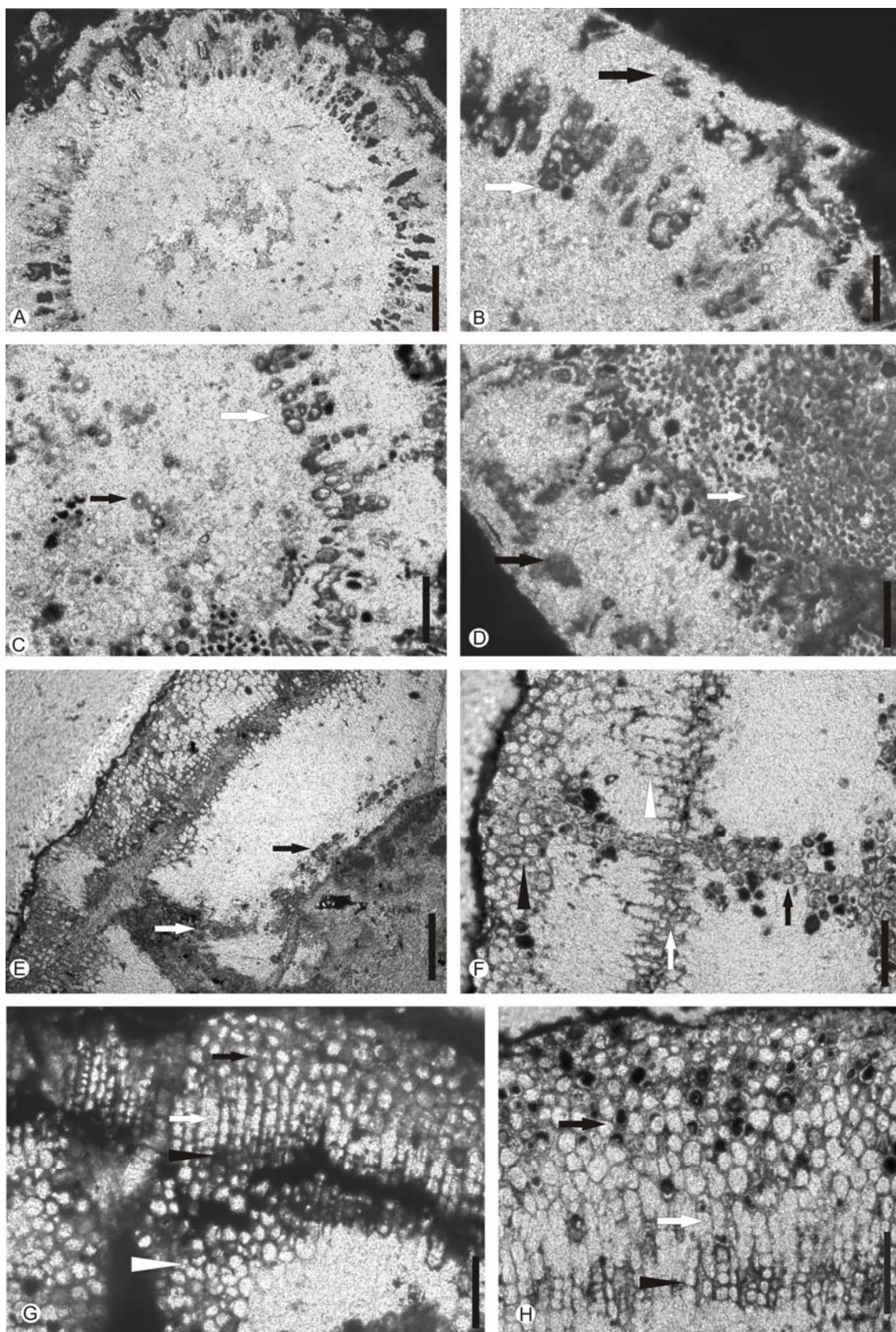


Figure 6

ARTIGO 2

***Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. do Guadalupiano da Bacia do Paraná, Brasil.**

***Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. from the Guadalupian of the Paraná Basin,
southern of Brazil**

Rafael Souza de Faria

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geologia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Caixa Postal: 6152, CEP: 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil. Fax: 0551935214552. Fone: 0551932891562. E-mail: rafaelfaria@ige.unicamp.br

Fresia Ricardi-Branco.

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geologia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Caixa Postal: 6152, CEP: 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil. Fax: 0551935214552. Fone: 0551932891562. E-mail: fresia@ige.unicamp.br

Resumo: Descreve-se uma nova espécie do gênero-órgão de folhas lepidodendraleanas *Lepidophylloides* de camadas da Formação Corumbataí (Guadalupiano da Bacia do Paraná) na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo. *Lepidophylloides corumbataensis* é a primeira espécie do gênero formalmente descrita no Brasil, e possivelmente a primeira para o Gondwana. É registrada também pela primeira vez a preservação de tecido paliádico numa espécie de *Lepidophylloides*. A nova espécie é comparada e mostra-se distinta das previamente descritas nas floras da Euramérica e da Cataísia. A organização dos feixes de xilema em forma de crescente sugere que a nova espécie seja próxima das descritas para a flora da Cataísia. A íntima associação com caules de *Lycopodiopsis derbyi*, os quais possuem cicatrizes foliares verdadeiras e, portanto sofriam abscisão de seus microfilos, indica que sejam diferentes órgãos da mesma espécie. Analisam-se ainda três outras ocorrências de microfilos silicificados na Bacia do Paraná, em Bofete (SP) também de camadas da Formação Corumbataí, na Pedreira de Rio Preto (PR) de estratos da Formação Teresina e em Canoinhas (SC), novamente da Formação Teresina. Conclui-se que em todos os casos trate-se de *L. corumbataensis*, mas que nos afloramentos da Formação Teresina os microfilos sofreram um transporte maior do que aqueles encontrados nos afloramentos da Formação Corumbataí.

Palavras-chave: Licópódios, *Lepidophylloides*, Guadalupiano, Bacia do Paraná.

Abstract: A new species of the lepidodendrolean leaf genus *Lepidophylloides* from the Corumbataí Formation (Guadalupian of the Paraná Basin) in the municipality of Piracicaba, São Paulo state, southern Brazil is described. *Lepidophylloides corumbataensis* is the first species of the genus formally described in Brazil, and possibly the first for Gondwanaland. This is also for the first time that palisade tissue has been found in a species of *Lepidophylloides*. The new species is compared and shows to be distinct from species previously described of the Euramerican and Catasian floras. The organization of the xylem bundles in arch-like or crescent shape suggests a relation with the Catasian species. The close association with *Lycopodiopsis derbyi* stems (which have true leaf scars and so would suffer leaf abscission) indicates that they are different organs from the same species. Three other occurrences of silicified microphylls from the Paraná Basin were analyzed: in the municipality of Bofete (São Paulo state) also from strata of the Corumbataí Formation, in Rio Preto Query (Paraná state) from strata of the Teresina Formation, and in Canoinhas (Santa Catarina state), again from strata of the Teresina Formation. In all cases the microphylls are classified as *Lepidophylloides corumbataensis* but in the outcrops of the Teresina Formation they suffered more transport than in the outcrops of the Corumbataí Formation.

Key-words: Lycopods, *Lepidophylloides*, Guadalupian, Paraná Basin.

1. Introdução

A presença de folhas microfilas é uma das sinapomorfias da linhagem Lycophyta (Judd et al., 2002). Os microfilos são caracterizados por apresentarem em geral uma única unidade vascular não ramificada que parte do caule sem deixar lacuna (Sporne, 1966). Nas licófitas viventes as características da folha são de suma importância em estudos sistemáticos (Pita et al., 2006). Em relação às licófitas fósseis, mais comumente representadas por membros da Ordem Lepidodendrales, os registros de microfilos na maioria das vezes ocorrem isolados e descone

Os fósseis existentes de folhas de Lepidodendrales são comumente incluídos em dois organo-gêneros distintos: *Lepidophylloides* Snigirevskaya e *Sigillariopsis* Scott (Challoner, 1967). *Lepidophylloides* aplica-se aos microfilos de Lepidodendrales em que os feixes de xilema formam uma única unidade enquanto *Sigillariopsis* relaciona-se aos microfilos de Lepidodendrales em que os feixes de xilema se organizam em duas unidades.

Dentre as organo-espécies existentes de *Lepidophylloides* não existem exemplos formalmente descritos para o Gondwana. Na Euramérica são descritos treze espécies e para a Cataísia têm-se três espécies. Enquanto as euramericanas são de idade carbonífera, as espécies da Cataísia são permianas (Graham, 1935; Reed, 1941; Leisman, 1970; Wang et al. 2002).

Na Bacia do Paraná já é conhecida a presença de microfilos fósseis há algum tempo; White (1908) já menciona a presença de microfilos em Bofete, no estado de São Paulo. Kräusel em sua revisão sobre as Lepidodendrales Gondwânicas de 1961 relata microfilos permineralizados em afloramentos em Porangaba e Piracicaba no estado de São Paulo os quais relaciona a *Lycopodiopsis derbyi*, e de impressões relacionadas à *Lycopodiopsis* sp. provindas de Cêrro Chato, no estado do Rio Grande do Sul. Além desses ainda apresenta espécimes de *Lycopodiphloios dolianitii* com numerosos microfilos associados, também coletados em Cêrro Chato.

Rohn et al. (1997a; 1997b; 1997c) em levantamento paleoflorístico cita a presença de microfilos permineralizados associados à coquinas na Pedreira de Rio Preto, na estrada Irati-Guaramirim, no estado do Paraná, em afloramentos ao longo da PR239 próximo a região de Cândido de Abreu-Reserva, também no Paraná e na BR280 a 6 km de Canoinhas, no estado de

Santa Catarina. Menciona ainda a presença de grandes concentrações de microfílos isolados na Pedreira de Gonçalves Júnior, PR; todas as ocorrências em camadas da Formação Teresina.

O presente estudo também lida com concentrações de microfílos, coletados de duas localidades do estado de São Paulo; Piracicaba, de onde já haviam sido reportados por Kräusel (1961) e Bofete, registrados por White (1908). Ainda são revisitados os afloramentos de Canoinhas (SC), da Pedreira de Rio Preto (PR), da Pedreira de Gonçalves Júnior (PR) e do km 45 da PR487, próximos a região de Cândido de Abreu Reserva à procura dos microfílos vistos por Rohn et al. (1997a; 1997b; 1997c) embora sem sucesso nos dois últimos. Acredita-se que seja de suma importância descrever a morfo-anatomia e sistemática desses órgãos, para os quais já se conhece sua presença na Bacia do Paraná há anos. Discute-se ainda sua relação com os caules de *Lycopodiopsis derbyi*, com os quais ocorrem intimamente associados.

