

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E BIOLOGIA EVOLUTIVA

THAÍS SILVANA DE CARVALHO

ASSEMBLEIA FITOFOSSILÍFERA DE *LYCOPODIOPSIS* cf. *DERBYI* DA FORMAÇÃO
CORUMBATAÍ, BACIA DO PARANÁ, SÃO PAULO, BRASIL

SÃO CARLOS – SP

2019

THAÍS SILVANA DE CARVALHO

ASSEMBLEIA FITOFOSSILÍFERA DE *LYCOPODIOPSIS cf. DERBYI* DA
FORMAÇÃO CORUMBATAÍ, BACIA DO PARANÁ, SÃO PAULO, BRASIL

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais

Orientador: Prof^o Dr. Marcelo Adorna Fernandes

Co-orientadora: Prof^a Dra. Frésia Ricardi-Branco

São Carlos – SP

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Thaís Silvana de Carvalho, realizada em 25/09/2019:

Prof. Dr. Marcelo Adorna Fernandes
UFSCar

Profa. Dra. Aline Marcelé Ghilardi
UFSCar

Profa. Dra. Carolline Zatta Fieker
Esfera Ambiental

Dedico à minha família em especial aos meus pais e à meu irmão.

DEDICATÓRIA

Agradeço aos meus pais maravilhosos Marilene e José Vicente, e ao meu irmão incrível William, pelo constante apoio mesmo distantes, pelo eterno conforto quando próximos, e pelo insubstituível carinho em qualquer situação. Sou eternamente grata por ser agraciada por essa família, não há palavras para descrever minha gratidão e amor!

Sou grata ainda a todos os meus grandes amigos, de momentos fora do laboratório, de morada, de balada, etc., em especial Caroliny, Bruna e Isabela por dividirem comigo muito mais que um lar. À Renata, Gabrielle e Thaís, pela amizade e por estarem presentes em todos os meus grandes e piores momentos desde 2012, indo muito além de convivência acadêmica.

Agradeço às minhas amigas de infância Thaís Grou e Thuany, que são como irmãs para mim, e se fazem presentes mesmo que a km de distância, com todo apoio e compreensão, não importa qual situação seja.

À minha psicóloga Dra. Carolina Molena, pelo acompanhamento e auxílio em momentos tão delicados, e me ensinar a lidar com minhas crises.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Marcelo Adorna Fernandes por todo apoio, atenção, amizade e orientação, mesmo nos momentos mais delicados da vida. Agradeço também pela oportunidade concedida de trabalhar no Laboratório de Paleoecologia e Paleoicnologia (LPP), pelos incentivos e pela confiança ao longo destes anos.

Á Professora Dra. Frésia Soledad Ricardi-Branco por ter acolhido meu pedido de cooperação, pela atenção dada ao trabalho, pela receptividade e por sua essencial ajuda com textos, artigos, dissertações e discussões.

Às alunas Camila Dourado e Alicia Alves pela ajuda no início dessa pesquisa, e suas energias cativantes.

Aos meus colegas de laboratório Pedro Buck, Bernardo Peixoto, Jorge Moura, Aline Ghilardi, Tito Aureliano e Carolina Isabel pelo incansável e árduo trabalho nas inúmeras coletas realizadas, sou extremamente grata.

Á Carolina Isabel e ao Jorge Moura, pela amizade e apoio em diversos momentos e situações; pelos inúmeros desabafos e conversas. Agradeço também por compartilhar da minha paixão por divulgação científica e educação.

Á Aline Ghilardi pela ajuda além das coletas, nas análises e discussões, e ajuda com textos, livros, fotos e confecção de imagens.

Á Luciana Fernandes, por toda a ajuda com a edição e captura de imagens, e digitalização de todos os documentos e material cedidos para a realização do presente estudo. Agradeço ainda seu olhar e percepção, em virtude de sua descoberta do afloramento.

Á Angélica Maria Penteadó Martins Dias, coordenadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides da Região Sudeste Brasileira (INCT Hympar Sudeste – Processo FAPESP 2008/57949-4 e CNPQ 573802/2008-4) pela disponibilidade de uso dos equipamentos (MEV e Estereomicroscópio).

Ao Jardim Botânico de Brasília, por ceder duas exsiccatas para a melhor compreensão e estudos dos materiais coletados.

Aos servidores da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais pela atenção e presteza em auxiliar nas mais diversas questões.

Agradeço à Capes/Cnpq pelo financiamento da bolsa durante os anos de pesquisa. Agradeço a todos e todas que lutaram e lutam em prol da educação e conservação da vida e meio ambiente, assim como todos os recursos naturais, preservando o que nos resta, e hoje posso

estudar tais resquícios e a vida inimaginável aos olhos do ser humano, que participa a cada segundo da (des)construção da vida do Planeta.

Por fim sou imensamente grata pela oportunidade de vivenciar e contribuir para a pesquisa paleontológica brasileira, em uma Universidade Federal, onde foi possível me juntar a tantas mulheres cientistas que lutaram e continuam lutando pelo seu e pelo nosso espaço na Ciência. Sou grata ainda, pelos diversos momentos em que pude devolver para a sociedade meus privilégios e conquistas, no decorrer desses anos de formação, por meio de eventos e organizações em prol da educação e divulgação científica.

“Temos sido um agente geológico nefasto, e um elemento de antagonismo terrivelmente bárbaro da própria natureza que nos rodeia”

Euclides da Cunha

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	14
<i>Lycopodiopsis derby</i>	15
Contexto Geológico.....	18
JUSTIFICATIVA.....	19
OBJETIVO	19
ÁREA DE ESTUDO	20
CAPÍTULO 1	24
ARTIGO: Assembleia fitofossilífera de <i>Lycopodiopsis</i> cf. <i>derbyi</i> da Formação Corumbataí, Bacia do Paraná, São Paulo, Brasil	
Resumo	25
Introdução	26
Contexto Geológico	28
Materiais e Métodos.....	29
Resultados e Discussões	35
Sistemática Paleontológica.....	39
Paleoambiente.....	44
Paleoflora da formação Corumbataí.....	35
CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Margens de uma rodovia na cidade de Rio Claro, no estado de São Paulo	21
Figura 2 - Estereomicroscópio e Microscópio Eletrônico de Varredura.	22
Figura 3 – Parte dos espécimes coletados depositados na coleção do Laboratório de Paleocologia e Paleocnologia – LPP	23
Figura 1 (Capítulo 1): Mapa geológico do estado de São Paulo, destacando o local do afloramento.	30
Figura 2 (Capítulo 1): Perfil estratigráfico e visão geral e aérea do Afloramento	31
Figura 3 (Capítulo 1): Modelo esquemático e detalhe dos componentes morfológicos analisados das almofadas foliares de <i>L. derbyi</i> .	31
Figura 4 (Capítulo 1): Modelo esquemático das medições morfométricas realizadas nos caules de <i>L. derbyi</i> .	32
Figura 5 (Capítulo 1): Mapa das ocorrências de <i>Lycopodiopsis</i> cf. <i>derbyi</i> no Estado de São Paulo.	33
Figura 6 (Capítulo 1): Tabela com as localidades de ocorrência de <i>Lycopodiopsis</i> cf. <i>derbyi</i> pelos afloramentos do estado de São Paulo, na Formação Corumbataí, Bacia do Paraná.	34
Figura 7 (Capítulo 1): Detalhe da assembleia fitofossilífera de caules de <i>Lycopodiopsis</i> cf. <i>derbyi</i> . Registro <i>in situ</i> dos exemplares.	35
Figura 8 (Capítulo 1): Registro <i>in situ</i> da assembleia de <i>Lycopodiopsis</i> cf. <i>derbyi</i> . Destaque para o caule com mais de 1000 mm de comprimento.	36
Figura 9 (Capítulo 1): Tabela com os dados morfométricos das amostras classificadas como pertencentes ao nível externo de preservação.	37

- Figura 10 (Capítulo 1):** Tabela com os dados morfométricos das amostras classificadas como pertencentes ao nível intermediário de preservação. 38
- Figura 11 (Capítulo 1):** Tabela com os dados morfométricos das amostras classificadas como pertencentes ao nível interno de preservação. 39
- Figura 12 (Capítulo 1):** Prancha com os caules de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, e seus diferentes níveis corticais encontrados nas amostras. 42
- Figura 13 (Capítulo 1):** Caules onde podem ser observados dois níveis corticais diferentes, e a dicotomia de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*. 43
- Figura 14 (Capítulo 1):** Resultado da análise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), destacando o cristal de cálcio. 45

RESUMO

As licófitas mais abundantes do registro fóssil da Formação Corumbataí, Bacia Paraná, são as *Lycopodiopsis derbyi* Renault, 1890, encontradas em estratos guadalupianos. Os registros de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* apresentam uma ampla ocorrência nas rochas do Grupo Passa Dois, o que torna este *taxón* de grande importância no cenário florístico do Gondwana sul ocidental, constituindo parte da vegetação costeira de extensas planícies alagadas no território que hoje é o Estado de São Paulo e Sul do Brasil. Realizou-se o presente estudo na cidade de Rio Claro, estado de São Paulo em um afloramento, onde uma inédita e expressiva assembleia fitofossilífera foi preservada. Os indivíduos encontrados foram atribuídos a *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* Renault, preservados como impressões-compressões, e moldes-contramoldes e em direção Norte-Sul. Os mesmos, encontravam-se distribuídos em uma ampla área, com concentração massiva de indivíduos, ocorrendo inclusive sobreposição, indicando as possíveis condições tafonômicas que originaram a assembleia. A fragmentação dos indivíduos ocorreu no processo das coletas, visto que *in situ* os mesmos encontravam-se inteiros. Há dicotomia em alguns fragmentos caulinares e por toda a assembleia ocorreu uma preservação diversa entre os indivíduos, com a preservação de três níveis distintos de decorticação caulinar (característica do grupo das Lepidodendrales). Este registro compreende possivelmente um registro fitofossilífero massivo monoespecífica parautóctone não seletiva. As análises morfológicas levaram a corroborar a característica de decorticação do grupo, visto que em um mesmo indivíduo houve a preservação de dois níveis corticais. Além disso, houve o registro de um ramo com mais de um metro de comprimento. Foi o primeiro registro de uma proporção extensa para grupo, que apesar de serem arbóreas, acreditava-se que não se desenvolviam a altas alturas. Esta assembleia apresenta o primeiro registro de mortalidade em massa de *Lycopodiopsis derbyi*, descrito para a Formação Corumbataí. A partir das análises e posterior interpretação dos dados, foi possível concluir que apesar da concentração massiva de indivíduos, o evento que ocasionou sua deposição, não foi de grande energia, já que se preservou tantos caracteres anatômicos, e ainda possibilitou a preservação de um peixe articulado, em conjunto com os ramos. Além disso, as análises de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e imagens de estereomicroscópio e microscópio eletrônico de varredura (MEV), indicou a ocorrência de sais, que sugere um paleoambiente de deposição, de áreas encharcadas com água salobra.

ABSTRACT

The most abundant lycophytes from the fossil record of the Corumbataí Formation, Paraná Basin, are the *Lycopodiopsis derbyi* Renault, 1890, found in Guadalupian strata. *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* present a wide occurrence in the rocks of the Passa Dois Group, which makes this taxón of great importance in the floristic scenery of the southwestern Gondwana, constituting part of the coastal vegetation of extensive flooded plains in the territory that today is the State of São Paulo and Southern Brazil. Brazil. The present study was carried out in the city of Rio Claro, State of São Paulo, in an outcrop, where an unprecedented and expressive phytopossiliferous assembly was preserved. The specimens found were attributed to *Lycopodiopsis* cf. Renault *derbyi*, preserved as compressão-impressions, and counter-molds and in a North-South direction. They were distributed over a large area, with massive concentration of specimens, including overlap, indicating the possible taphonomic conditions that led to the assembly. The fragmentation of the specimens occurred in the collection process, since in situ they were whole. There is a dichotomy in some stem fragments and throughout the assembly, there was different preservation among the specimens, with the preservation of three distinct levels of cauline decortication (characteristic of the group of *Lepidodendrales*). This register possibly comprises a non-selective parautochthonous monospecific assembly as it is a massive assembly. The morphological analyzes led to corroborate the decortication characteristic of the group, since in the same specimen there was the preservation of two cortical levels. Also, a branch over one meter long was recorded. It was the first record of a large group-to-group ratio, which although they were arboreal, were believed not to develop at high heights. This assembly presents the first record of mass mortality of *Lycopodiopsis derbyi*, described for the Corumbataí Formation. From the analysis and further interpretation of the data, it was possible to conclude that despite the massive concentration of individuals, the event that caused their deposition was not of great energy, as it preserved so many anatomical characters, and also allowed the preservation of a fish. articulated together with the branches. Also, dispersive energy spectroscopy (EDS) and stereomicroscope and scanning electron microscope (MEV) images indicated the occurrence of salts, which suggests a deposition paleoenvironment of brackish water-soaked areas.