2. Contexto Geológico

A Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhões de quilômetros quadrados e que acumulou sedimentos do Ordoviciano ao Neocretáceo (Milani et al., 2007). Milani (1998) reconheceu em tal registro seis unidades de ampla escala ou supersequências. A Supersequência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), de interesse no presente estudo, materializa um ciclo transgressivo-regressivo completo, fruto da invasão do Panthalassa sobre o interior do Gondwana (Milani et al., 2007).

Gondwana I constitui-se dos grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. O Grupo Passa Dois, unidade que contém as formações onde os microfílos em questão são encontrados representa um acúmulo de sedimentitos do fim do Artinskiano ao Eotriássico. É composto da base ao topo pelas formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. No estado de São Paulo, e em direção à paleomargem da bacia, as formações Serra Alta e Teresina gradam de pelitos com tons acinzentados a predominantemente vermelhos e diminuem em espessura. Por essa razão, tais depósitos são descritos como uma unidade designada Formação Corumbataí (Rohn, 2007).

A sedimentação nas formações Teresina e Corumbataí desenvolveu-se acompanhando uma definitiva tendência regressiva em grande escala que culmina no fechamento da bacia as incursões marinhas do oeste e no aprisionamento da mesma no árido interior continental do Gondwana mesozóico (Milani et al. 2007). É provável que o sistema deposicional se trate de um mar epicontinental raso sem conexão com o Pantalassa, uma vez que nenhum fóssil encontrado pode ser considerado verdadeiramente marinho (Rohn, 2007). As formações são incluídas na Zona *Lycopodiopsis derbyi* (Rohn e Rösler, 2000) e representam parte da unidade fitogeográfica Sulamericana-Indiana do Estágio 4 definido por Cúneo (1996) para o Neopaleozóico do Gondwana.

3. Materiais e métodos

3.1. Afloramentos

Os fósseis foram coletados de quatro afloramentos (**Figura 1**), dois de camadas da Formação Corumbataí, no estado de São Paulo (em Piracicaba, no bairro Santa Teresinha, 22°40'04,4''S / 47°42'23,5''O e em Bofete, dentro da Fazenda Espólio José Francisco Vieira, num espelho d'água, 23°3'24,5''S / 48°9'43,3''O), e dois de camadas da correlata Formação Teresina, um no Paraná, na Pedreira desativada Rio Preto, 25°31'30,3''S / 50°44'54,0''O, e outro em Santa Catarina, em Canoinhas, 26°12'00,7''S / 50°26'01,2''O.

Do afloramento de Piracicaba (SP) foram coletadas as amostras CPE1/68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 101, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 164 e 165, de Bofete (SP) o exemplar CPE1/247, da Pedreira Rio Preto (PR) as amostras CPE1/19 e 21 e de Canoinhas (SC) coletou-se CPE1/59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66 e 88.

3.2. Amostras

Os microfósseis de Piracicaba e de Bofete (SP) são encontrados em concentrações que em alguns casos formam verdadeiras “coquinas” de folhas de até mais de 5 cm de espessura (**Figura**

2A e 2B). Em outros as camadas contendo microfílos são menos espessas e aqui muitas vezes eles encontram-se orientados (**Figura 2C**). Os microfílos encontram-se silicificados, fragmentados e cimentados por carbonato. Nas concentrações há uma pequena quantidade de conchas de moluscos bivalves (**Figura 2E**) e de porções de caules de licófitas (**Figura 2F**).

Nos depósitos da Pedreira de Rio Preto (PR) e de Canoinhas (SC) os microfílos não se encontram em concentrações altas como em Piracicaba e Bofete e, além disso, se encontram com a anatomia não preservada, o que pode ser em razão de uma alteração da sílica. A quantidade de conchas de bivalves é muito maior; na verdade aqui temos uma verdadeira coquina. Não se constata a presença de porções caulinares de licófitas.

Todas as amostras estudadas se encontram depositadas na Coleção Científica de Paleontologia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. Os aspectos morfológicos foram estudados através da observação em estereomicroscópio e em MEV. Para a análise anatômica foram produzidas lâminas delgadas polidas a partir das “coquinas” de Piracicaba. No caso das amostras da Pedreira Rio Preto e de Canoinhas os microfílos foram manualmente retirados da matriz com o auxílio de uma pinça e para a confecção das lâminas delgadas foram imersos em uma resina. Durante a imersão preocupou-se em ordenar os microfílos de forma a propiciar a secção transversal ou longitudinal. Foram feitas lâminas delgadas polidas das amostras CPE1/65, 66, 80, 81, 83, 84, 85, 86 e 87. Em relação às lâminas feitas a partir da imersão em resina foram confeccionadas lâminas a partir da retirada de microfílos das amostras CPE1/19, 60, 61, 62, 65, 66 e 88.

As secções foram fotografadas com câmera digital acoplada a microscópio de luz e as medições dos caracteres anatômicos foram feitas a partir de tais fotos com o uso do software Zeiss Axiovision Release 4.6. Cada microfílo fotografado foi posicionado segundo o sistema England Finder.

4. Resultados

Efetivamente apenas as amostras de Piracicaba forneceram lâminas delgadas possíveis de serem detalhadas e estudadas. Através daquelas é descrita uma nova organo-espécie:

Filo Lycophyta

Ordem Lepidodendrales

Gênero *Lepidophylloides* Snigirevskaya

Espécie-tipo: Lepidophylloides aciculum (Reed) Snigirevskaya, 1958

Lepidophylloides corumbataensis sp. nov.

Figuras 2, 3, 4 e 5

Holótipo: CPE1/84.

Parátipos: CPE1/68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 92, 101, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 164 e 165.

Etimologia: O epíteto específico deriva-se da formação onde tipicamente são encontrados os microfílos.

Repositório: Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil.

Horizonte estratigráfico: Formação Corumbataí, Guadalupiano.

Localidade-tipo: Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Diagnose: Folhas em secção transversal triangulares a levemente rômbricas com pronunciada quilha na porção inferior e “asas” curtas. Desprovidas de regiões estomáticas deprimidas na superfície abaxial, mas com estômatos submersos presentes na superfície adaxial. Feixes do

xilema organizados em forma de crescente (ou “U”) envolvidos por uma bainha vascular composta por um tecido de transfusão. Este é constituído em geral por cinco camadas de células de parede grossa alongadas longitudinalmente e isodiamétricas em corte transversal (que algumas vezes vão se tornando de diâmetro maior rumo à periferia). Segue-se o mesófilo composto por um tecido paliádico com cerca de duas a três camadas de células. Hipoderme com células longitudinalmente alongadas e no corte transversal achatadas na maioria das vezes. Em geral duas camadas de células com exceção da região da quilha, onde o número de camadas chega a cinco. Epiderme composta de células alongadas longitudinalmente, de paredes periclinais arredondadas e dispostas em fileiras, e em corte transversal isodiamétricas.

Descrição: Os microfilos são triangulares a levemente rômnicos e na porção abaxial portam uma quilha bastante pronunciada (**Figuras 2D, 2G e 3B**). São desprovidos de regiões estomáticas deprimidas na superfície abaxial, mas portam estômatos submersos na porção adaxial (**Figura 3G**). Lateralmente existem duas expansões não muito longas na maioria dos cortes e que dão um aspecto alado a folha (**Figuras 2D**). Como estão todos fragmentados não é possível ter conhecimento do comprimento desses órgãos. Os fragmentos com maior comprimento foram de 3 cm (**Figura 2H**). Quanto à largura e a altura de cada microfilo, essas em geral são respectivamente 2,6 mm e 2 mm. Deve-se atentar, no entanto, que os microfilos se afilam rumo ao ápice; porções apicais dificilmente foram observadas (**Figura 3A**).

A unidade vascular é composta por feixes de traqueídes que se organizam de maneira a formarem uma estrutura em crescente que lembra um “U” (**Figuras 3C e 3E**). No corte transversal essas células se mostram isodiamétricas e de paredes grossas e com diâmetros em média de 11 μm . No interior da estrutura em “U” são observadas células isodiamétricas um pouco maiores do que os traqueídes descritos, em geral com 28 μm de diâmetro. Não foi possível observar o comprimento dos traqueídes, nem o tipo de espessamento da parede, uma vez que não se obteve cortes longitudinais propícios a tal.

O cilindro é envolvido por uma bainha composta de um parênquima lacunoso com células isodiamétricas e de paredes grossas no corte transversal. O tamanho dessas células varia, e muitas vezes nas asas e na porção superior há uma tendência de aumento rumo à periferia. As células

menores têm em média 44 μm de diâmetro e as células maiores em geral 85 μm (**Figuras 3C e 3E**). Longitudinalmente as células são alongadas e têm um comprimento por volta de 197 μm (**Figura 4A**). Em média, tal tecido de transfusão possui cinco camadas de células.

O mesófilo é formado por um parênquima paliádico composto de células longas radialmente e de parede fina (**Figura 3E**). O comprimento radial das células é por volta de 131 μm e o comprimento tangencial em média 41 μm . Nas asas a espessura do paliçada é maior, em média de 700 μm , enquanto na porção superior e na quilha inferior é por volta de 300 μm . Duas a três camadas de células em geral formam o paliçada. As células são curtas longitudinalmente, com aproximadamente 48 μm (**Figura 4C**).

A epiderme é formada por células isodiamétricas no corte transversal, em média com 45 μm de diâmetro. A hipoderme é composta de células achatadas, com comprimento tangencial em geral de 47 μm e comprimento radial em geral de 27 μm . Algumas dessas células podem se apresentar isodiamétricas como as da epiderme. O número de camadas varia em relação à região do microfilo. Na quilha da face abaxial e nas asas o número de camadas é maior e chega, em geral a cinco (**Figuras 3C e 3E**). Em toda a face adaxial têm-se normalmente duas camadas (**Figura 3C**). Observa-se que as células da epiderme e hipoderme são alongadas longitudinalmente (**Figura 4E**), em geral com 148 μm de comprimento, de paredes periclinais arredondadas e dispostas em fileiras. A parede dessas células se mostra espessa.