INTRODUÇÃO GERAL

As licófitas, representam um grupo antigo de plantas, com um amplo e diversificado registro fóssil divergente de plantas vasculares, ao longo de 420 milhões de anos, incluindo algumas das primeiras plantas terrestres conhecidas (Bateman *et al.* 2007; Wikström e Nick, 2000; DiMichele e Skong, 1992).

Tal fato, o caracteriza como essencial para a composição florística paleozoica tardia (DiMichele e Skong, 1992). Representantes destas plantas estão presentes em todos os continentes do planeta (Wikström e Nick, 2000).

Durante toda a irradiação pelo globo, as licófitas acabaram por desenvolver características que, a priori, se assemelham àquelas de outras traqueófitas, como a presença das folhas, os sistemas radiculares centralizados, o desenvolvimento bipolar, o xilema secundário, os tecidos protetores secundários, os sifonostelos, os estróbilos, e alguns órgãos semelhantes a sementes (DiMichele e Skong, 1992).

Durante os períodos Carbonífero e Devoniano, nas florestas pantanosas, as licófitas eram notáveis quanto à sua diversidade e tamanho, dominando os ambientes. Essa diversidade ocorreu majoritariamente entre as plantas da Ordem Lepidodendrales, que dentre as licófitas foram as que atingiram as maiores dimensões. Estas compreendem os indivíduos mais notáveis e dominantes na reconstrução das florestas pantanosas do Carbonífero, em que ocorreu o auge da sua dispersão (DiMichele *et al.*, 1992; Wikström e Nick, 2000; Taylor e Taylor, 1993; Faria, 2009). Hoje, o grupo é bem menos diversificado, constituindo menos de 1% de todos os vegetais terrestres existentes, em apenas três famílias linhagens principais, Lycopodiaceae, Selaginellaceae e Isoetaceae, que surpreendem pelo conservadorismo morfológico (DiMichele e Skong, 1992; Kenrick e Crane, 1997; Wikström e Nick, 2000; Faria, 2009).

Dentre as Lepidodendrales gonduânicas brasileiras, as principais espécies estudadas são o *Brasilodendron pedroanum* (Chaloner, 1979) e *Lycopodiopsis derbyi*, Renault 1890. Tais estudos tiveram início no fim do século XIX, e foram descritos para a Bacia do Paraná. *B. pedroanum* em camadas cisularianas da Formação Rio Bonito, e a *L. Derbyi* para camadas guadalupianas da Formação Corumbataí/Teresina (Alarcon, 1998; Faria, 2009).

Em se tratando da Bacia do Paraná, as licófitas são representadas pela ordem Lepidodendrales, Família Lycopodiopsidaceae, que têm dentre as principais características (sinapomorfias), a presença de micrófilos dispostas espiraladamente; micrófilas, que

apresentam uma única unidade vascular não ramificada e que parte do caule sem deixar lacuna; esporângios, que se localizam na axila ou na superfície adaxial das folhas; deiscência transversal; e formas com frutificações, os esporófitos, que estão inseridos diretamente sobre o caule principal; e caule recoberto por almofadas foliares (Judd *et al.* 2002).

Dentre os aspectos morfológicos mais notórios, utilizado para a diagnose das licófitas da Família Lycopodiopsidaceae, destaca-se o caule recoberto por almofadas foliares, que é a porção basal intumescida do micrófilo, que mesmo após a abscisão deste, permanece no caule.

Na almofada foliar, ainda podemos observar a vesícula intrafoliar, que é um montículo ou uma depressão (dependendo da compressão), que se refere à região do aerênquima; e a cicatriz foliar, que condiz com a marca da abscisão do micrófilo, podendo apresentar ainda uma falsa cicatriz foliar, ocasionado principalmente por processos tafonômicos, ou seja, quando a abscisão foliar não ocorre naturalmente (Hirmer, 1927; Thomas e Meyen, 1984).

Pode haver ainda, a presença de lígula (nos táxons ligulados), localizada logo acima da cicatriz foliar, no entanto a mesma é de difícil distinção, principalmente em indivíduos preservados sob a forma de impressões-compressões (Thomas e Meyen, 1984).

Outra característica notória, utilizado para identificação, é a filotaxia, que como em todas as licófitas da Família Lycopodiopsidaceae, é espiralada, e neste grupo se divide em lepidodendróide (distância entre as almofadas na mesma ortóstica é maior que a distância entre ortósticas vizinhas) e sigillarióide (contrário da anterior) (Thomas e Meyen, 1984; Faria, 2009).

Lycopodiopsis derbyi

O primeiro estudo sobre o gênero *Lycopodiopsis* se deu por Renault, 1890, examinando dois indivíduos silicificados encontrados na região da cidade de Piracicaba, SP. Tratava-se de um indivíduo com fragmento do córtex caulinar, e outro com a preservação da estrutura interna silicificada. Sua descrição se baseou em descrições dos caracteres diagnósticos, analisando estruturas do córtex (superficiais e resultantes da decorticação) e estruturas morfoanatômicas, entre as quais se destacam as almofadas

foliares, não demonstrando sinais de lígula ou parácnos; e o cilindro vascular, formado por um anel de xilema descontínuo. Tais caracteres diferem os indivíduos daqueles encontrados e descritos na Europa.

Ainda na mesma década, outros indivíduos de *Lycopodiopsis derbyi* foram estudados por Zeiller (1898). As amostras analisadas eram provenientes também de Piracicaba, SP, mas foram enviadas ao Museu de História Natural de Paris. Zeiller (1898), concluiu que tais indivíduos, não se tratavam de *L. derbyi*, e sim do gênero *Lepidodendron*, refutando a interpretação de Renault (1890). Na opinião de Zeiller (1898), as células que formavam os raios que cortavam o anel de xilema, tratavam-se de traqueídeos mal preservados e não células medulares, como apontado por Renault (1890). Disse ainda, que se assemelhava àquele descrito e encontrado em *Lepidodendron harcourtii*, e os traços foliares se assemelhavam aos do *Lepidodendron selaginoides*. Já os aspectos morfoanatômicos externos, que são distintos dos gêneros anteriores, concluiu este que tais distinções eram resultantes de decorticações parciais.

Autores contemporâneos a Zeiller (1898) o refutaram, como White (1908), que estudou outros exemplares, estes provenientes da cidade de Bofete, SP, e afirmou que os caracteres das almofadas foliares eram muito nítidos, sua superfície era lisa e a área de contato com o caule estava bem demarcada pela borda anelada. Dessa forma refutou as ideias apresentadas por Zeiller, e confirmou as de Renault (1890), adicionando a este, uma semelhança entre *Lycopodiopsis derbyi* e *Stigmaria*.

Posteriormente, Steinmann (1924), analisou novos exemplares coletados, também da cidade de Piracicaba, SP, enviados a ele por Von Ihering (hoje depositado na coleção do Museu de Bonn, Alemanha). Nestes exemplares, ocorreu a preservação de camadas subdérmicas, o que possibilitou a descrição detalhada das formas variáveis de cossinetes ao longo do caule. Ainda sobre o caule, destacou a estrutura com estelo em anel descontínuo de feixes de traqueídeos que, frequentemente, se unem na forma de “U” e “V”, em corte transversal. Desse modo, acabou por, também discordar de Zeiller (1898), e concordar com White (1908) e Renault (1890), confirmando e descrevendo as mesmas estruturas observadas e já descritas por Renault, 1890, distinguindo assim, as licófitas brasileiras das europeias, ao nível anatômico interno e externo.

Uma vez estabelecido a espécie *Lycopodiopsis derbyi*, vários autores passaram a identificar e a citar, reconhecendo a nova taxonomia. Então Rao (1940), decidiu reestudar o indivíduo de Steinmann (1924), e outro indivíduo coletado na cidade de Tatuí, SP,

pertencente à coleção da *École des Mines*, Paris (Escola de Minas, Paris), e confirmou as descrições iniciais de Renault (1890), adicionando ainda novos detalhes da anatomia, possibilitada devido aos processos tafonômicos diferentes. Na comparação feita por Rao (1940), entre os dois indivíduos, o autor apontou variação de tamanho, e distinções externas, ocorrendo devido ao grau de decorticação dos caules (processo comum entre as *Lepidodendrales*, no qual o córtex vai perdendo as camadas mais externas), contudo se assemelham nos caracteres anatômicos.

Em uma revisão das licófitas gonduânicas, realizada por Edwards (1952), baseada na sistemática do grupo, o autor propôs uma sinonímia entre *Lycopodiopsis derbyi* e *Lepidodendron pedroanum*, o que incluía dentro do grupo das *Lycopodiopsis* quase todas as licófitas descritas até então. No entanto essa proposta de sinonímia foi refutada por Kräsel (1961), em um estudo minucioso dos exemplares depositados em coleções na Europa e no Brasil, inclusive aquele examinado por Steinmann (1924), em que enfatiza as diferenças entre os gêneros, seja pelos aspectos morfoanatômicos externos, seja pela morfologia das almofadas foliares. Neste trabalho, os indivíduos estudados por Renault (1890), White (1908) e Rao (1940), não foram analisados, visto que haviam sido perdidos.

Rigby (1970) descreveu uma nova ocorrência do indivíduo de *Lycopodiopsis derbyi* coletado no distrito de Laras, Laranjal Paulista, SP, em que ele relata a preservação de vários estágios de decorticação caulinar, dicotomia e ainda crescimento sazonal em alguns indivíduos. Características estas já apontadas por Kräsel (1961). Rigby (1970), ainda, realizou uma revisão de diagnose de toda a tafoflora descrita e encontrada nos domínios da Bacia do Paraná (com enfoque nos Estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo), confeccionando uma tabela de ocorrência da distribuição dos fitofósseis, e que foi possível identificar predominância e abundância de gêneros e espécies, que no caso, as *Lycopodiopsis* predominam nas tafofloras do Grupo Passa Dois.

Lemoigne e Brown (1980) realizaram uma nova diagnose a respeito das licófitas, procedentes da África do Sul e em estudos de *Lycopodiopsis derbyi*, afirmam a presença de cicatriz ligular, caractere não mencionado nos estudos anteriores.

Em seguida, Thomas e Meyen (1984), também realizaram uma revisão diagnóstica para o grupo e propuseram uma chave de identificação, baseada em morfogêneros limitados e reconhecíveis (estabelecidos com indivíduos de compressão), que mostram apenas a superfície caulinar e as almofadas foliares e/ou cicatrizes foliares, incluindo já aqui a lígula,

descrita por Lemoigne e Brown (1980), descrevendo as *Lycopodiopsis derbyi* como sendo liguladas.

Meyen (1976), já dizia que há determinados caracteres que podem ser usados para se identificar os indivíduos licofíticos, utilizando-os para a confecção de uma chave de identificação, em 1984, em conjunto com Thomas (Thomas e Meyen, 1984). Tais caracteres são a (1) almofada foliar; (2) cicatriz foliar – descrita neste estudo como localizada na parte inferior; (3) falsa cicatriz foliar; (4) fosseta ligular; (5) vesícula intrafoliar – montículo ou depressão na parte inferior da almofada foliar; (6) filotaxia – Sigillarióide ou Lepidodendróide. No entanto há o alerta da preservação polimorfa do grupo das Lepidodendreaes, resultantes da decorticação caulinar, alterando os caracteres morfoanatômicos caulinares externos.

Contexto Geológico

A área de estudo situa-se em uma região de afloramento, na Bacia Sedimentar do Paraná, que segundo Milani (1997) apresenta um espesso registro geológico do Neo-Ordoviciano (450 M.a.) até o Neocretáceo (65 M.a.) (Milani *et al.*, 2007).

A Bacia do Paraná apresenta um registro geológico que vai do Ordoviciano superior (450 M.a.) até o Cretáceo inferior (65 M.a.) (Milani, 1997; Milani *et al.*, 2007), cujo preenchimento é constituído por sedimentos continentais e marinhos, intercalados com derrames basálticos de idade cretácea (Perinotto *et al.* 2008). Pode ser subdividida em seis unidades de pacotes rochosos por discordância, desde seu topo até a base (Milani *et al.*, 1994). Porém, aqui, apenas a Sequência carbonífera – permiana (Gondwana I) será tratada, onde se encontra o Grupo Passa Dois.

O Grupo Passa Dois compreende as Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rastro para o Sul do Brasil e as Formações Irati e Corumbataí, para o Estado de São Paulo. O Grupo é caracterizado pela sedimentação correspondente a um sistema de planície de marés, marcada por sistemas deltaicos, pelitos lacustres, arenitos eólicos e depósitos fluviais (Lavina, 1988; Milani *et al.* 2007).