Comparação e discussão: Fica claro que os microfilos descritos pertencem ao gênero *Lepidophylloides* uma vez que portam uma única unidade vascular. Existem cinco espécies de *Lepidophylloides* que não apresentam regiões deprimidas estomáticas na superfície abaxial: *Lepidophylloides equilaterale* (Graham) Chaloner, *Lepidophylloides latifolium* (Graham) Chaloner, *Lepidophylloides thomasi* (Graham) Chaloner, *Lepidophylloides hippocrepicus* (Wang et al.) e *Lepidophylloides minor* (Graham) Chaloner. Dentre esses, *Lepidophylloides corumbataensis* difere de *L. equilaterale* por nitidamente não apresentar a mesma forma que lembra um triângulo equilátero. Difere ainda de *L. latifolium*, *L. thomasi* e de *L. hippocrepicus* por apresentar a relação largura/altura menor, possuindo “asas” relativamente mais curtas. *Lepidophylloides hippocrepicus*, por exemplo, apresenta-se em secção transversal com cerca de 1

mm de altura por 4 mm de largura (Wang et al., 2002) enquanto *L. corumbataensis* possui em cortes transversais por volta de 2 mm de altura por 2,6 mm de largura.

Lepidophylloides minor é a espécie morfológicamente mais parecida a *L. corumbataensis*, mas difere dessa última dentre outras características por possuir os feixes de xilema organizados em forma de um cilindro e não em forma de crescente. Tal caractere é apenas compartilhado entre *L. corumbataensis* e as três espécies de *Lepidophylloides* descritas para a Cataísia, dentre elas, *L. hippocrepicus*. Isso pode indicar uma proximidade entre os microfílos aqui estudados e os da flora da Cataísia que também são de idade permiana ou refletir uma tendência para o grupo em geral durante tal período.

Das espécies mencionadas, *L. hippocrepicus* e *L. thomasi* são as únicas a se diferenciarem de *L. corumbataensis* em relação à bainha vascular que naquelas apresenta fibras e em *L. corumbataensis* e nas demais espécies discutidas é formada de um tecido de transfusão. Externamente a tal tecido temos um tecido paliçádico, pela primeira vez registrado em uma espécie de *Lepidophylloides* (Taylor e Taylor, 1993). Tal fato mostra a excepcional preservação dos microfílos aqui estudados que provavelmente foram silicificados rapidamente antes de serem transportados e acumulados nas concentrações. Sobre a hipoderme mais espessa na região abaxial, provavelmente essa superfície ficasse mais exposta a luz e aos ventos e portanto necessitasse de mais proteção. As folhas provavelmente estariam inseridas nos ramos em pequena angulação de maneira que a superfície adaxial se encontrasse pouco exposta e a abaxial pelo contrário, tendo maior exposição.

Em relação a outros microfílos registrados no Gondwana, ainda no Brasil, na Bacia do Paraná, temos os microfílos descritos associados ou ainda conectados a *Brasilodendron pedroanum* Chaloner. Os caules de *B. pedroanum* representam junto dos de *Lycopodiopsis derbyi* as lepidodendrales mais comuns da Bacia do Paraná e dentre as mais comuns do Gondwana. *B. pedroanum* é tipicamente caracterizado por microfílos persistentes de até 4 cm de comprimento com duas bandas de estômatos na porção abaxial (Chaloner et al., 1979). Tais estômatos não são localizados em regiões deprimidas, o que mostra que estes microfílos se tratem de tipos de *Lepidophylloides* próximos a *L. corumbataensis*.

Ricardi-Branco e Torres (2002) descrevem os aspectos anatômicos dos microfílos associados à *Brasilodendron pedroanum*. Em secção transversal se mostram maiores e mais largos do que *L. corumbataensis*. O mesófilo é composto de um parênquima lacunoso na porção abaxial e de um colênquima na porção adaxial; nada é dito a respeito de um paliçada. Em *L. corumbataensis* o parênquima interno ao paliçádico (que compõe a bainha vascular) é homogêneo, não há diferenças entre as superfícies abaxial e adaxial; é dito de paredes grossas e pode se tratar de um colênquima. Nos microfílos de *B. pedroanum* a unidade vascular é formada por feixes que se organizam em uma estrutura circular no corte transversal enquanto em *L. corumbataensis* se organizam em forma de crescente. É interessante notar que os microfílos de *B. pedroanum*, em relação a tal caractere, são similares as espécies de *Lepidophylloides* euramericanas do Carbonífero, enquanto os de *L. corumbataensis* se assemelham aos *Lepidophylloides* da Cataísia descritos para o Permiano. *B. pedroanum* é típico das camadas da Formação Rio Bonito (Cisuraliano), uma unidade mais antiga do que a em que são encontrados *L. corumbataensis* e talvez por isso ainda mantenha um caractere comum a tais plantas durante o Carbonífero.

5. Correlações entre os diferentes afloramentos

Como foi dito apenas as lâminas delgadas feitas a partir das amostras de Piracicaba forneceram detalhes suficientes para um estudo sistemático. Os microfílos de Bofete não foram seccionados, mas são encontrados em concentrações muito semelhantes às de Piracicaba e sua morfologia é muito parecida, o que leva a crer que também devam se tratar de *Lepidophylloides corumbataensis*. Já os microfílos da Pedreira de Rio Preto e de Canoinhas produziram lâminas delgadas em que poucas ou nenhuma das células pode ser visualizada, mas em que os diferentes tecidos podem ser individualizados o que mostra que aqui houve alteração da sílica (**Figura 4G**).

Acredita-se que em todos os casos os microfílos foram permineralizados rapidamente sem terem sofrido muito transporte, como mostra a preservação do paliçada. Após a silicificação os microfílos foram transportados e acumulados nos locais de deposição como os afloramentos de Piracicaba e de Bofete onde se encontram níveis espessos dessas estruturas. Há na verdade, nesses afloramentos tanto níveis menos espessos onde os microfílos se encontram orientados

como os ditos níveis espessos, nos quais os microfílos se encontram em várias direções. Possivelmente os primeiros se geraram em condições normais de transporte e deposição e os últimos em condições de tormentas.

Já os microfílos da Pedreira Rio Preto e de Canoinhas por serem bem mais escassos e estarem alterados, podem representar em comparação aos de Piracicaba e Bofete uma deposição mais alóctone. A silicificação das folhas provavelmente se deu antes da sua deposição na coquina. Considera-se que os microfílos dos quatro afloramentos em questão representem a mesma espécie.

6. Sobre a relação com *Lycopodiopsis derbyi* Renault

Nos afloramentos de Piracicaba e de Bofete os espécimes de *Lepidophylloides corumbataensis* ocorrem muitas vezes intimamente associados a caules de *Lycopodiopsis derbyi* Renault. Essa associação já fora evidenciada por Kräusel (1961) em amostras de Piracicaba e de Porangaba. Apesar da falta de um espécime em que possa se evidenciar seguramente a conexão orgânica entre *Lepidophylloides corumbataensis* e *Lycopodiopsis derbyi* sugere-se que ambos representem diferentes órgãos da mesma espécie.

Assim pode-se pensar em *L. derbyi* como uma espécie homófila uma vez que aparentemente todas as folhas encontradas nas concentrações associadas são iguais, pertencentes à *Lepidophylloides corumbataensis*. No entanto, não é possível descartar a possibilidade de que os esporofílos não tenham ainda sido encontrados e que sejam diferentes dos microfílos descritos.

Lepidophylloides já fora encontrado associado ou conectado a caules do tipo *Lepidodendron*, mas considera-se que o gênero ainda inclua plantas como *Lepidophloios* e algumas espécies de *Sigillaria* (Wang et al., 2002). Aqui se relaciona *Lepidophylloides* a um gênero gondwânico, *Lycopodiopsis*, que difere em muitos aspectos das lepidodendrales mencionadas como pelas almofadas sem traços de páricnos ou pelo estelo formado por um anel de xilema descontínuo (Rao, 1940; Kräusel, 1961). Se por um lado tal associação parece refletir

uma proximidade entre *Lepidodendron* e *Lycopodiopsis*, o mais provável é que as folhas sejam órgãos conservados na evolução dessas plantas.

7. Conclusões

Os microfósseis há tempos registrados em camadas das formações Teresina e Corumbataí, na Bacia do Paraná são descritos morfo-anatomicamente e associados ao gênero *Lepidophylloides*. A nova espécie descrita, *Lepidophylloides corumbataensis*, é a primeira no gênero em que se encontra preservado o tecido paliádico. Tal preservação, de um tecido tão frágil, mostra que a permineralização dos microfósseis ocorreu rapidamente antes de serem transportados e acumulados nos locais de deposição. Dos afloramentos estudados conclui-se que o da Pedreira de Rio Preto, no Paraná e o de Canoinhas, em Santa Catarina, apresentam microfósseis mais alóctones do que os depositados em Piracicaba e Bofete, em São Paulo.

Lepidophylloides corumbataensis é a primeira espécie do gênero descrita formalmente no Brasil e possivelmente a primeira no Gondwana. Apresenta os feixes do xilema em forma de crescente (ou de “U”) como no caso das três espécies descritas para a flora da Cataízia (de idade permiana como *L. corumbataensis*). Sugere-se que isso possa demonstrar proximidade entre as Lepidodendrales gondwânicas e as da Cataízia. As Lepidodendrales euramericanas, típicas do Carbonífero, possuem os feixes de xilema organizados na forma de um cilindro. Considerando que essa é a condição ancestral, poderia-se hipotetizar, por exemplo, que Lepidodendrales se diversificaram a partir da Euramérica para outros locais a partir de uma espécie portando microfósseis com feixes em forma de crescente; no caso um elo ainda não encontrado.

A íntima associação de *L. corumbataensis* com *Lycopodiopsis derbyi* indica que, respectivamente, tais microfósseis e caules representam a mesma espécie. As almofadas foliares de *L. derbyi* possuem cicatrizes foliares verdadeiras o que indica que a abscisão das folhas era um processo comum a espécie. Assim é natural que se encontrem níveis com concentrações de folhas associados aos caules.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a colaboração de Rosemarie Rohn (Instituto de Geologia e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo) nos trabalhos de campo bem como pela doação de algumas das amostras estudadas. Agradecem ainda a importante colaboração de Margarita Ricardi Torres (Botanic Garden Center, ULA, Mérida, Venezuela) nas análises anatômicas. Também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp – Projeto “Bryophyta, Lycophyta and associated plant fossils from Guadalupian of Paraná Basin”, 06/01365-9) pelo auxílio financeiro.

Legendas das figuras:

Figura 1: Mapa de localização dos afloramentos estudados.

Figura 2: **A**, Amostra “coquinóide” de microfílos. Escala, 2cm. **B**, Corte transversal da amostra anterior em detalhe. Escala, 2 mm. **C**, Amostra com microfílos orientados numa mesma direção. Escala, 3mm. **D**, Aproximação de C mostrando um microfílo em detalhe. A seta branca mostra a quilha na superfície abaxial, a seta preta aponta a unidade vascular e a ponta de seta branca indica uma das “asas”. **E**, Secção delgada mostrando os bivalves associados aos microfílos nas concentrações. Escala, 400 μ m. **F**, Secção delgada onde se vê uma porção cortical associada as concentrações de microfílos. Escala, 400 μ m. **G**, Detalhe da quilha abaxial de um microfílo (seta). Escala, 1mm. **H**, Um dos fragmentos de microfílo de maior comprimento. Escala, 2mm.

Figura 3: **A**, Porção apical de um microfílo. Escala, 400 μ m. **B**, Representação esquemática de A. Escala, 400 μ m. **C**, Corte transversal de um microfílo. A seta branca aponta a epiderme abaxial na porção da quilha, a seta preta a epiderme adaxial. A ponta de seta branca indica a bainha e a ponta de seta preta a unidade vascular. Escala, 300 μ m. **D**, Representação esquemática de C. Escala, 400 μ m. **E**, Corte transversal de um microfílo. A seta branca mostra a epiderme abaxial na porção da quilha. A seta preta aponta o parênquima paliçádico. A ponta de seta branca indica a bainha e a ponta de seta preta a unidade vascular. Escala, 400 μ m. **F**, Representação esquemática de E. Escala, 400 μ m. **G**, Detalhe do corte anterior mostrando um estômato na superfície adaxial (seta). Escala, 300 μ m. **H**, Representação esquemática de G. Escala, 300 μ m.

Figura 4: **A**, Vista paradermal da bainha vascular. Escala, 300 μ m. **B**, Ilustração esquemática de A. Escala, 300 μ m. **C**, Corte longitudinal de um microfílo. A seta branca mostra a epiderme abaxial e a ponta de seta branca mostra a epiderme adaxial. A seta preta indica a região de parênquima lacunoso e a ponta de seta preta indica o paliçada. Escala, 200 μ m. **D**, Ilustração esquemática de C. Escala, 400 μ m. **E**, Vista paradermal do epiderme. Escala, 200 μ m. **F**, Ilustração esquemática de E. Escala, 300 μ m. **G**, Corte transversal de um microfílo alterado, proveniente de Canoinhas, SC. Escala, 300 μ m. **H**, Ilustração esquemática de G. Escala, 400 μ m.

Figura 5: **A**, Porção abaxial de um microfiló em MEV. Escala, 500 μm . **B**, Detalhe de A mostrando as células epidérmicas em vista paradermal. Escala, 300 μm . **C**, Porção adaxial de um microfiló em MEV. Escala, 1 mm. **D**, Almofada foliar em associação a um microfiló. A seta aponta o traço vascular. Escala, 1mm.