A Formação Corumbataí pode ser caracterizada como uma unidade litoestratigráfica depositada em um paleoambiente marinho raso, com diminuição da coluna de água para o topo (Schneider *et al.*, 1974; Petri e Coimbra, 1982; Zanardo *et al.*, 2016).

A espessura da Formação Corumbataí alcança aproximadamente 150 metros e sua extensão compreende os estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso. Observa-se a presença de siltitos, argilitos, folhelhos acinzentados a roxo-acinzentados, carbonatos e *cherts* (Almeida, 1981; Perinotto *et al.*, 2008).

Segundo Zanardo, *et al.* (2016), a Formação Corumbataí, na região de Rio Claro, foi possivelmente depositada dentro do domínio de um extenso mar epicontinental pouco profundo e calmo, com áreas de exposição, formando uma vasta plataforma rasa com ondulações leves.

JUSTIFICATIVA

Segundo Christiano-de-Souza *et al.*, (2014) “... o estudo da flora está relacionado à estreita relação das plantas com o clima e o meio ambiente. Eles não apenas atuam como forças motrizes para as mudanças climáticas (através de sua influência no equilíbrio entre o O₂ e o CO₂ no planeta), mas também são altamente suscetíveis a mudanças em tais balanços de gás (o que pode levar a eventos de especiação e extinção). Além disso, as plantas fósseis estão em conformidade com o local onde são encontradas, uma vez que as preservações ocorrem de forma autóctone, considerando seus locais de desenvolvimento”.

Neste sentido, o presente estudo tem relevância no intuito de aumentar a abrangência de informações sobre a ocorrência das Licófitas para o estado de São Paulo, bem como estabelecer registros gondwânicos de distribuição para estes vegetais paleozoicos.

OBJETIVOS GERAIS

Como as principais metas desta dissertação têm-se:

- Fazer uma revisão bibliográfica a respeito da ocorrência de licófitas da Formação Corumbataí, domínio no Estado de São Paulo;
- Realizar um estudo morfoanatômico e sistemático dos fragmentos de caules preservados na assembleia fossilífera de licófitas no afloramento neopermianico da Formação Corumbataí, às margens de uma estrada em Rio Claro (SP);
- Realizar a análise e estudo das possíveis informações tafonômicas, paleoambientais e ecológicas da assembleia fitofossilífera estudada.

ÁREA DE ESTUDO

No presente estudo analisou-se uma assembleia fitofossilífera da Formação Corumbataí, na região de Rio Claro (SP).

O afloramento fica localizado no município de Rio Claro, no final da rua 6 (22°21'39,71" S / 47°35'18,98" W). Todo o afloramento conta com intercalações de siltito e arenito, inclusive nas camadas de ocorrência dos fitofósseis, onde aflora um arenito bem fino e esverdeado, intercalado com siltitos avermelhados (Figura 1).

A amostra dos fitofósseis consiste apenas em fragmentos do caule dos indivíduos, não tendo sido encontrados nenhuma outra estrutura, tal como microfílos ou rizoides. Quase que em sua totalidade, os caules se preservaram como moldes de compressão e impressão, e em grande parte encontram-se sobrepostos uns aos outros.

Estes foram subdivididos de acordo com o grau de preservação das estruturas anatômicas externas, uma vez que não existem estruturas internas preservadas, tal como histologia ou vasos condutores.

No intuito de verificar as dimensões das cicatrizes foliares e estabelecer o padrão de disposição das almofadas e composição química, realizou-se a morfometria em Estereomicroscópio e visualização por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (Figura 2).

Todas as amostras de caules (LPP-PB- 001, 002, 003, 004 A e B, 005, 006 A e B, 007 A e B, 008, 009, 010, 011, 012, 013, 014, 015, 016, 017, 018, 019, 020, 021, 022, 023, 024, 025 A e B, 026, 027, 28, 029, 030, 031, 032, 033, 034, 035, 036, 037, 038, 039, 040, 041, 042, 043, 044, 045, 046, 047, 048, 049, 050, 051, 052, 053, 054, 055, 056, 057, 058, 059, 060, 061, 062, 063, 0664, 065, 066, 067, 068, 069, 070, 071, 072, 073 A, B e C, 074, 075, 076, 077, 078, 79, 80, 081, 082, 083, 084, 085, 086, 087, 088, 089, 090, 091, 092, 093, 094, 095, 096, 097, 098, 099, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139) estudadas se encontram depositadas na Coleção Científica de Paleontologia do Laboratório de Paleoeecologia e Paleoicnologia, do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, da Universidade Federal de São Carlos (Figura 3).



Figura 1 – Margens de uma rodovia na cidade de Rio Claro, no estado de São Paulo. **A** – Vista panorâmica do afloramento em estudo, onde é possível observar os maquinários de obra trabalhando no local; **B** e **C** – Vista de diferentes ângulos do afloramento; **D** – Registro de alguns blocos rolados coletados, em associação ao afloramento.

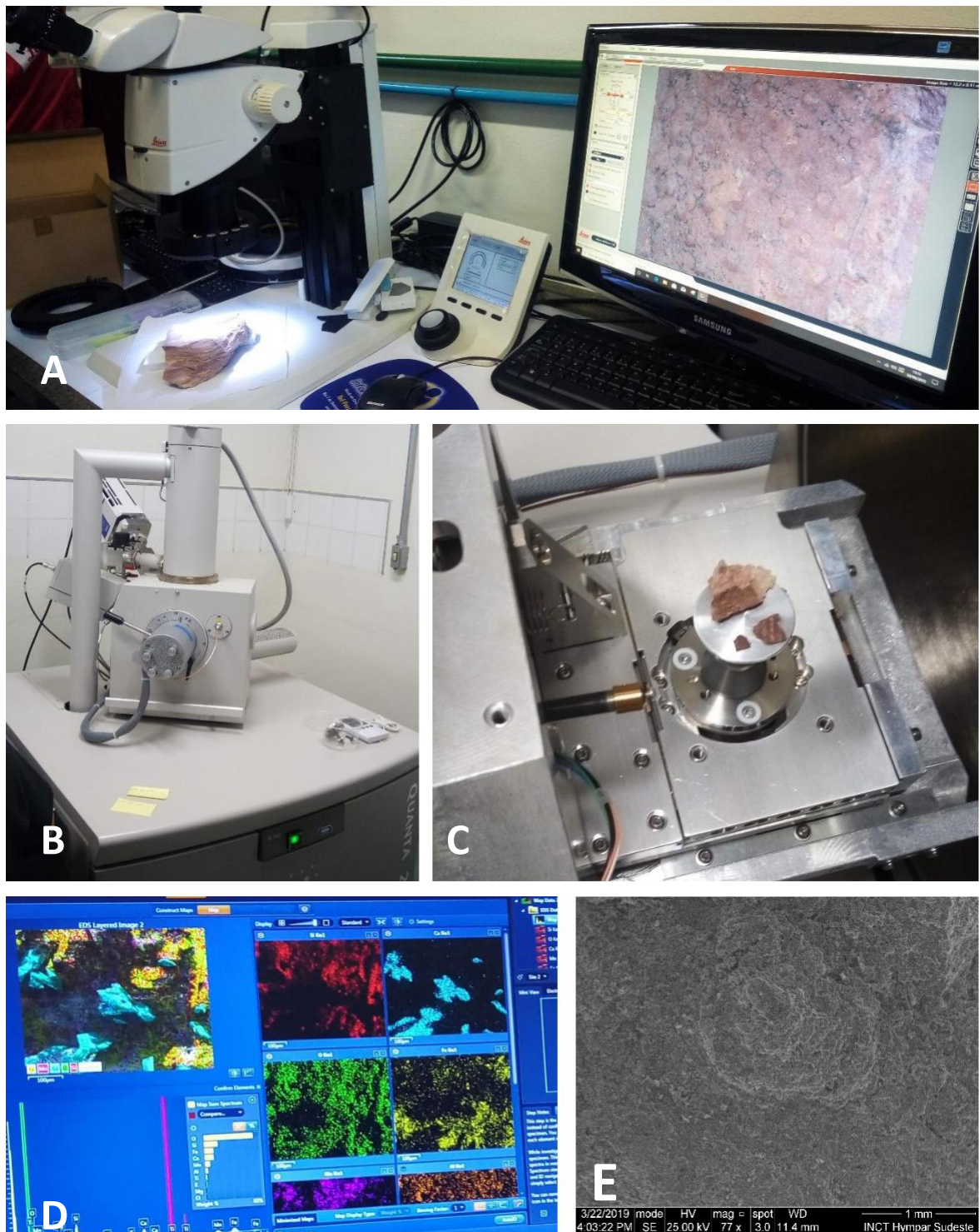


Figura 2 - Estereomicroscópio e Microscópio Eletrônico de Varredura. **A** – Detalhe do estereomicroscópio Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Hymenoptera Parasitoides da Região Sudeste Brasileira (INCT Hympar Sudeste); **B** e **C** – Detalhe do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), no INCT Hympar Sudeste, DEBE UFSCar; **D** – Enfoque da análise por Espectroscopia de energia dispersiva (EDS); **E** – Detalhe de uma almofada foliar, realizada pelo MEV (alto vácuo).



Figura 3 – Material coletado depositado na coleção do Laboratório de Paleoeecologia e Paleoicnologia (LPP), na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus São Carlos*.

CAPÍTULO 1

ARTIGO

**Assembleia fitofossilífera de *Lycopodiopsis cf. derbyi* da Formação Corumbataí,
Bacia do Paraná, São Paulo, Brasil**

**Phytossiliferous assembly of *Lycopodiopsis cf. Derbyi* of Corumbataí Formation,
Paraná Basin, São Paulo, Brazil**

***Submetido ao periódico Review of Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments em 15
de Setembro de 2019.***

Resumo

A licópsida permiana *Lycopodiopsis derbyi* Renault representa um dos maiores registros da vegetação, que habitou às margens da Bacia do Paraná, em condições ambientais semiáridas e por vezes hipersalinas. Uma notável e inédita assembleia de caules atribuídos a *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* Renault, foi encontrada em um afloramento Permiano na região de Rio Claro, estado de São Paulo. Os caules encontram-se preservados na direção Norte – Sul e estão distribuídos por uma área maior de dois metros quadrados, com concentração massiva de indivíduos, havendo inclusive sobreposição. Os caules se apresentam não ramificados ou dicotômicos, preservados como impressões-compressões, e moldes-contramoldes. Há ao menos três diferentes níveis corticais que podem ser associados à *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*. Este registro compreende um conjunto de fitofósseis parautóctone não seletivo, por se tratar de uma aglomeração massiva. Os registros de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* apresentam uma ampla ocorrência nas rochas do Grupo Passa Dois, o que torna este *taxón* de grande importância no cenário florístico do Gondwana sul ocidental, constituindo parte da vegetação costeira de extensas planícies alagadas, no que hoje é o Estado de São Paulo e Sul do Brasil.

Palavras-Chave Neopermiano – Gondwana – Grupo Passa Dois – Permiano - Lycopodiopsida

Introdução

A partir do Siluriano os vegetais começaram a se adaptar e a ocupar o ambiente terrestre. Com o surgimento das Embriófitas, sua influência foi ainda mais pronunciada no planeta, chegando a ser um dos agentes determinantes do clima global, por meio da alteração da composição atmosférica. Além disso, passaram a influenciar em microclimas continentais e abriram espaço para novos nichos ecológicos, modificando a cadeia trófica e a interação entre os organismos (Willis e McElwain, 2002; Banks, 1970; Cristiano-Souza, *et al.*, 2014).

Durante aproximadamente 200 milhões de anos a maior unidade continental do planeta era representada pelo paleocontinente de Gondwana, constituído pelo que hoje conhecemos por África, incluindo a ilha de Madagascar, Antártida, Austrália, o Subcontinente Indiano e a América do Sul, que juntos representavam cerca de 64% das terras emersas (Cristiano-Souza e Ricardi-Branco, 2015). Além desses, a Flórida, a América Central, o sul da Europa, e o sudeste e centro-sul do continente Asiático também integraram este supercontinente (Torsvika e Cocks, 2013; Cristiano-Souza e Ricardi-Branco, 2015).

Durante o decorrer do Carbonífero e uma parte do Permiano, houve uma glaciação, que representa o intervalo glacial com maior duração durante o Fanerozóico (Frakes *et al.*, 1992; Limarino *et al.* 2014), conhecida como Last Paleozoic Ice Age (LPIA). Os efeitos das condições climáticas decorrentes, não se limitaram apenas ao Gondwana, uma vez que a alternância de episódios glaciais e interglaciais tiveram intensas influências, inclusive nas regiões equatoriais. Estudos revelam que a deglaciação ocorria de forma muito mais rápida do que o fenômeno climático contrário (Gibbs *et al.*, 2002), ocasionando mudanças climáticas, com temperaturas mais elevadas e condições mais secas, principalmente em áreas equatoriais, propiciando a expansão dos desertos e a redução das florestas (Poulsen *et al.* 2007; Cristiano-Souza e Ricardi-Branco, 2015).