Figura 1

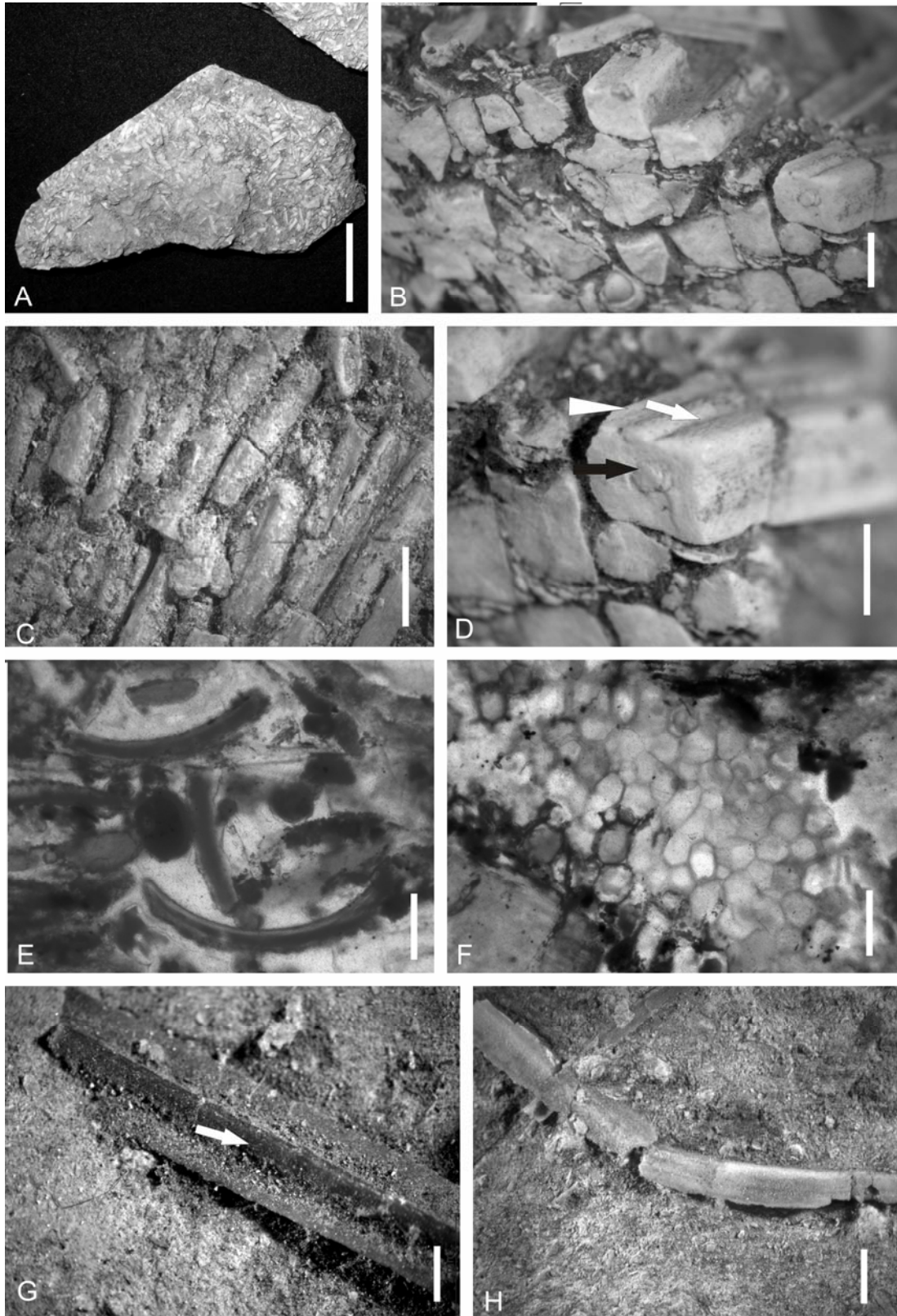


Figura 2

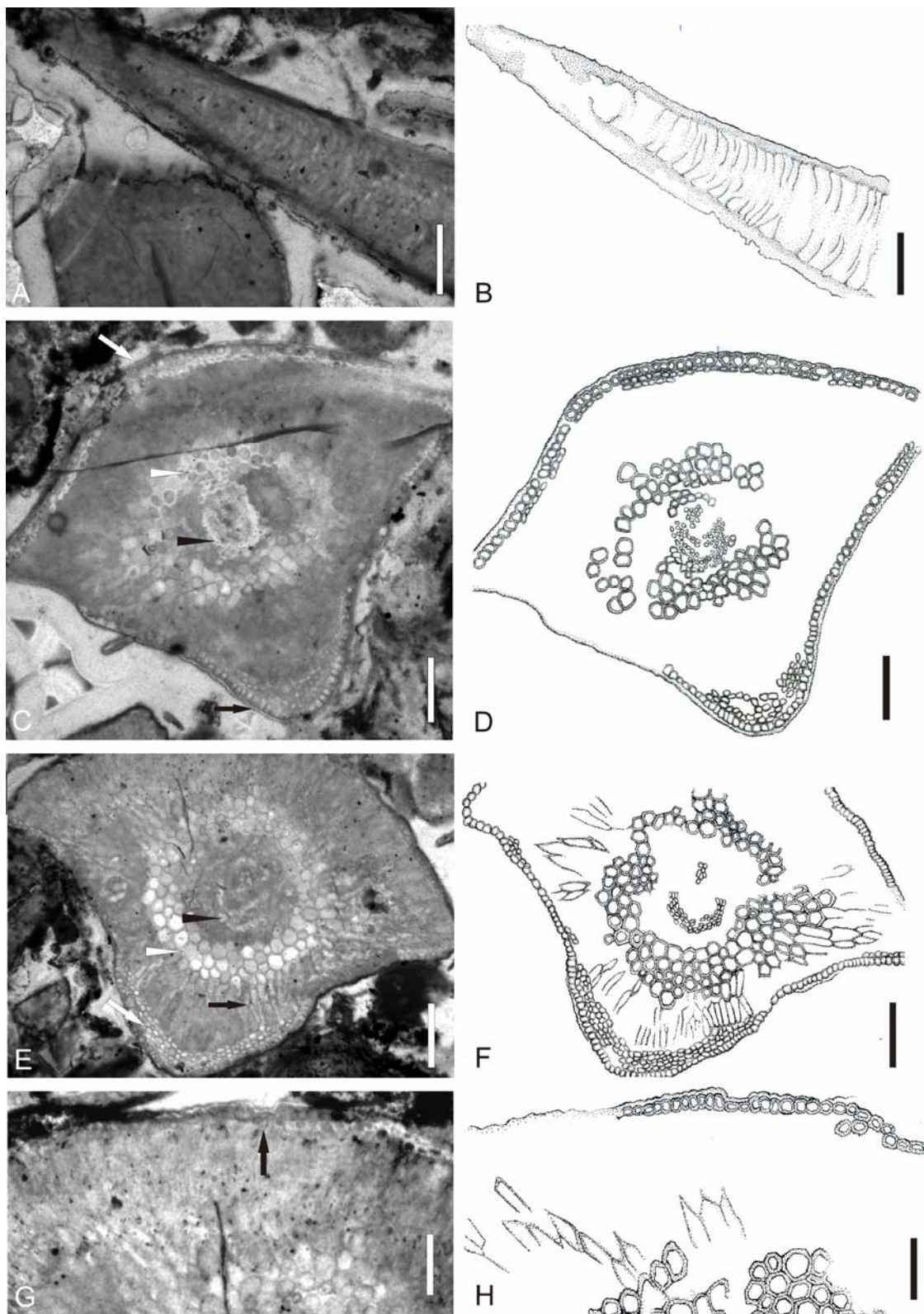


Figura 3

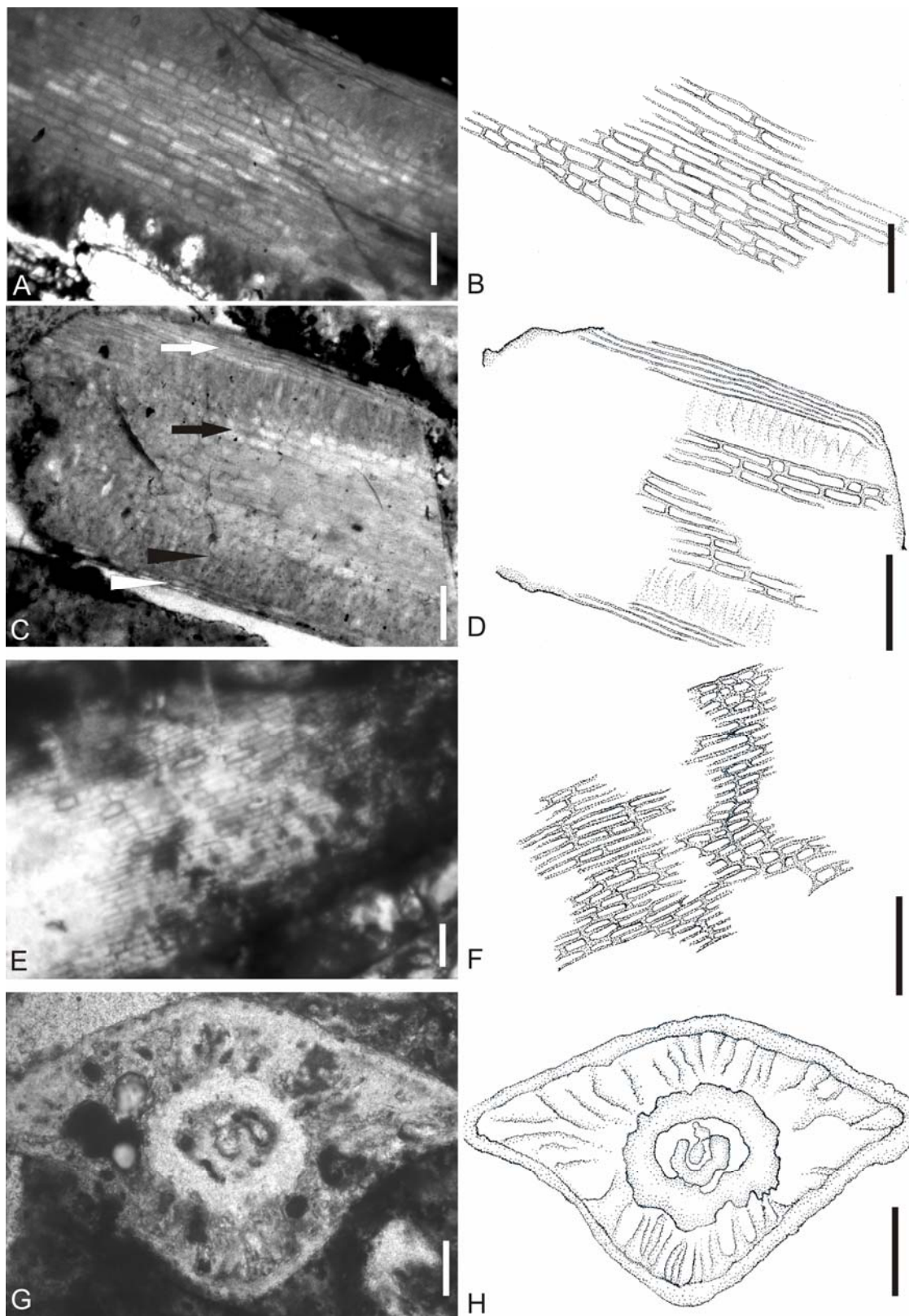


Figura 4

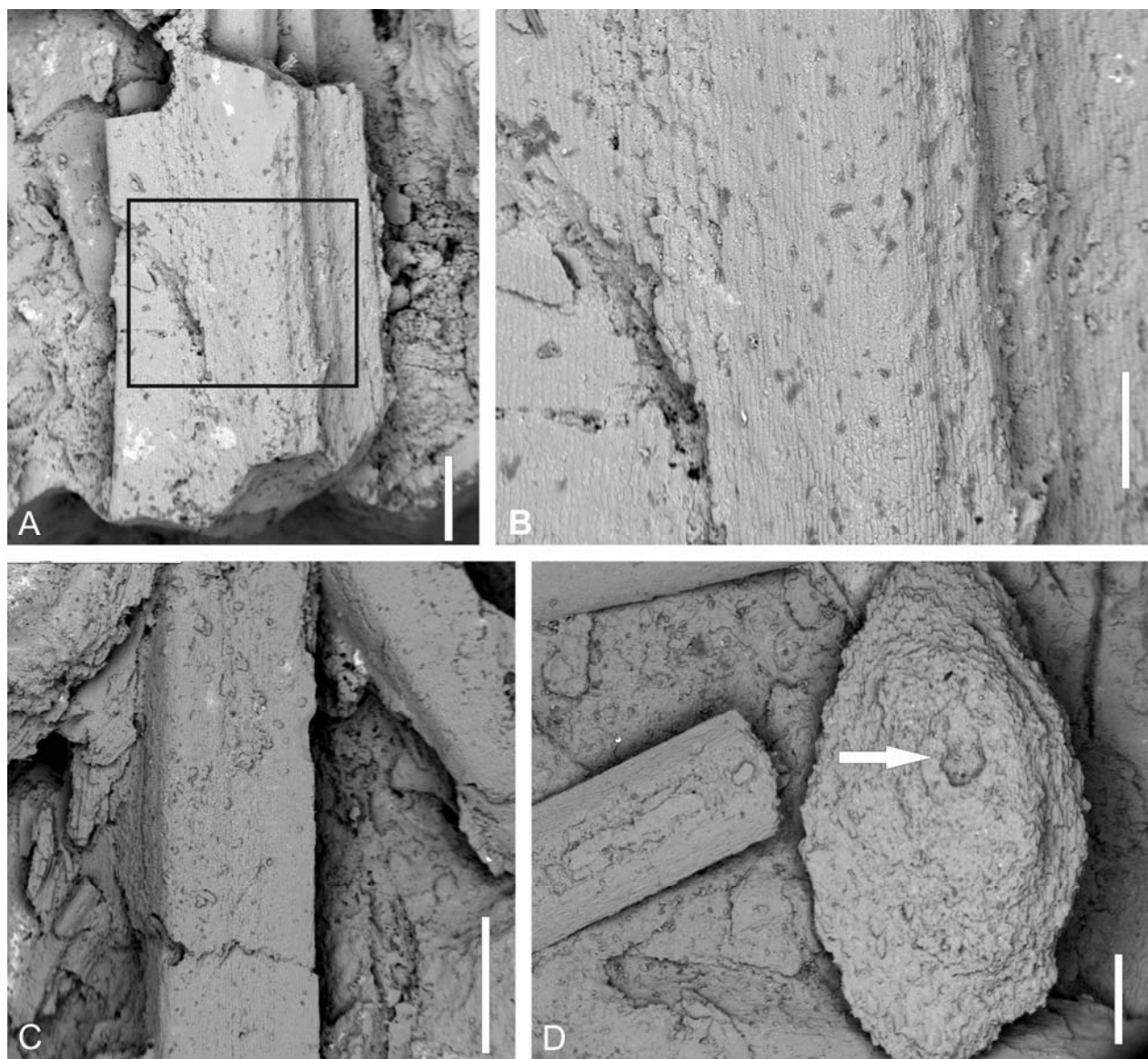


Figura 5

CONCLUSÕES

Apesar do vasto conhecimento acumulado a respeito das licófitas fósseis da Bacia do Paraná a análise do material apresentado trás novas contribuições, seja sugerindo uma interpretação para a variação das almofadas foliares, ou descrevendo a anatomia dos microfilos associados a caules. A diagnose sistemática empreendida foi o mais parcimoniosa possível e levou em conta as descrições mais importantes (Renault, 1890; Kräusel, 1961; Lemoigne e Brown, 1980). Assim os caules estudados foram tomados como *Lycopodiopsis derbyi*. As principais conclusões a respeito destes foram:

- ✓ A almofadas foliares típicas, como descritas em Thomas e Meyen (1984), portam na metade inferior a vesícula infrafoliar.
- ✓ As almofadas foliares podem variar em dois tipos além do usualmente descrito. Um tipo onde as dimensões são em geral menores, os limites são poucos evidentes e a vesícula infrafoliar é pouco desenvolvida. Outro tipo onde as dimensões são em geral maiores, a vesícula infrafoliar é mais pronunciada e um arco na metade superior fica evidente. Sugere-se um modelo ontogenético (**Figura 8**) onde a primeira variação é tida como pré-desenvolvimental às típicas almofadas e a segunda é mais madura do que as típicas.
- ✓ Nesse possível modelo precede a variação pré-desenvolvimental uma feição na qual os microfilos ainda estão conectados ao caule. Os microfilos sofrem abscisão, o que explica as altas concentrações de tais órgãos encontradas em associação aos caules.
- ✓ Como em descrições anatômicas anteriores os caules possuem um sifonostelo com anel de xilema exárqueo descontínuo e sem tecido vascular secundário. No córtex são vistos os traços foliares e sua porção mais interna é má preservada.
- ✓ Em grande parte dos caules preserva-se o córtex externo e o cilindro vascular. Isso se explica pela natureza das células de parede mais espessa tanto no anel vascular como no colênquima da porção mais externa do córtex. Certos cilindros se preservam ainda com uma porção interna que havia sido oca e é preenchida por sedimento; isso reflete pela má

preservação das células de parede fina da medula no típico sifonostelo da espécie (**Figura 9**).