O término do LPIA possibilitou a instalação de climas pós-glaciais mais quentes, sucedidos de condições mais secas, para finalmente, climas áridos (Limarino *et al.* 2014; Gastaldo *et al.* 1996 e Isbell *et al.* 2008), alcançando assim no fim do Permiano, condições extremas de estufa, coincidindo com uma das maiores extinções em massa que o planeta já presenciou, devastando ecossistemas inteiros, atingindo fauna, flora, tanto de ambientes marinhos, quanto terrestres (Erwin *et al.*, 2002; Clapham *et al.*, 2009; Metcalfe e Isozaki, 2009; Limarino *et al.* 2014).

No período pós-glaciação, extensas regiões antes cobertas por glaciares continentais durante o Carbonífero, passaram a ser dominadas por uma abundante flora durante o Permiano,

constituindo a Província Florística de Gondwana (Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2013 e 2015).

Atualmente é possível dividir a paleoflora permiana do Gondwana em, (i) Flora Pré-*Glossopteris* e (ii) Flora *Glossopteris*. A primeira engloba as formações vegetais que surgiram e sobreviveram durante a retração glacial, ou deglaciação, que ocorreu no final do Carbonífero. Já a Flora *Glossopteris*, representa a vegetação que se desenvolveu a seguir, e contou com uma maior diversidade (Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015). A assembleia estudada pertence a um estágio maduro da Flora *Glossopteris*.

Desde o surgimento das plantas, e no decorrer de toda a sua história evolutiva e ecológica, o grupo das licófitas estiveram presentes (DiMichele e Skong, 1992). Atualmente, o gênero mais amplamente distribuído de vegetais vasculares sem semente,

é *Lycopodium* sens. Lat. (Wagner & Beitel, 1992; Ollgaard, 1992; DiMichele e Skong, 1992), com distribuição cosmopolita (DiMichele e Skong; 1992).

O estudo das embriófitas basais em geral é de extrema importância, pois foram as pioneiras na construção de províncias florísticas, com destaque para as licófitas (Banks, 1970). Estas últimas, foram dominantes no cenário Paleozóico, por conta do hábito arbóreo, de extrema importância nos ecossistemas do Carbonífero e Permiano do Gondwana sul ocidental (Christiano-Souza e Ricardi-Branco, 2013; 2015).

Várias espécies de licófitas habitaram, durante este intervalo de tempo, as margens do mar epicontinental, atualmente representado pela Bacia do Paraná, no Brasil (Mendão, 2007; Torres, 1998). Além do mais, este grupo vegetal é um dos mais antigos de plantas, sendo, como dito anteriormente, um componente importante da vegetação, em especial no final do Paleozóico, constituindo as árvores gigantes, hoje extintas.

Neste sentido, as licófitas aqui em destaque, se tornam um ótimo objeto de estudo, não só da composição florística e ambiental, mas de interações ecológicas mais complexas, além de inter-relações entre os organismos. Desse modo, o estudo de afloramentos contendo indivíduos, e neste caso, de uma assembleia composta por indivíduos de licófitas, contribui para a compreensão do ambiente e da sua distribuição na Bacia do Paraná.

Cabe lembrar que, durante o Permiano um grande número de espécies de licófitas foram extintas, junto a muitas outras traqueófitas, por causa de uma acentuada tendência para aridez, produto do ensamble do paleocontinente de Pangea (Crowley & North, 1991; Rohn, 1994; Anderson *et al.*, 1999; Fanton *et al.*, 2006).

Contexto Geológico

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica formada pelas ações geodinâmicas ocorridas durante o Fanerozóico. Ela apresenta um espesso registro geológico do Ordoviciano superior (450 M.a.) até o Cretáceo inferior (65 M.a.) (Milani, 1997; Milani *et al.*, 2007) e seu preenchimento é constituído por sedimentos continentais e marinhos, intercalados com derrames basálticos de idade cretácea (Perinotto *et al.* 2008).

A Bacia do Paraná pode ser subdividida em seis unidades, considerando grandes discordâncias presentes desde seu topo até a base (ver Milani *et al.*, 1994). Porém, aqui, apenas a Sequência carbonífera – permiana (Gondwana I) será tratada.

A Supersequência Gondwana I é, dentre todas a que possui o maior volume sedimentar e inclui as mais diversas condições de deposição, acompanhando a evolução de diferentes contextos ambientais ao longo do tempo. Ela começa no Pensilvaniano, marcada por grande influência glacial, e se estende até o início da Era Mesozóica, com a ocorrência de extensos campos áridos. (Milani *et al.* 2007; Milani, 1997).

O Grupo Passa Dois, parte da sequência Gondwana I e corresponde a sistemas costeiros, havendo ocorrência também de pelitos lacustres, arenitos eólicos e depósitos fluviais na sua porção superior (Lavina, 1988; Milani *et al.* 2007). Essa unidade é marcada por uma mudança na sedimentação ao longo do tempo, que acompanha o preenchimento da bacia, e é caracterizado pelo aumento da influência de sistemas continentais. Durante a deposição da Formação Irati, cessa a circulação de água entre a bacia e o Oceano, originando um mar epicontinental, por vezes hipersalino, marcado pelo acúmulo de carbonatos, evaporitos e folhelhos betuminosos (Milani *et al.* 2007; Milani 1997; Lavina e Lopes 1987; Lavina, 1991; Rohn, 1994; Gama Jr. 1979).

Os sedimentos do topo do Grupo Passa Dois têm idade Guadalupiana (Daemon & Quadros, 1970; Lavina 1991; Rohn 1996) e são caracterizados pela ocorrência de um mar epicontinental, marcado pela sedimentação pelítica, química e ocorrência de grande quantidade de material orgânico (característico da Formação Irati). Em direção ao topo, a unidade é marcada pela sedimentação plataformal (base da Formação Corumbataí), que vai se tornando cada vez mais rasa, com presença de fácies arenosas e estruturas direcionais e oscilatórias, que indicam a predominância da influência de marés. A Formação Corumbataí, portanto, é caracterizada pela sedimentação em um extenso mar epicontinental, pouco profundo e calmo, com áreas de exposição, criando uma vasta plataforma rasa com ondulações leves (Zanardo, *et al.* 2016; Perinotto *et al.* 2008; Almeida *et al.* 2002).

A espessura da Formação Corumbataí alcança aproximadamente 150 metros e sua extensão compreende os estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso. Observa-se a presença de siltitos, argilitos, folhelhos acinzentados a roxo-acinzentados, carbonatos e *cherts* (Almeida, 1981; Perinotto *et al.*, 2008). Os depósitos são interpretados como marinhos/costeiros rasos (Gama Jr. 1979; Perinotto *et al.* 2008), o que é confirmado pelos fósseis encontrados, como conchas de bivalves, osteites e estromatólitos (Milani *et al.* 2007).

Material e Métodos

O material analisado consiste em 139 amostras, provenientes de 10 campanhas de coleta realizadas entre os anos de 2017 e 2018 no afloramento localizado à 22° 21' 39,71"S 47° 35' 18,98" W, com elevação de 583 m, nas margens de uma rodovia, região de Rio Claro, estado de São Paulo. O afloramento corresponde às camadas mais superiores da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná (Figura 1 e 2).

Os indivíduos fósseis estudados são caules vegetais preservados como impressões, compressões e moldes, em siltitos de cores avermelhadas, aflorantes em uma área próxima à margem da rodovia (Figura 2 – B e C). Atualmente o local tornou-se canteiro de obras para a construção de uma ligação rodoviária, portanto, algumas das amostras coletadas foram encontradas isoladas no afloramento, como blocos rolados (resgate de material). A presença dos fósseis vegetais foi verificada em pelo menos dois níveis diferentes do afloramento. (Figura 2 – A).

As amostras encontram-se depositadas na coleção científica do Laboratório de Paleocologia e Paleoicnologia (LPP), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus São Carlos, SP, e são representadas por fragmentos isolados de caules licófitas ou de concentrações de caules sobrepostos, aqui denominadas como “plant beds”.

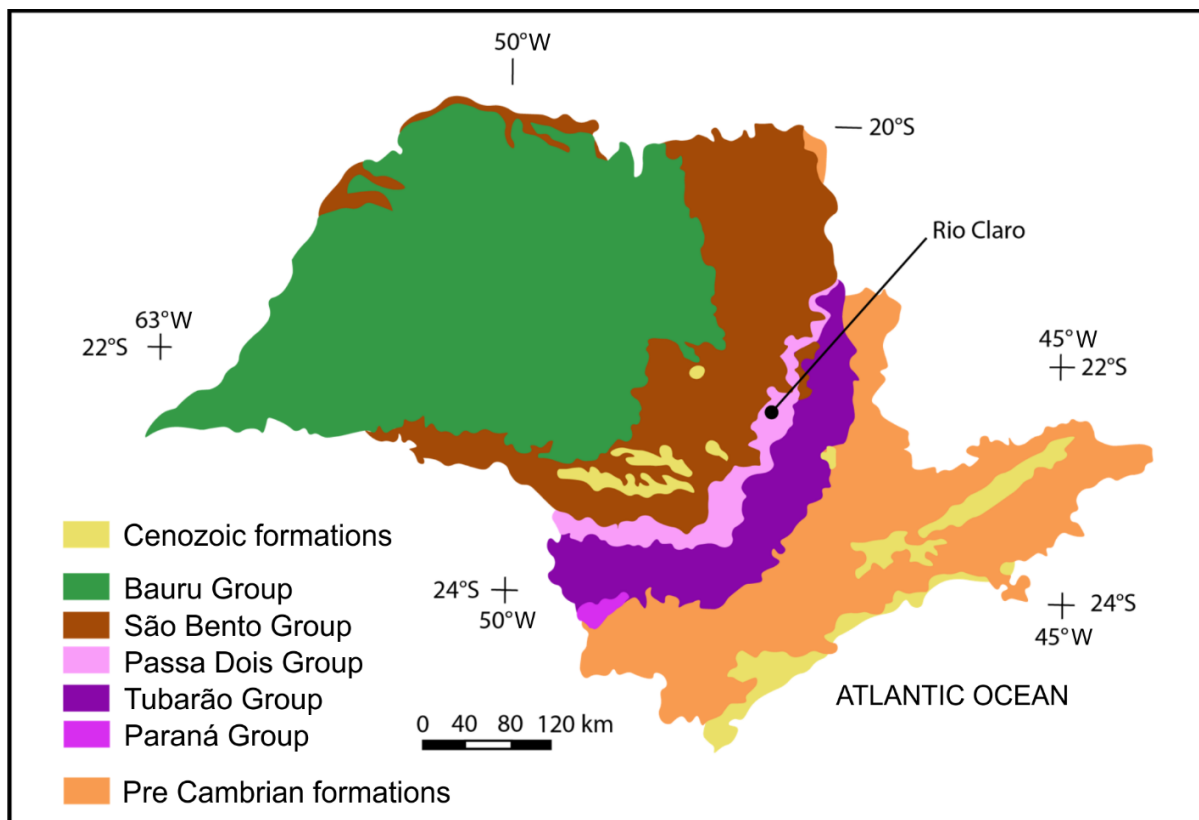


Figura 1: Mapa geológico do estado de São Paulo. Destaque para a cidade de Rio Claro, local do afloramento.