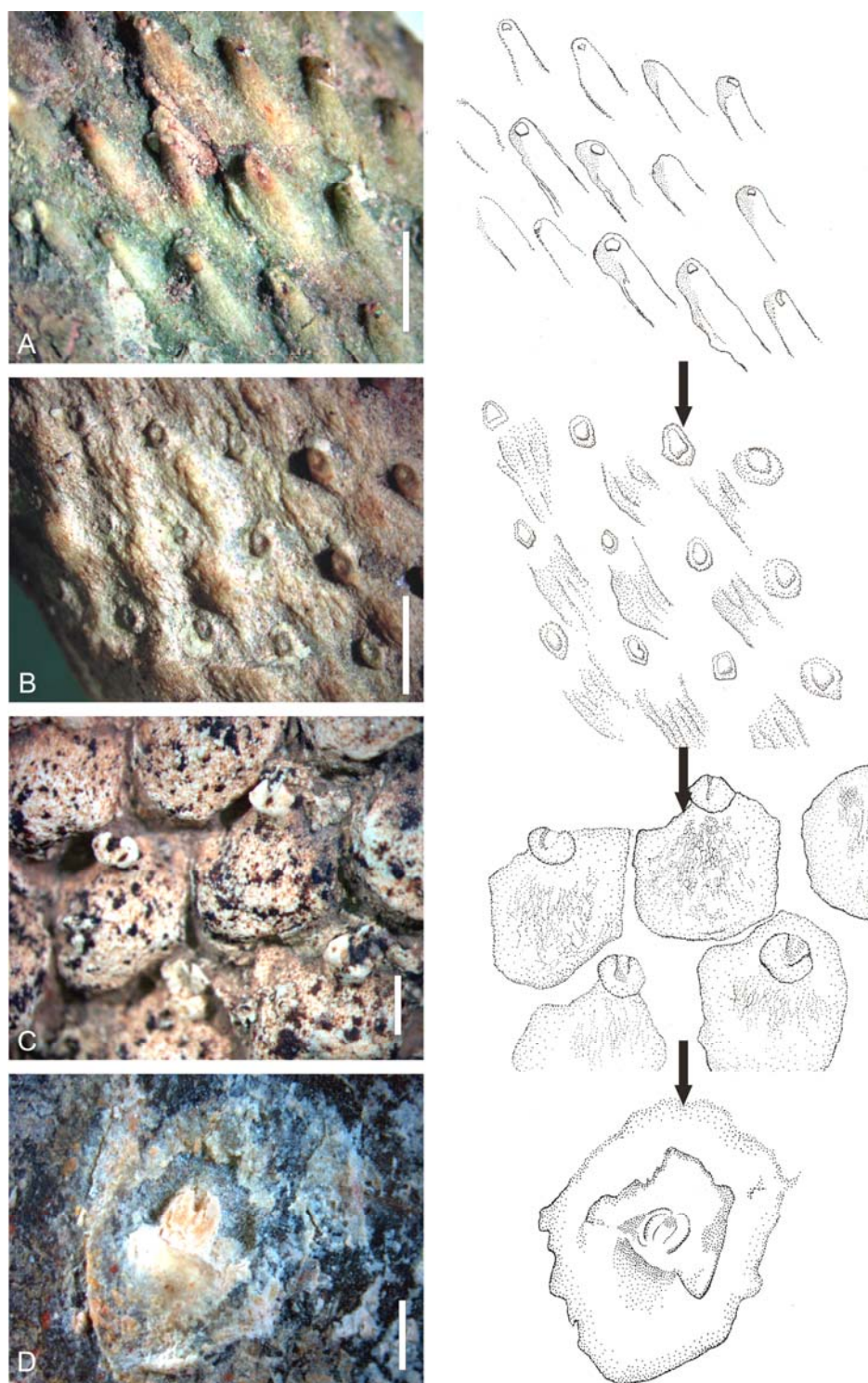


Figura 8: Modelo ontogenético sugerido. **A**, Micrófilos ainda conectados. Barra = 3mm. **B**, Almofadas em início de desenvolvimento. Barra = 3 mm. **C**, Almofadas em segundo estágio. Barra = 1 mm. **D**, Estágio de máxima maturação das almofadas. Barra = 2 mm.

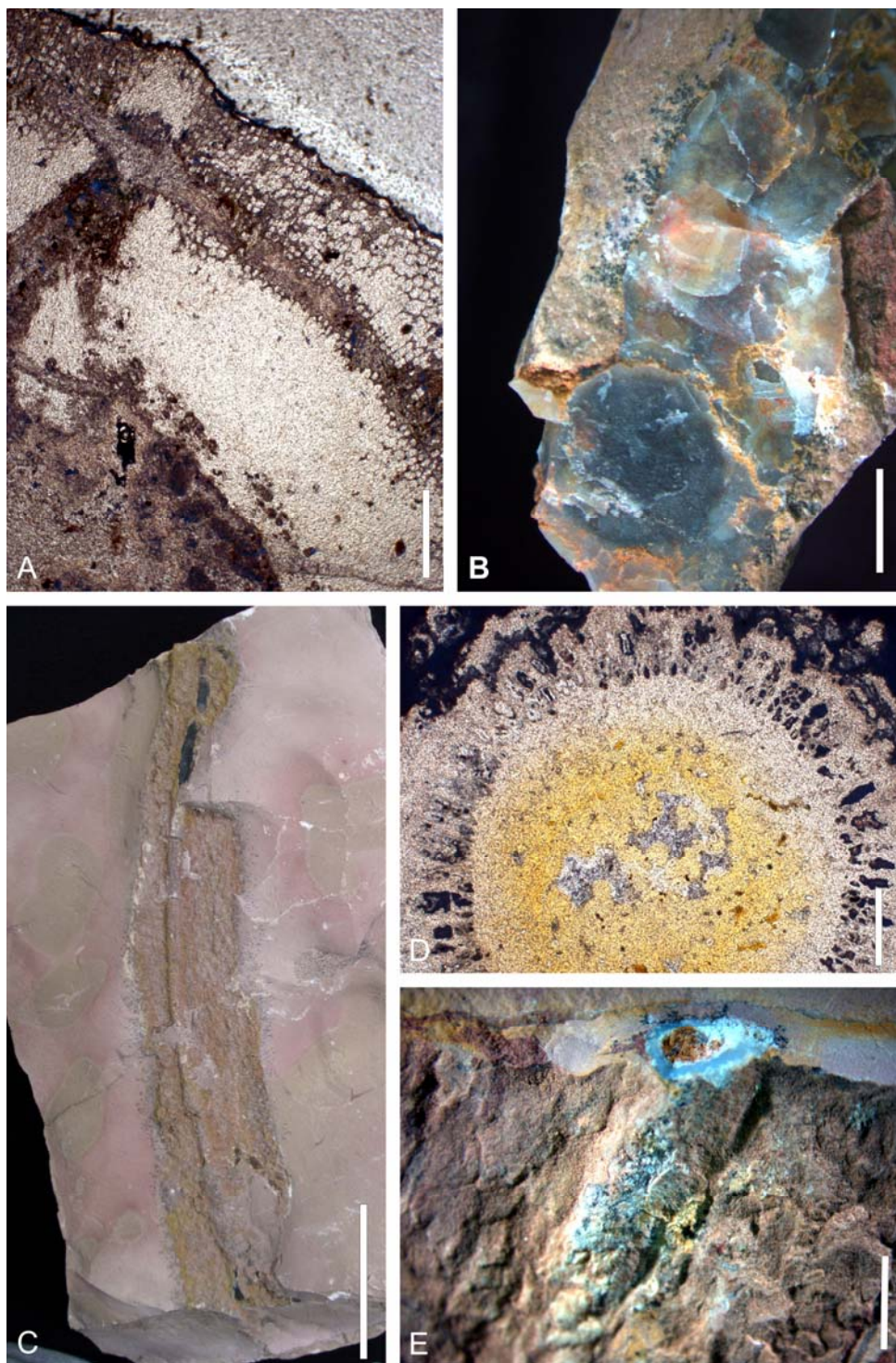


Figura 9: Relação entre anatomia e preservação. **A**, Corte transversal de um ramo mostrando má preservação do córtex interno. Barra = 200 μ m. **B**, Típico espécime que teve o cilindro vascular e o córtex externo preservados. Barra = 3 mm. **C**, Compressão de um ramo onde se destaca o cilindro vascular. Barra = 4 cm. **D**, Corte transversal mostrando medula mal preservada. Barra = 200 μ m. **E**, Ramo onde o cilindro oco foi preenchido. Barra = 3 mm.

Para os microfilos, descreve-se uma nova espécie dentro do gênero *Lepidophylloides*. Sobre *Lepidophylloides corumbatensis* sp. nov. (**Figura 10**) tem-se como principais conclusões:

- ✓ A espécie diferencia-se das previamente descritas para o gênero, todas para a Euramérica e Cataísia e se destaca por ser a primeira formalmente descrita para o Brasil e possivelmente para o Gondwana.
- ✓ A espécie não possui regiões estomáticas deprimidas nas porções laterais da superfície abaxial. Os estômatos se localizam na superfície adaxial sem, no entanto estarem em regiões deprimidas.
- ✓ O cilindro vascular em forma de crescente é similar as espécies da Cataísia (típicas do Permiano) o que pode indicar uma proximidade entre *L. corumbatensis* e tal flora, ou ainda refletir uma tendência para o grupo no Permiano.
- ✓ *L. corumbatensis* representa a primeira preservação de tecido paliádico numa espécie de *Lepidophylloides*. Tal fato atesta a excepcional preservação dos espécimes de Piracicaba e Bofete, nos quais foi erigida a espécie, uma vez que as células do paliçada são de parede fina e difíceis de se preservarem.
- ✓ Nos afloramentos da Pedreira de Rio Preto e em Canoinhas há microfilos que foram diagnosticados também com *L. corumbatensis*, mas tidos como mais transportados estando alterados e em menores quantidades.

De modo a integrar tais dados adquiridos num panorama geral da vegetação permiana da Bacia do Paraná procedeu-se um levantamento bibliográfico sobre todas as espécies encontradas em camadas do Grupo Passa Dois (**tabelas 1 e 2**). Embora preliminar (não são listados, por exemplo, nenhum dos gêneros de lenhos gimnospermicos) tal *checklist* mostra o provável contexto paleobotânico no qual as Lepidodendrales da Bacia do Paraná se desenvolveram.

No caso de *Lycopodiopsis derbyi*, a espécie foi encontrada principalmente junto de carófitas como *Leonardosia langei*, de filicíneas como *Pecopteris* sp. e de pteridospermas como

Glossopteris sp. Observa-se que tal flora num geral retrata um ambiente úmido (apenas as glossopterídeas têm caráter mais continental) e, portanto provavelmente viveria próxima das margens do mar interior para o qual se acredita existia na Bacia do Paraná.