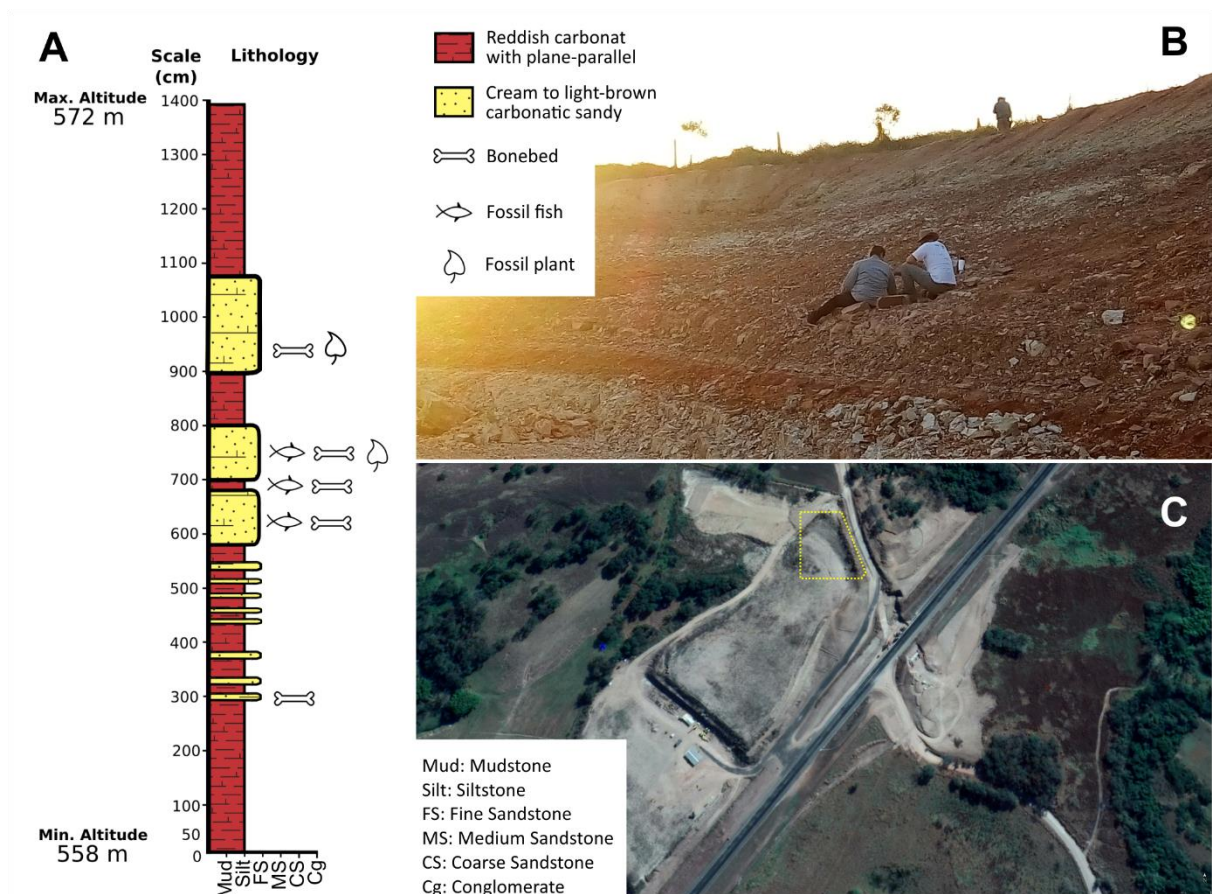


Figura 2: A- Perfil estratigráfico do Afloramento; B - Visão geral do local de coleta, onde se observa os horizontes de estudo e os blocos rolados resultado das obras do local; C- Visão aérea do ponto de coleta e seu entorno.

A priori foi realizado um estudo morfométrico dos caules, obtidas as suas dimensões (comprimento, largura e diâmetro), filotaxia, distância entre as almofadas foliares contínuas, largura das almofadas foliares, distância entre almofadas, comprimento das almofadas, e distância das almofadas foliares na mesma filotaxia. Tais medições encontram-se apresentadas nas Figuras 3 e 4.

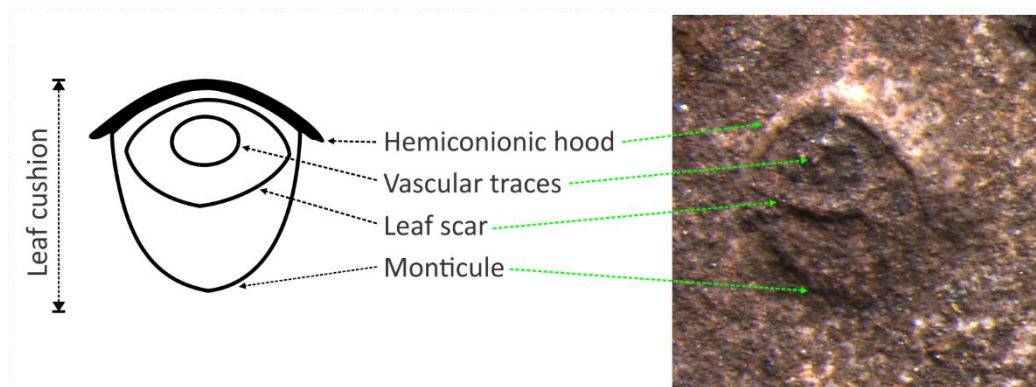


Figura 3: Modelo esquemático de uma almofada foliar a fim de ilustrar os componentes morfológicos analisados da almofada foliar de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*.

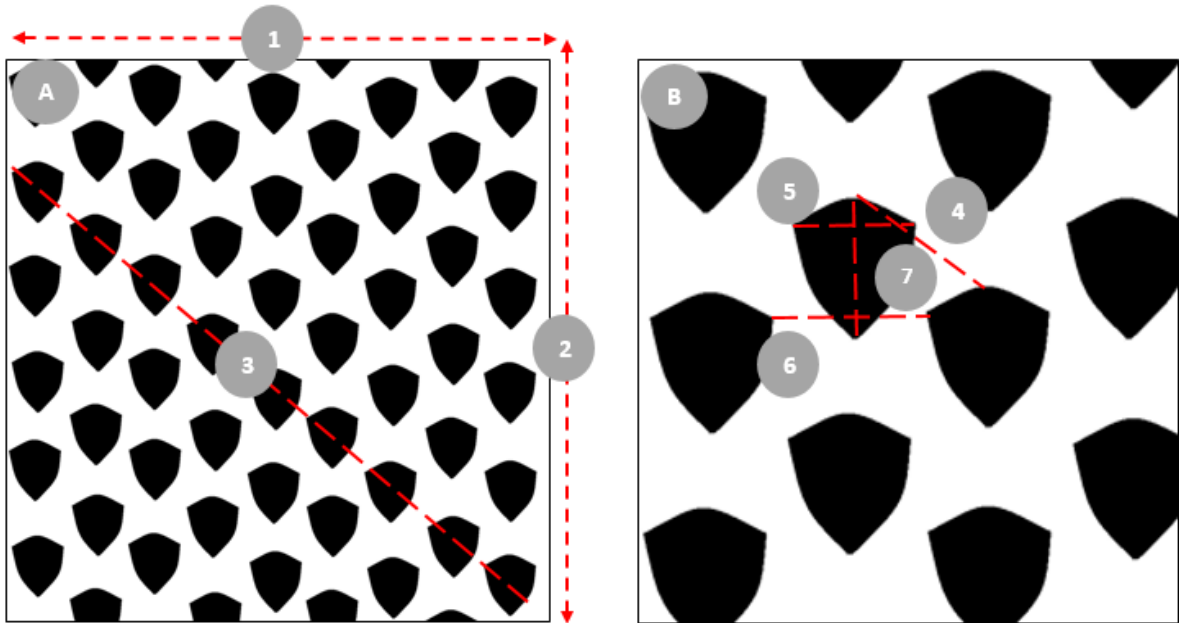


Figura 4: Medições morfométricas realizadas nos caules de *Lycopodiopsis cf. derbyi*. Em **A**, 1-largura do caule fóssil; 2-comprimento do caule fóssil; 3-filotaxia. Em **B**, 4-distância entre almofadas de foliares contínuas; 5- largura da almofada foliar; 6-distância entre as almofadas foliares 7-comprimento da almofada foliar; 8-distância entre almofadas foliares na mesma filotaxia.

Os aspectos morfológicos foram caracterizados com auxílio de registro fotográfico, obtido com câmera digital Leica MC 170HD, acoplada a estereomicroscópio Leica m205C com objetiva Planapo 1.0x, com auxílio de imagens digitais dos fósseis produzidas por meio de montagem de múltiplas imagens, utilizando o software LAS (Leica Application Suite) v4.12, do INCT Hympar Sudeste.

Os exemplares também foram fotografados e analisados por meio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV, FEI Quanta 250) em modo alto vácuo do INCT Hympar Sudeste. Para a observação em MEV, foram retirados, com o auxílio de pinça e explorador, fragmentos das amostras LPP-PB-048a e LPP-PB-049b, para as análises morfológicas e de composição química, por meio de espectroscopia de energia dispersiva (EDS).

Além disso, uma revisão bibliográfica das ocorrências de *L. derbyi*, foi realizada afim de observar os locais de ocorrência, e a possível extensão de colonização do grupo durante o período, na Formação Corumbataí no Estado de São Paulo, confeccionando um mapa e uma tabela (Figuras 5 e 6) com os locais de ocorrência, de forma a ilustrar a abundância do gênero no estado de São Paulo e na formação geológica em questão.

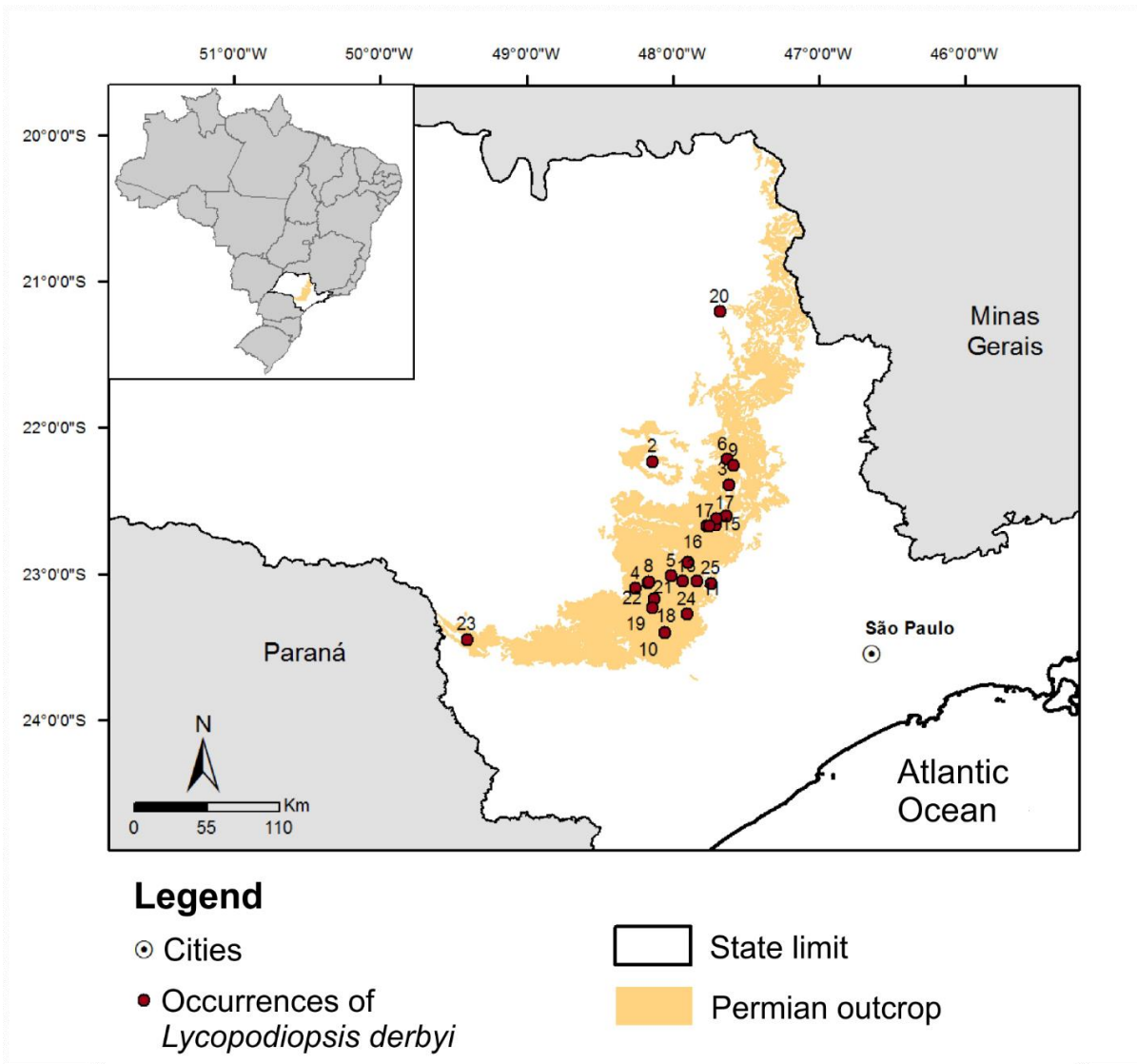


Figura 5: Mapa das ocorrências de *Lycopodiopsis cf. derbyi* no Estado de São Paulo. Os números correspondem a ordem das localidades listada na Figura 13.

PONTOS	LOCALITIES	REFERÊNCIAS	FOSSILIZAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE
1	Artemis (Piracicaba)	Mezzalira, 1957	Impressão/molde interno e externo	22°40'28" S	47°45'54" W
2		Fúlfaro, 1964	Compressão - impressão externo e interno	22°14'01" S	48°08'21" W
3		Alarcom, 1998	Ramo silicificado	22°40'25" S	47°44'56" W
4	Batovi (Rio Claro)	Kräsel, 1961	Silicificado compressão e impressão	22°23'31" S	47°36'46" W
5	Bofete	White, 1908	Silicificado compressão e impressão	23°06'08" S	48°15'28" W
6		Kräsel, 1961	Compressão e impressão	23°06'08" S	48°15'28" W
7	Conchas	Fúlfaro, 1964	Silicificado compressão e impressão	23°00'55" S	48°00'38" W
8		Alarcom, 1985	Compressão e impressão	23°00'55" S	48°00'38" W
9		Kräsel, 1961	Compressão e impressão	23°00'55" S	48°00'38" W
10	Corumbataí	Kräsel, 1961	Silicificado compressão e impressão	22°13'12" S	47°37'33" W
11	Cruz de Cedro	Faria, 2009	Compressão e impressão	23°03'24,5" S	48°09'43,3" W
12	Ferraz (Rio Claro)	Mendes, 1946	compressão e impressão externo e interno	22°15'48" S	47°35'13" W
13	Guareí	Mendes, 1946	Compressão e impressão	23°24'28" S	48°03'18" W
14	Laranjal Paulista	Mendes, 1946	Impressão-compressão	23°02'59" S	47°50'12" W
15	Laras (Laranjal Paulista)	Rigby, 1968	Não silicificado compressão e impressão	22°55'30" S	47°53'49" W
16		Rigby, 1970	Compressão e impressão	22°55'30" S	47°53'49" W
17	Monte Mor (indeterminado)	Millan, 1972	Compressão e impressão	22°56'48" S	47°18'57" W
18	Piracicaba	Renault, 1890	Silicificado compressão e impressão	22°36'21" S	47°37'59" W
19		Faria, 2009	Silicificado compressão e impressão	22°40'04,4" S	47°42'23,5" W
20		Steinmann, 1924	Silicificado compressão e impressão	22°40'25" S	47°44'56" W
21		Kräsel, 1961	Silicificado compressão e impressão	22°38'34" S	47°41'41" W
22		Mendes, 1946	Silicificado compressão e impressão	22°37'04" S	47°42'23" W
23		Rao, 1940	Compressão e impressão	22°37'27" S	47°42'03" W
24		Rao, 1940	Compressão e impressão	22°37'05" S	47°42'15" W
25		Rao, 1940	Compressão e impressão	22°37'21" S	47°42'05" W
26	Rio Claro	Neste estudo	Não silicificado impressão e compressão externo	22°21'39,71" S	47°35'18,98" W
27	Poranguaba (Rod. Castelo Branco)	Mendes, 1946	Leve compressão (ramo silicificado)	23°10'38" S	48°07'26" W
28		Kräusel, 1961	Compressão e impressão	23°10'33" S	48°07'30" W
29		Rösler, 1985	Compressão e impressão interno e externo	23°14'01" S	48°08'21" W
30	Ribeirão Preto - Serrana	Souza, 1971	Compressão e impressão	21°12'21" S	47°40'45" W
31	São Roque Novo (Bofete)	Faria, 2009	Silicificado compressão e impressão (ramo silicificado)	23°3'51,9" S	48°10'13" W
32		Faria, 2009	Silicificado compressão e impressão (ramo silicificado)	23°3'24,5" S	48°09'43,3" W
33	Tatuí	Rao, 1940	Ramo silicificado	23°16'40" S	47°54'07" W
34	Tietê	Rigby, 1970	Compressão e impressão	23°04'05" S	47°44'20" W

Figura 6: Tabela com as localidades de ocorrência de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi* pelos afloramentos do estado de São Paulo, na Formação Corumbataí, Bacia do Paraná.

Resultados e Discussão

No afloramento estudado, os caules foram os únicos órgãos vegetais encontrados, embora em outras localidades da Formação Corumbataí haja a ocorrência de microfósseis isolados, possivelmente relacionados a *L. derbyi* (e.g. Bairro Sta. Teresinha, Piracicaba, Conchas, SP) (Faria e Ricardi-Branco, 2010).

A assembleia fitofossilífera estudada é caracterizada pela ocorrência de apenas uma espécie vegetal, com abundante e massiva concentração de exemplares, preferencialmente orientados no sentido N-S. Estes estão preservados como moldes-contramoldes e impressões-compressões (Figuras 7 e 8), e são provenientes de pelo menos dois horizontes sedimentares (Figura 1 – A).

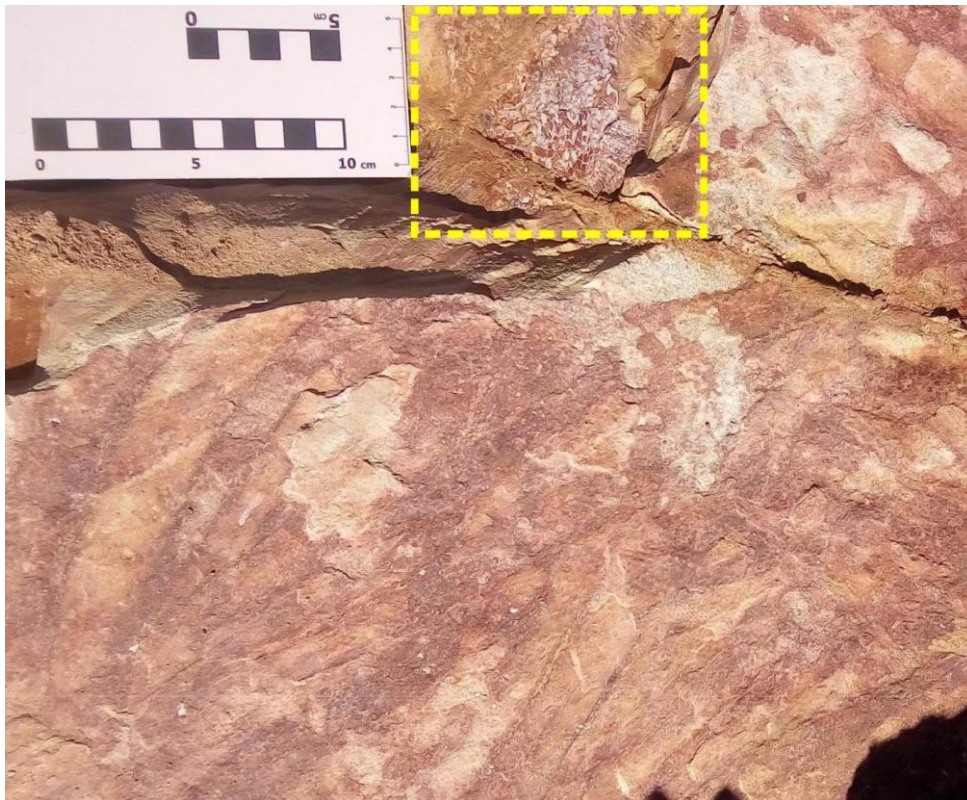


Figura 7: Detalhe da assembleia fitofossilífera de caules de *Lycopodiopsis cf. derbyi*, mostrando a massiva concentração de caules. Nota-se a predominância de caules no sentido norte-sul. O quadrado destaca para a ocorrência do peixe em associação aos caules. Registro *in situ* dos exemplares (Amostra LPP-PB-029).



Figura 8: Registro *in situ* da assembleia de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, mostrando a elevada concentração de caules em uma área, assim como a sobreposição de indivíduos. O retângulo destaca o caule com mais de 1000 mm de comprimento, dado inédito para o grupo em estudo.

Em ambos os níveis identificados, os caules ocorrem, em sua maioria, sobrepostos, e possuem de 10 mm a 54 mm de largura, alcançando comprimento superior a 500 mm em alguns exemplares (Figuras 8, 9 e 10). Os indivíduos coletados apresentam-se bem preservados e conservam detalhes das almofadas foliares por vários níveis corticais. Os caules são geralmente não ramificados, apesar de alguns indivíduos ramificados, ou dicotômicos, terem sido encontrados (Figura 11).

Nível Externo	Número da Amostra	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Largura Máx. Da almofada (mm)	Feixe Vascular	Distancia entre almofadas - Ortósticas (mm)
	LPP-PB- 31	129	21	0,6	Circular	0,7
	LPP-PB- 009	68	32	0,9	Circular	0,5
	LPP-PB- 003	63	14	0,5	Circular	0,8
	LPP-PB- 019	41	13	0,7	Circular	0,8
	LPP-PB- 004A/B	92	17	0,6	Circular	0,6
	LPP-PB- 050	53	19	0,2	Circular	-
	LPP-PB-024	96	18	0,9	Circular	0,7
	LPP-PB-048	111	14	0,9	Circular	0,7
	LPP-PB- 067	43	13	0,3	Circular	0,4
	LPP-PB- 020	138	12	0,4	Circular	
Mean		83,4	17,3	0,6	-	0,65

Figura 9: Tabela constando os dados morfométricos realizados nas amostras classificadas como pertencentes ao nível externo de preservação. É possível observar os dados referentes ao comprimento e largura do ramo, a largura da almofada foliar, o diâmetro do feixe vascular e a distância entre as almofadas foliares, ortósticas verdadeiras.

Nível Intermediário	Número da Amostra	Ramo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Largura Máx. Almofada (mm)	Feixe Vascular	Distância entre almofadas – Ortóstica (mm)
	LPP-PB-075	1	127	18	-	Circular	-
		2	73	17	-	Circular	-
		3	109	19	-	Circular	-
		4	127	17	-	Circular	-
		5	104	12	-	Circular	-
	LPP-PB-030	1	214	18	-	Circular	-
		2	130	25	-	Circular	-
		3	150	24	-	Circular	-
		4	111	23	-	Circular	-
		5	230	18	-	Circular	-
	LPP-PB-054	1	250	15	-	Circular	-
		2	180	13	-	Circular	-
	LPP-PB-029	1	111	20	-	Circular	-
		2	240	15	-	Circular	-
		3	190	23	-	Circular	-
	LPP-PB-073	1	270	22	-	Circular	-
		2	170	16	-	Circular	-
		3	140	23	-	Circular	-
	LPP-PB-089	1	255	17	-	Circular	-
	LPP-PB-062	1	105	25	-	Circular	-
		2	90	10	-	Circular	-
	LPP-PB-065	1	112	12	-	Circular	-
	LPP-PB-028	1	260	19	-	Circular	-
		2	230	13	-	Circular	-
	LPP-PB-086	1	90	23	-	Circular	-
	LPP-PB-013	1	210	25	-	Circular	-
	LPP-PB-042	1	80	24	-	Circular	-
	LPP-PB-081	1	124	12	-	Circular	-
	LPP-PB-076	1	88	26	-	Circular	-
	LPP-PB-007	1	175	25	-	Circular	-
	LPP-PB-059	1	95	23	-	Circular	-
	LPP-PB-060	1	91	28	-	Circular	-
Média			154,09	19,37	-	-	-

Figura 10: Tabela constando os dados morfométricos realizados nas amostras classificadas como pertencentes ao nível intermediário de preservação. É possível observar os dados referentes ao comprimento e largura do ramo, o diâmetro do feixe vascular. Neste nível de preservação, não foi possível realizar as medições morfométricas referentes a distância entre as almofadas foliares, ortósticas verdadeiras, e a largura da almofada foliar.

Nível Externo	Número da Amostra	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Largura Máx. Almofada (mm)	Feixe Vascular	Distância entre almofadas – Ortóstica (mm)
	LPP-PB- 041	78	33	-	Circular	0,6
	LPP-PB- 046	168	54	-	Circular	0,9
	LPP-PB- 077	167	45	-	Circular	1
	LPP-PB- 058	93	36	-	Circular	1,6
	LPP-PB- 076	78	54	-	Circular	1
	LPP-PB- 037	52	29	-	Circular	0,9
	LPP-PB- 034	49	29	-	Circular	1
	LPP-PB- 059	98	23	-	Circular	0,7
	LPP-PB- 042	55	28	-	Circular	0,4
	LPP-PB- 008	-	-	-	Circular	0,6
	LPP-PB- 081	156	46	-	Circular	0,9
	LPP-PB-013	118	35	-	Circular	0,9
Média		101,09	37,45	-	-	0,87

Figura 11: Tabela constando os dados morfométricos realizados nas amostras classificadas como pertencentes ao nível interno de preservação. É possível observar os dados referentes ao comprimento e largura do ramo, a largura da almofada foliar, o diâmetro do feixe vascular. Devido a preservação desde nível, não foi possível realizar a medição morfométrica referente a distância entre as almofadas foliares, ortósticas verdadeiras.

Mesmo fragmentados, notou-se um número significativo de indivíduos com mais de um metro de comprimento, o que mostra que os caules desta espécie poderiam alcançar tamanhos ainda maiores do que o observado anteriormente (Figura 8).

Sistemática paleontológica

Uma vez que a diagnose original de *L. derbyi* inclui a anatomia interna dos caules e não apenas caracteres externos, uma comparação completa não pode ser realizada no presente estudo. Nos exemplares aqui analisados, a fossilização se deu de maneira distinta do holótipo da espécie em questão, tendo sido preservada apenas a morfologia externa dos caules. Por meio dos caracteres externos preservados, todavia, foi possível classificar os indivíduos como *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, Renault, 1890.