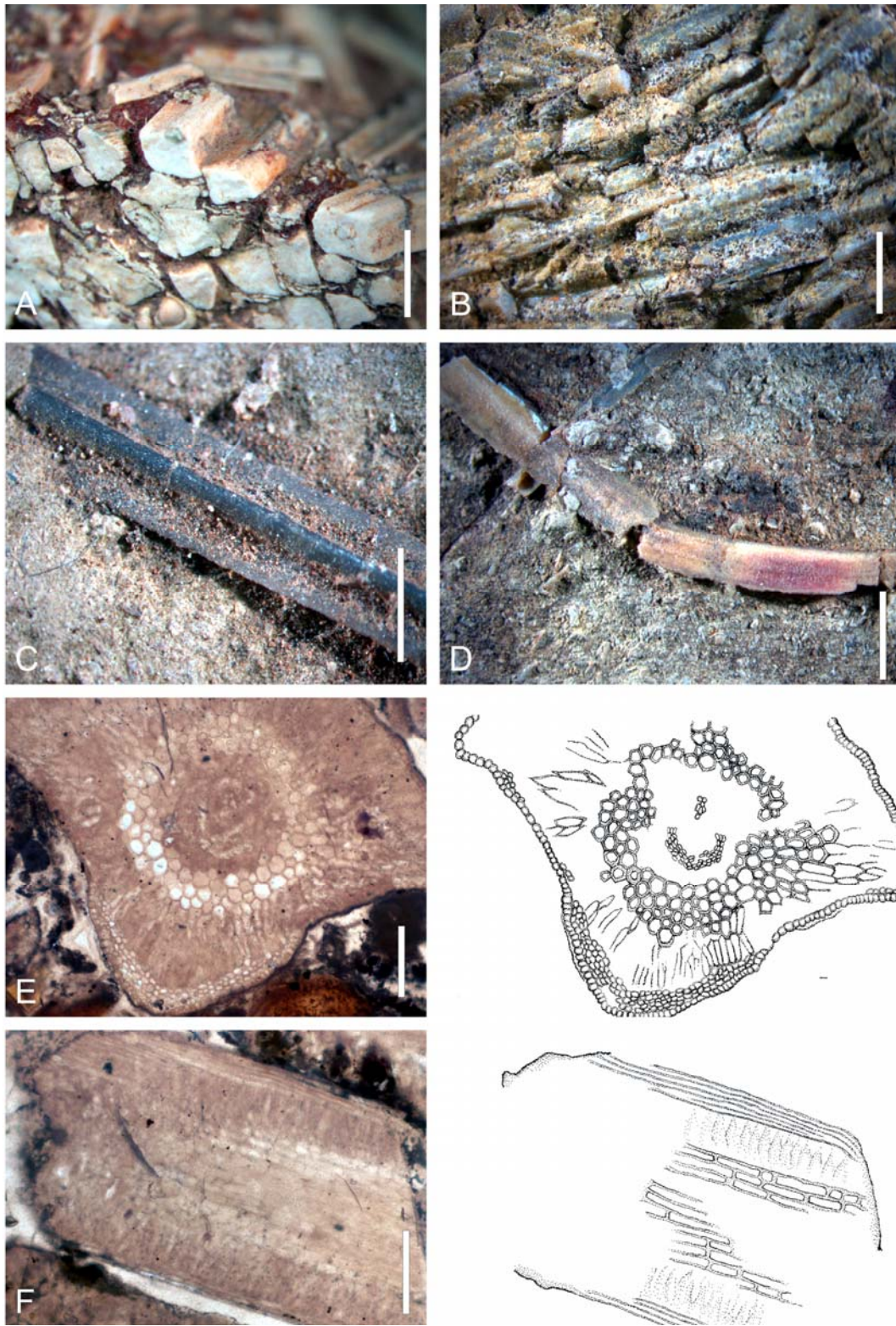


Figura 10: *Lepidophylloides corumbataensis*. **A, B.** Concentrações. Barra em A = 2 mm, em B = 3 mm. **C, D.** Micrófilos isolados. Barra em C = 2 mm, em D = 3 mm. **E,** Corte transversal. Barra = 400 μm . **F,** Corte longitudinal. Barra = 500 μm .

Tabela 1: Carófitas, briófitas, hepatófitas e licófitas encontradas no Grupo Passa Dois.

ESTADO	SP								PR								S	C	RS																			
LOCALIDADE	km 168 Castelo Branco	Conchas	Bofete	Batovi	Porangaba	Corumbatai	Tatui	Piracicaba	Bairro Santa Teresinha, Piracicaba	Laranjal Paulista	Rio Claro	Guareí	Porangaba	Artemis	Laras	Fluviópolis	Prudentópolis	Teresina-Reserva	Barreiro-Planalto de Reserva	Gonçalves Júnior	PR 239 - Três Bicos / Reserva	PR 487 - Cândido de Abreu / Três Bicos	Irati-Guramirim	Fluviópolis	BR 373 - Imbituva / Relógio	BR 277 - Irati, Relógio e Serra da Esperança	Joaquim Távora	BR476 - União da Vitória / Fluviópolis	Estrada Paulo de Frontin-Rondinha	Estrada de acesso entre BR476 e PRT153	PRT 153 - Paulo de Frontim / Irati	SC475 - Otacílio Costa / BR470	BR 470 - Pouso Redondo / trevo da BR116	BR 280 - Canoinhas / Porto União	BR 116 - Santa Cecília / Monte Castelo	Cerro Chato		
CAROPHYTA																																						
Leonardosia langei								24															19 23 23	19 23														
BRYOPHYTA																																						
Yguajemamus yucapirus																							19 23															
Guaramirini imbricatus																							23															
HEPATOPHYTA																																						
Thallites sp.									8												19																	
LYCOPHYTA																																						
Lycopodiopsis derbyi	3	6 7	7 14 25	7	7	7	12	7 11 12 13 17 25	25	11	11	11	11	6 8	1		2	7 10	7						17			7										1 2 5 7 9
? L. derbyi																																						
Lycopodiopsis spp.																								19														
? Lycoopdiopsis spp.																4	19						19		19													
Brasilodendron pedroanum								15 16																														
Lycopodiophloios dolianitii			25					25																														7
Sigillariaceae																																						
Micrófilos																	19			19	20		19		19										18			
Lepidophylloides corumbataensis																							25												25			

Tabela 2: Esfenófitas, filicíneas, pteridospermas e gimnospermas do Grupo Passa Dois.

ESTADO	SP															PR														S		C	RS					
LOCALIDADE	km 168 Castelo Branco	Conchas	Bofete	Batovi	Porangaba	Corumbatai	Tatui	Piracicaba	Bairro Santa Teresinha, Piracicaba	Laranjal Paulista	Rio Claro	Guareí	Porangaba	Artemis	Laras	Fluviópolis	Prudentópolis	Teresina-Reserva	Barreiro-Planalto de Reserva	Gonçalves Júnior	PR 239 - Três Bicos / Reserva	PR 487 - Cândido de Abreu / Três Bicos	Irati-Guramirim	Fluviópolis	BR 373 - Imbituva / Relógio	BR 277 - Irati, Relógio e Serra da Esperança	Joaquim Távora	BR476 - União da Vitória / Fluvópolis	Estrada Paulo de Frontin-Rondinha	Estrada de acesso entre BR476 e PRT153	PRT 153 - Paulo de Frontim / Irati	SC475 - Otacílio Costa / BR470	BR 470 - Pouso Redondo / trevo da BR116	BR 280 - Canoinhas / Porto União	BR 116 - Santa Cecília / Monte Castelo	Cerro Chato		
SPHENOPHYTA																																						
Paracalamites spp.																					20	20	19		19	19		19	19	19	19	18	18	18	18			
Sphenopteris spp.																										19	19			19	19	18	18	18	18			
Sphenophyllum spp.																									19			19	19					18				
Estróbilo																																	18					
FILICÍNEAS																																						
Pecopteris taguaiensis								22																														
Pecopteris spp.								22	22												20	20			19	19		19	19	19	19	18	18	18				
Psaronius cf. P. arrojadoi											22																											
Psaronius sp.		22						22																														
Tietea cf. T. singularis		22									22																											
PTERIDOSPERMAS																																						
Glossopteris spp.																					20	20	19	19	19	19		19	19	19	19	18	18	18				
Schizoneura spp.																					20	20				19		19	19	19	19	18		18				
Schizoneura ? spp.																																18						
Dizeugotheca spp.																										19								18				
Dizeugotheca ? spp.																					20	20			19			19			19		18	18				
Dichophyllites spp.																						20								19		18	18	18				
Ilexoidephyllum permicum																					20	20			19			19	19									
GYMNOSPERMAS																																						
CONIFEROPHYTA																																						
Krauselcladus canonhensis																																	18	18	21	18		
Krauselcladus ? spp.																							19															

LEGENDA		
Formação Estrada Nova	Formação Rio do Rasto	Formação Corumbataí
	Formação Teresina	
	Formação Serra Alta	
Formação Irati		

Referências utilizadas nas tabelas 1 e 2:

1. Rigby (1970);
2. Sommer & Trindade (1966);
3. Rösler *et al.*, (1985 *apud* Bernardes de Oliveira & Alarcon, 1999);
4. Oliveira-Babinski & Rösler (1984);
5. Lima & Cunha (1976 *apud* Bernardes de Oliveira & Alarcon, 1999);
6. Fúlfaro (1964);
7. Kráusel (1961);
8. Mezzalira (1980) e Alarcon (1998);
9. Martins & Sena-Sobrinho (1951);
10. Maack (1947);
11. Mendes (1946);
12. Rao (1940);
13. Steinmann (1924);
14. White (1908);
15. Arber (1905 *apud* Bernardes de Oliveira & Alarcon, 1999);
16. Zeiller (1895);
17. Renault (1890);
18. Rohn *et al.* (1997a);
19. Rohn *et al.* (1997b);
20. Rohn *et al.* (1997c);
21. Fanton *et al.* (2006);
22. Tavares (2007);
23. Cortez (2008);
24. Faria & Ricardi-Branco (2009);
25. Presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcon, C. M. 1998. *Licófitas da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Neopermiano, Bacia do Paraná, na região de Ártemis, Município de Piracicaba, SP, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Guarulhos, 97 pp.