Para a identificação foram utilizados os trabalhos de Archangelsky (1970), Lemoigne & Brown (1980), Faria e Ricardi-Branco (2007) e Faria et al. (2009).

Filo TRACHEOPHYTA (*sensu* Stewart and Rothwell, 1993)

Sub-Filo LYCOPHYTA (*sensu* DiMichele and Bateman, 1996)

Classe LYCOPSIDA (*sensu* DiMichele and Bateman, 1996)

Ordem LEPIDODENDRALES (*sensu* Chaloner, **in** Boreau, 1967)

Família LYCOPODIOPSISACEAE (*sensu* Chaloner, **in** Boreau, 1967)

Gênero *Lycopodiopsis derbyi* Renault, 1890 (Lemoigne and Brown, 1980)

A análise dos caules (Figuras 3 e 4) indicou que as almofadas foliares apresentam forma rômbrica à subcircular, mas com predominância da forma romboidal, igualmente ao descrito por Archangelsky (1970) e Thomas & Meyen (1984) para a espécie. A cicatriz da lâmina foliar foi observada na maioria dos indivíduos. O rebordo nos montículos, em grande parte arredondados, se mostrou evidente (Thomas & Meyen, 1984; Alarcon, 1998; Faria & Ricardi-Branco, 2007, Faria *et al.* 2009). No entanto, não foi observada cicatriz ligular, que atesta o estado de desenvolvimento do indivíduo, estando presente apenas no estágio juvenil, como apontado por Meyen (1976). Portanto, não é possível diagnosticar, no caso dos exemplares estudados, se estes foram eligulados, já que indivíduos ligulados já foram descritos anteriormente (Boreau, 1967; Lemoigne & Brown, 1980). A filotaxia é do tipo lepidodendróide.

Há uma característica peculiar a ser considerada de algumas das lepidodendrales, é que pode haver a perda de camadas do córtex, tanto em vida como durante a fossilização (devido aos processos tafonômicos de preservação). Desta forma, ocorre uma polimorfia de indivíduos de uma mesma espécie no registro fossilífero. Com isso, vários autores como Alarcon (1998) e (Faria *et al.* 2007) diagnosticaram distintas feições para as almofadas foliares, as associando ao tipo de preservação e decorticação do caule dos indivíduos estudados.

Considerando o exposto acima, as amostras foram subdivididas, em três níveis distintos de preservação do córtex, que podem ser observados na Figura 12.

Nível Externo: LPP-PB-003, LPP-PB-004 A/B, LPP-PB-009, LPP-PB-019, LPP-PB-020, LPP-PB-024, LPP-PB- 031, LPP-PB-048, LPP-PB-050, LPP-PB-067;

Nível Intermediário: LPP-PB-006 A/B, LPP-PB-007, LPP-PB-013, LPP-PB-018, LPP-PB-028, LPP-PB-029, LPP-PB-030, LPP-PB-042, LPP-PB-045, LPP-PB-054, LPP-PB-059, LPP-PB-060, LPP-PB-62, LPP-PB-65, LPP-PB-073, LPP-PB-075, LPP-PB-076, LPP-PB-081, LPP-PB-89, LPP-PB-086;

Nível Interno: LPP-PB- 008, LPP-PB-013, LPP-PB-033, LPP-PB- 034, LPP-PB-037, LPP-PB- 041, LPP-PB- 042, LPP-PB- 046, LPP-PB- 058, LPP-PB- 059, LPP-PB-076, LPP-PB- 077, LPP-PB- 081, LPP-PB- 126, LPP-PB- 132.

No nível aqui considerado como mais externo (Figura 12 – A e B), as almofadas foliares apresentam forma romboidal à quase circular, com o capuz hemicônico preservado na porção apical da almofada, porção basal abaulada e cônica, correspondendo possivelmente ao montículo. A cicatriz foliar é arredondada, com diâmetro de 2 mm, e feixe vascular por vezes preservado. A distância entre as almofadas foliares de duas ortósticas próximas têm uma média de 0,65 mm (oscilou de 0,4 até 0,8 mm) (ver Figura 9).

No nível aqui considerado como intermediário (Figura 12 – C e D) as almofadas foliares também apresentam formato romboidal semelhante ao nível mais externo, como descrito acima, embora neste nível cortical as mesmas possuam um tamanho ligeiramente maior, com rebordo bem marcado na porção apical e base não preservada. O feixe vascular é arredondado e bem demarcado. A distância entre as almofadas foliares, entre duas ortósticas próximas, têm uma média de 0,66 mm (varia entre 0,4mm até 0,8 mm) (ver Figura 11).

Por fim, no nível aqui considerado como o mais interno (Figura 12 – E e F), apenas o feixe vascular foi preservado, com formato circular e diâmetro entre 0,3mm até 0,8mm. A distância entre feixes de duas ortósticas próximas têm uma média de 0,87 mm (variou no intervalo de 0,4 mm até 1,6 mm) (ver Figura 11).

Dentre as amostras da assembleia estudada, pelo menos um caule apresentou mais de um nível cortical preservado. O exemplar LPP-PB-059 (Figura 13 – A) apresenta caule com dois níveis corticais, o mais interno, que mostra poucos caracteres das almofadas preservados, e o intermediário, onde as almofadas encontram-se ainda delimitadas. Esta amostra torna-se de extrema importância, confirmando a diagnose do gênero (Renault, 1890; Faria & Ricardi-Branco, 2009).

O estudo morfométrico mostrou que os fragmentos caulinares possuem diferentes espessuras, cuja largura varia entre 10 mm e 54 mm. No entanto, a grande maioria varia entre 12 mm e 23 mm (Ver Figuras 9, 10 e 11). O comprimento dos mesmos varia em um amplo intervalo, com a presença de fragmentos de 41 mm até alguns de 1030 mm (Ver Figuras 9, 10 e 11). Ainda em campo foram observados caules com comprimento maior a 1003,2 mm, o que indica que *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, poderia chegar a superar esta altura.

Observou-se também a presença tanto de caules não-ramificados quanto dicotomicamente divididos (Figura 13 - B). Segundo Eggert (1961), o desenvolvimento ontogênico das licófitas ocorre de duas maneiras: o tronco principal aumenta seu diâmetro no corpo primário e na medula da base para o ápice, em uma estratégia denominada de epidogênese; enquanto que nos ramos, ocorre o contrário, esta denominada de apoxogênese. Fato observado nos indivíduos dicotômicos

encontrados, já que nestes foi possível observar os caules primários e secundários, assim como a direção de crescimento dos mesmos.

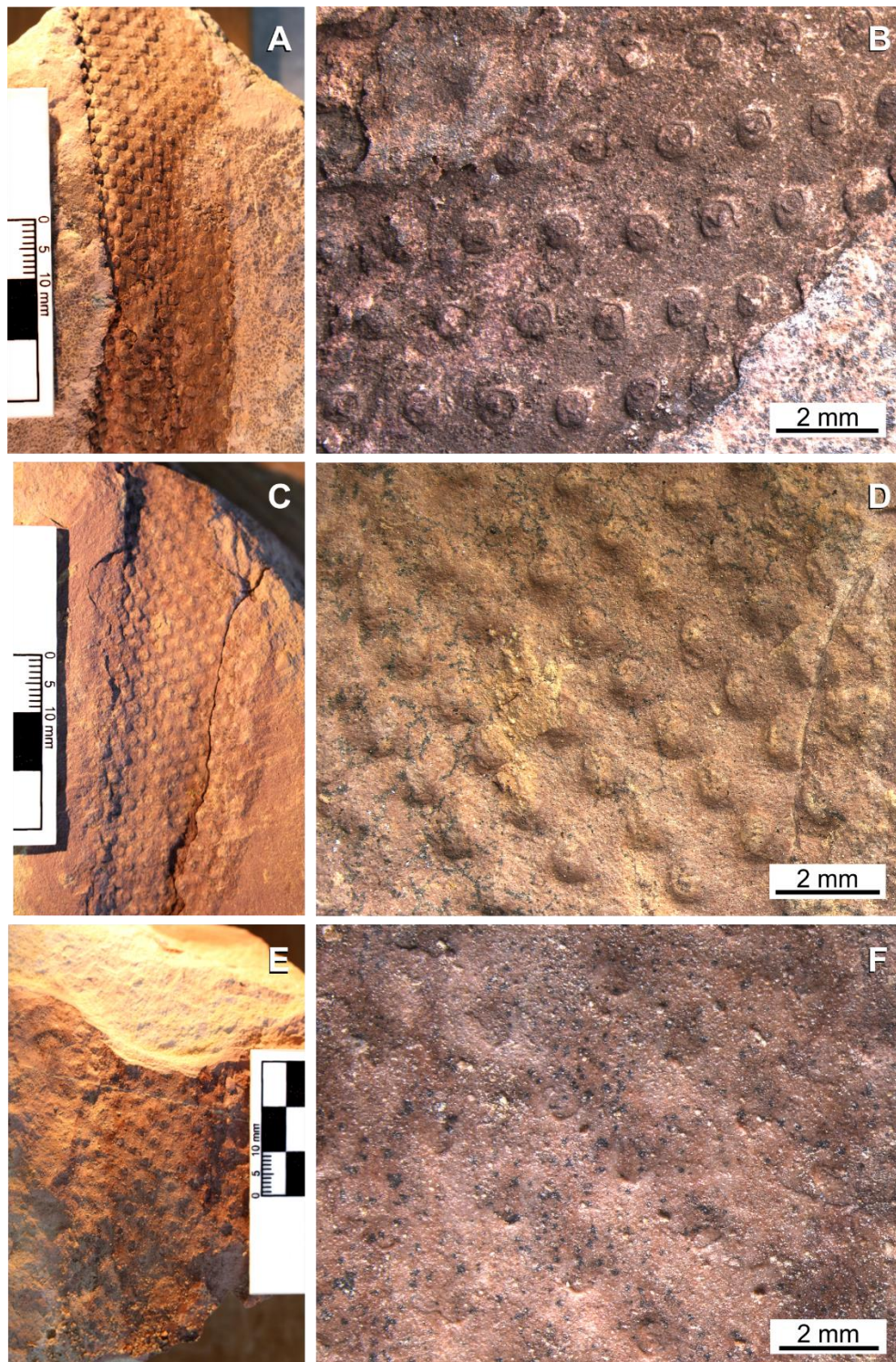


Figura 12: Caules de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, com diferentes níveis corticais encontrados nas amostras. **A e B** Ilustram o nível do córtex mais externo; onde **A** é uma visão geral e **B** um maior aumento, demonstrando detalhes da morfologia externa (Amostra LPP-PB-031); **C e D** Ilustram o nível do córtex intermediário, onde **C** é uma visão geral e **D** em maior aumento demonstrando detalhes da morfologia externa (Amostra LPP-PB- 007 A e B); **E e F** Ilustram o nível do córtex mais interno; onde **E** é uma visão geral e **F** em maior aumento demonstrando detalhes da morfologia externa (Amostra LPP-PB-053).