Bek, J., Drábková, J., Dašková, J., Libertín M. 2008. The sub-arborescent lycopsid genus *Polysporia* Newberry and its spores from the Pennsylvanian (Bolsovian–Stephanian B) continental basins of the Czech Republic. *Review of Palaeobotany and Palinology*, **152**: 176-199.

Bernardes-de-Oliveira, M. E. C. e Rösler, O. 1983. Licófitas de Fluviópolis (Permiano Superior) no sul do estado do Paraná. *Bol. IG-USP*, **15**: 84-89.

Bernardes-de-Oliveira, M.E.C; Alarcon, C. M. 1999. Licófitas Neopaleozóicas na Bacia do Paraná (Brasil). I- Avaliação Estratigráfica Geral, com ênfase em *Licopodiopsis derbyi* Renault. *Revista da Universidade de Guarulhos/Geociências*, **4**: 35-49.

Cortez, I. 2008. *Briófitas e carófitas permianas da Formação Teresina/Corumbataí, bacia do Paraná, Brasil*. Trabalho de conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.

Chaloner, W. 1967. Lycophyta. In: E. Boureau (ed.), *Traité de Paleobotanique, Tome II: Bryophyta, Psilophyta et Lycophyta*, Masson et Cie Editeurs, Paris, p.: 437-802.

Chaloner, W. G., Leistikow, K. V., Hill, A. 1979. *Brasilodendron* gen. nov. and *B. pedroanum* (Carruthers) comb. nov., a permian lycopod from Brazil. *Review of Palaeobotany and Palinology*, **28**:117-136.

Carruthers, W. 1869. On the plant-remains from the Brazilian coal-beds, with remarks on the genus *Flemingites*. *Geol. Mag.*, **6**: 151-156.

Cúneo, R. N. 1996. Permian phytogeography in Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **125**: 75-104.

Edwards, W. N. 1952. *Licopodiopsis*, a Southern hemisphere Lepidophyte. *Palaeobotanits*, **1**: 159-164.

Faria, R. S. e Ricardi-Branco, F. 2009. *Leonardosia langei* Sommer (Charophyta, Porocharaceae) from Corumbataí Formation (Guadalupian), Piracicaba, SP, Brazil: First register of an antheridium and of corticated thalli. *Ameghiniana* **46**(1).

Fanton, J.C.M.; Ricardi-Branco, F.; Ricardi, M.F.; Rohn, R. 2006. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **9**: 221-234.

Fúlfaro, V.J. 1964. A Formação Corumbataí na região de Conchas, Estado de São Paulo. *Boletim Sociedade brasileira de Geologia*, **13**: 43-53.

Graham, R. 1935. An anatomical study of the leaves of arborescent lycopods. *Ann. Bot.*, **49**: 587-608.

Hirmer, M. 1927. *Handbuch der Paläobotanik*. I. R. Oldenbourg, Berlin, 708pp.

Jennings, J. R. 1972. A new lycopsid genus from the Salem Limestone (Mississippian) of Illinois. *Palaeontographica B*, **137**: 72-84.

Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellog, E. A., Stevens, P. F., Donoghue, M. J. 2002. *Plant systematics: a phylogenetic approach*, 2nd ed. Sinauer Assoc., Sunderland, Massachusetts.

Kräusel, R. 1961. *Lycopodiopsis derbyi* Renault und einige andere Lycopodiales aus de Gondwana-Schichten. *Palaeontographica B*, **109** (1/4): 62-92.

Leisman, G. A. 1970. A petrified sporangiole and its spores from the Middle Pennsylvanian of Kansas. *Palaeontographica (B)*, **129**: 166-177.

Lemoigne, Y e Brown, J. T. 1980. Revision du Genre *Lycopodiopsis* B. Renault, 1980. *Géobios*, **13** (4): 555-577.

Martins, E.A. & Sena-Sobrinho, M. 1951. *Lycopodiopsis derbyi* (Renault) e *Glossopteris* sp. na Estrada Nova (Permo-Triássico) do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **23**: 323-326.

Mendes, J.C. 1946. A idade da Estrada Nova em face da Paleobotânica. In: II Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia. Petropolis, RJ. *Anais*, **3**: 385 – 403.

Mezzalira, S. 1980. Bioestratigrafia do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista IG*, **1**: 15-34.

Milani, E. J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-oriental*. Tese de Doutorado, Inst. Geoc., Univ. Fed. Rio Grande do Sul.

Milani, E. J.; Faccini, U. F.; Scherer, C. M. S.; Araújo, L. M.; Cupertino, J. A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP, Série Científica*, **29**: 125-173.

Milani, E. J. e Zalán, P. V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. *Episodes*, **22**: 199–205.

Milani, E. J.; Melo, J. H. G.; Souza, P. A.; Fernandes, L. A.; França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. **15**, n. **2**: 265-287

Pita, P. B.; Menezes, N. L.; Prado, J. 2006. Morfologia externa e interna das folhas vegetativas, esporofilos e esporângios de espécies de *Huperzia* Bernh. (Lycopodiaceae – Pteridophyta) do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. **29**, n. **1**: 115-131.

Petri, S. e Fúlfar V. J. 1981. Fanerozóico. In: Queiroz, T.A. (ed.), *Geologia do Brasil*, Editora da USP, São Paulo.

Rao, H. S. 1940. On the anatomy of *Lycopodiopsis derbyi* Renault with remarks on the southern Paleozoic lycopods. *Proc. Ind. Ac. Sci.*, **11**: 197-216.

Raven, P. H., Evertand R. F., Eichhorn, S. E. 2005. *Biology of Plants*, 7th ed. Worth Publishers, New York.

Reed, F. D. 1941. Coal flora studies: Lepidodendrales. *Bot. Gaz.*, **102**: 663-683.

Renault, M. B. 1890. Sur une nouvelle Lycopodiacee houillere (*Lycopodiopsis derbyi*). *Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de L'Academie des Scienses*, **110**: 869-871.

Ricardi-Branco, F. e Torres, M. R. 2003. Licófitas presentes na Formação Rio Bonito (Permiano Inferior) na área de Figueira, PR. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**: 19-28.

Rigby, J. F. 1970. Distribution of Lower Gondwana plants in the Parana basin of Brazil. *In: Gondwana Symposium, 2. Pretoria, Proceedings and Papers: 575-584*

Rohn, R. 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. I Workshop - Problems in the Western Gondwana Geology, South America - Africa correlations: du Toit revisited (Gramado), *Extended Abstracts*, 151-157.

Rohn, R.; Pennatti, J. R.; Ianuzzi, R.; Rösler, O.; Czajkowski, S.; Cavalheiro, M.C.T.; Mendonça, E; Ricardi-Branco, F. 1997a. Plant megafossil occurrences in the Teresina and Rio do Rasto formations (Upper Permian of the Paraná Basin) in the State of Santa Catarina, Brazil. *Revista da Universidade de Guarulhos – Geociências II*, **número especial**: 49-57.

Rohn, R.; Rösler, O.; Pennatti, J. R.; Czajkowski, S.; Ianuzzi, R.; Mendonça, E.; Ferreira, A. R.; Pereira, S. C. A.; Quitério, L. 1997b. Plant megafossil occurrences in the Teresina and Rio do Rasto formations (Upper Permian of the Paraná Basin) in the southern region of the Paraná State, Brazil. *Revista da Universidade de Guarulhos – Geociências II*, **número especial**: 58-68.

Rohn, R.; Rösler, O.; Pennatti, J. R.; Davies, H. K.; Cavalheiro, M. C. T. 1997c. Plant megafossil occurrences in the Teresina and Rio do Rasto formations (Upper Permian of the Paraná Basin) in the Cândido de Abreu-Reserve region, State of Paraná, Brazil. *Revista da Universidade de Guarulhos – Geociências II*, **número especial**: 69-75.

Rohn, R. e Rösler, O. 2000. Middle to Upper Permian phytostратigraphy of the Eastern Paraná Basin. *Revista da Universidade de Guarulhos*, **5**: 69-73.

Sommer, F.W. e Trindade, N.M. 1966. *Lycopodiales* do Gondwana brasileiro. *Boletim do DNPM*, **230**: 1-31.

Souza, P. 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **138**: 9-29.

Snigirevskaya, S. N. 1958. Anatomical investigation of fossil leaves (phylloids) of certain Lycopside in coal balls of Donetz Basin Coalfields (em russo). *Bot. Zh. Acad. Nauk.*, **43**: 106-112.

Sporne, K. R. 1966. The morphology of the pteridophytes. The structure of ferns and allied plants. 2nd ed. Hutchinson University Library, London.

Steinmann, G. 1924. Über *Lycopodiopsis*. *Paläont. Z.*, **6**: 257-263.

White, D. 1908. Report on the fossil flora of the Coal Measures of Brasil In: White, I. C. (ed.), *Final report Comm. Estud. Minas Carv. Pedra Brasil*, 337-617.

Tavares, T. M. V. 2007. *Filicíneas permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, nordeste da Bacia do Paraná*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Taylor, T. N. e Taylor, E. L. 1993. *The Biology and Evolution of Fossil Plants*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 982 pp.

Thomas, B. A. e Meyen, S. V. 1984. A system of form-genera for the upper palaeozoic lepidophyte stems represented by compression-impression material. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **41**: 273-281.

Wang S.; Tian, B.; Gui-Ren, C. 2002. Anatomically preserved lepidodendralean plants from Permian coal balls of China: leaves of *Lepidophylloides* Snigirevskaya. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **122**: 63-76.

Zalán, P. V., Wolff, S., Astolfi, M. A., Vieira, I. S., Conceição, J. C., Appi, V., Neto, E., Cerqueira, J. R., Marques, A. 1991. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin. Seventh International Gondwana Symposium (São Paulo, 1988), *Proceedings*, 83-117.

Zeiller, A. G., 1898. Sur un Lepidodendron silicifié du Brésil. *C. r. Ac. Sc. Paris*, 127, 245-247.

ANEXO

De: "Rev. Palaeobotany and Palynology" <palbo-eo@elsevier.com>
Assunto: PALBO2105: Notice of manuscript number
Data: Seg, Dezembro 15, 2008 7:10 am
Para: rafaelfaria@ige.unicamp.br

Dear Mr. Faria,

Your submission entitled "Lycopodiosis derbyi Renault from the Corumbataí Formation in the State of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, southern of Brazil): New data from compressed silicified stems" has been assigned the following manuscript number: PALBO2105.

You will be able to check on the progress of your paper by logging on <http://ees.elsevier.com/palbo/> as Author.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Peggy Tan
Journal Manager
Review of Palaeobotany and Palynology