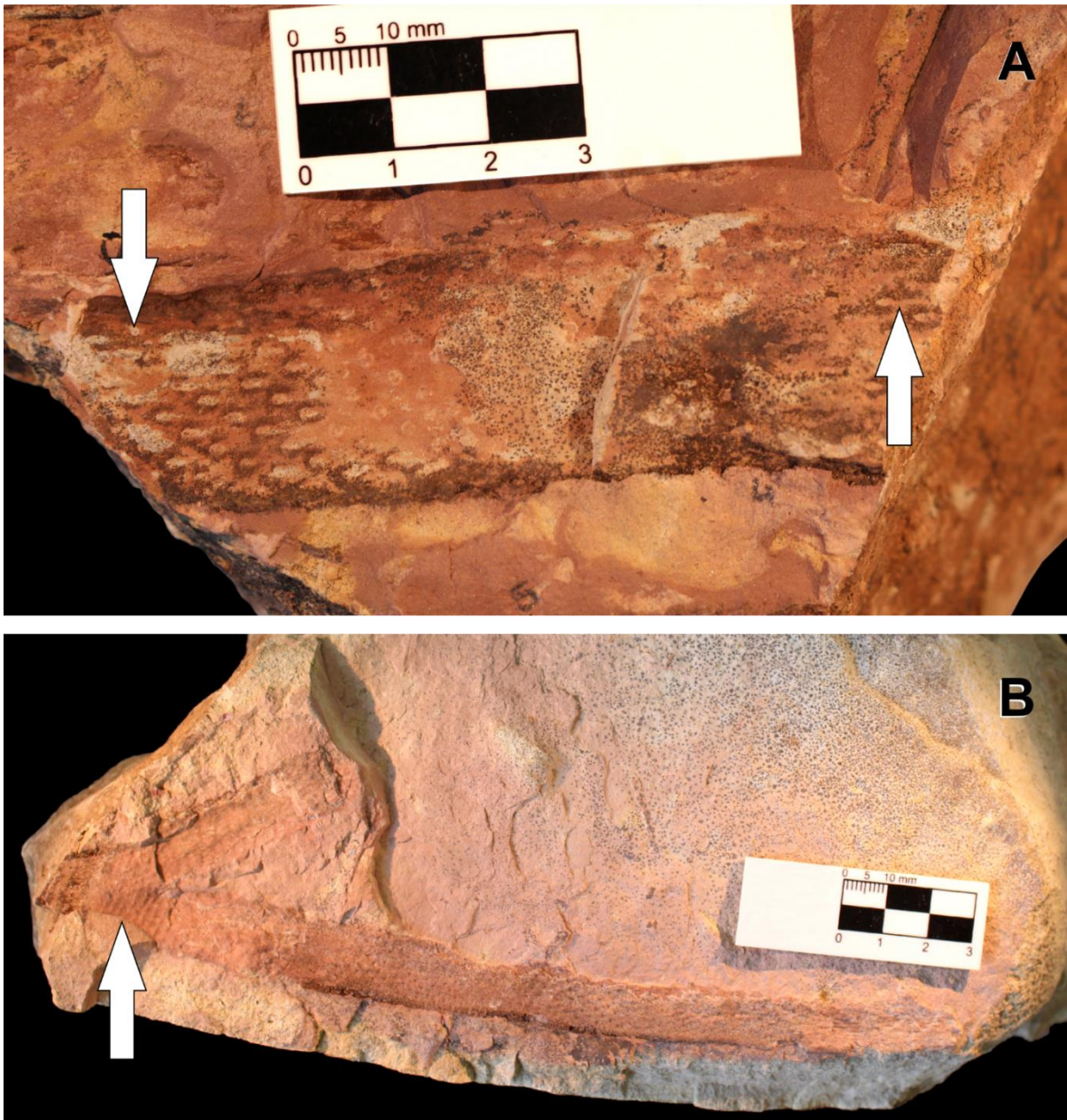


Figura 13: **A-** Caule onde podem ser observados dois níveis corticais diferentes. Seta a esquerda indica o nível intermediário, e a seta à direita o nível mais interno (Amostra LPP- PB – 059). **B-** Caule dicotômico de *Lycopodiopsis* cf. *derbyi*, dicotomia evidenciada pela seta (Amostra LPP-PB-045).

Ainda considerando Eggert (1961), as almofadas das folhas atingem tamanho máximo em conjunto ao caule principal, quando este atinge seu tamanho máximo, podendo regular o tamanho das almofadas com o caule e assim mensurar a maturidade dos indivíduos. Fato observado nas amostras, onde os caules mais finos (de 10 – 25 mm) (Ver Figuras 9, 10 e 11), possuem almofadas menores e mais demarcadas, com preservação dos caracteres foliares, enquanto que nos caules mais grossos (de 29 – 54 mm) (Ver Figuras 9, 10 e 11), as almofadas já não preservam tantas características; e além do tamanho, a distância ortóstica das mesmas também aumenta (Ver

Figuras 9, 10 e 11). Entretanto, se considerarmos que *L. derbyi*, utilizassem a estratégia ontogenética de apoxogênia, podemos afirmar que a diminuição do tamanho das almofadas não significa uma imaturidade progressiva, mas demonstra apenas o calibre do caule (Eggert, 1961; Faria & Ricardi-Branco, 2009; e Spiekermann *et al.* 2018).

No afloramento há registros de eventos de alta energia, evidenciados pela ocorrência *bone beds* (Figura 2 – A). Porém, nos níveis onde foram encontrados os caules de *Lycopodiopsis cf. derbyi*, considerando a sua preservação, interpreta-se que os indivíduos não foram submetidos a longo transporte por um agente ambiental ou um evento de grande energia. A ausência do rizoma/raízes, também sugere que tal sítio preservacional não corresponde ao habitat de vida desta espécie, assumindo a existência de transporte, mesmo que curto. Outro fator interessante a se levar em conta é a descoberta de um peixe paleoniscídeo, em associação aos caules de *Lycopodiopsis cf. derbyi*, totalmente articulado, alinhado, na mesma direção N-S que os caules (Figura 7). Entende-se que este foi transportado nos pacotes de vegetação, por um fluxo de baixa energia, como a alta e baixa de maré, e assim, acabou depositado em local bem próximo ao seu ambiente de vida. Como não houve fragmentação dos caules, interpreta-se que os mesmos foram tombados, flutuados, encharcados, e afundaram, propiciando, neste meio tempo, o aprisionamento do peixe (Figura 7). Interpreta-se esta assembleia, portanto, como de origem parautóctone (ver Neregato e Iannuzzi, 2017). O evento deposicional em questão possibilitou uma preservação ampla e massiva de vegetais. Tal concentração pode ser observada em uma área amostral de mais de 2 metros quadrados no afloramento. Todavia, possivelmente, estendia-se por muito mais.

Paleoambiente

De acordo com o contexto geológico da Formação Corumbataí, sabe-se que se tratava de um ambiente costeiro, possivelmente com áreas encharcadas e até mesmo pantanosas próximas à linha de costa.

Por meio da análise de MEV/EDS foi verificada a presença de Carbonatos de Cálcio (Figura 12) nas amostras analisadas. Este resultado permite interpretar que a comunidade de *Lycopodiopsis cf. derbyi* em questão habitava o entorno de lagos rasos salobros, com uma concentração de sais superior ao considerado normal, devido a efeitos, principalmente de evaporação (ver Rohn, 2007). Tal fato em conjunto com a variação ambiental e climática que ocorria no planeta, acabou por provocar variações sazonais, tornando o clima quente e seco, com

uma acentuada tendência à aridez (Mezzalira, 1980; Daemon e Quadros, 1970), comprovado pela presença dos cristais de carbonato de cálcio, evidenciados na Figura 14.

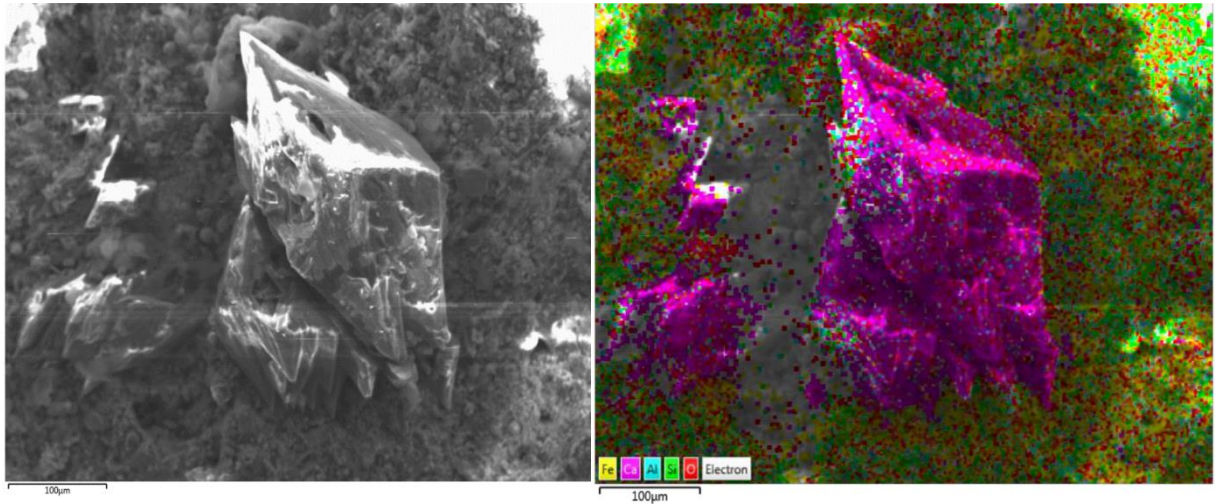


Figura 14: Detalhe de um cristal de calcita, evidenciado pelo MEV/EDS. Á esquerda temos uma fotografia dos cristais de calcita, e á direita, temos em destaque os diferentes elementos químicos presente na amostra LPP – PB- 049 B, obtido por meio de espectroscopia de energia dispersiva, destacando o cálcio (Ca) em rosa, comprovando a composição do cristal em questão, e corroborando a interpretação ambiental, lacustre salobro.

Este resultado corrobora as descrições de outros autores que interpretaram a Formação Corumbataí como uma evolução de ambientes marinhos para ambientes continentais, e que recobriram extensas áreas do Estado de São Paulo durante o Guadalupiano, marcando assim a regressão e formação de um mar epicontinental (Almeida *et al* 2002). Deste modo, interpreta-se que os fósseis aqui analisados foram depositados em ambiente marinho costeiro, de águas rasas em condições redutoras e oxidantes, sob a influência de marés.

Os fósseis da Formação Corumbataí são bastante diversos, com ocorrência de lamelibrânquios, conchostráceos, ostracodes, pelecípodes, teleósteos e condriacties, espículas de esponjas, e fitofósseis diversos (desde folhas e esporos à troncos), estes representados principalmente por licófitas *Lepidodendrales* (*L. derbyi*), gimnospermas (*Glossopteris* sp). Também são comuns as ocorrências de *bone beds*, o que indica eventos de alta energia, como tempestades (Christofolletti *et al.* 2006; Simões & Fittipaldi, 1992). É comum a ocorrência de assembleias de coquinas no topo da Formação Corumbataí (observado no perfil estratigráfico realizado – Figura 2 - A), o que pode indicar e comprovar essa mudança regressiva de cenário, de marinho para continental, com intersecções de costa, já mencionado por Toledo (2001).

Paleoflora da Formação Corumbataí

Os fitofósseis são abundantes em toda a espessura da Formação Corumbataí, podendo ser encontrados fósseis de *L. derbyi*, como já dito anteriormente, e que são bastante abundantes na unidade. Neste estudo foram elencados os locais de ocorrência desta espécie para o estado de São Paulo. As ocorrências registradas encontram-se nas Figuras 5 e 6.

L. derbyi apresenta uma ampla distribuição dentro da faixa de afloramentos da Formação Corumbataí, no Estado de São Paulo (Figuras 5 e 6). Isto sugere a domínio dessas licopodiópsidas durante o Permiano nesta região. A ocorrência desta espécie também acompanha o que se interpreta como a linha da costa, possivelmente habitando extensas planícies alagadas na Bacia do Paraná.

CONCLUSÕES

Apesar da espécie ter sido amplamente estudada e haver atualmente um vasto conhecimento sobre as *L. Derbyi* da Formação Corumbataí, as análises do material apresentado trazem novas contribuições, por sugerir uma interpretação para a variação das almofadas foliares e por descrever a morfologia externa dos caules.

A diagnose sistemática empreendida foi a mais parcimoniosa possível e levou em conta as descrições mais importantes (Renault, 1890; Kräusel, 1961; Lemoigne e Brown, 1980). Dessa forma, os caules estudados foram considerados e descritos como *Lycopodiopsis cf. derbyi*.

Os indivíduos encontrados, pertencentes a *L. derbyi*, são de tamanhos mais elevados, alcançando alturas superiores a um metro de altura; uma novidade para o grupo, visto que trabalhos anteriores á este o consideravam de estatura inferior à descrita aqui.

A preservação de exemplares com ramos dicotômicos é incomum, e portanto, encontrar indivíduos com esse grau de preservação, fornece informações valiosas, como a estratégia de crescimento das *L. derbyi*, e a diferenciação dos caules primários dos secundários, direcionando assim o sentido de crescimentos dos indivíduos, enriquecendo e fornecendo informações mais completas ao estudo.

Ocorreu a preservação polimorfa dos indivíduos, ocasionada pela perda de camadas do córtex, evidenciando ou não, feições da morfologia externa, que neste caso constatou uma variação das almofadas foliares em três tipos. Um tipo cuja preservação é melhor e evidencia caracteres anatômicos; um nível intermediário onde há uma perda, pequena de evidências desses aspectos; e o último nível, considerado o de pior preservação, onde há uma perda considerável quanto à

preservação da morfologia externa. A constatação desses diferentes níveis se torna importante para a diagnose e tafonomia do grupo, comprovado pela preservação de interníveis (dois níveis diferentes), em um mesmo indivíduo, algo não descrito anteriormente.

Interpreta-se que o registro fitofossilífera massivo seja parautóctone, já que os indivíduos não foram submetidos a longo transporte, há ausência de rizoma, e não ocorreu fragmentação dos caules.

A ocorrência abundante de *L. derbyi* na Formação Corumbataí, demonstra um domínio das licófitas na região, as quais deviam acompanhar o que se imagina ser a costa da Bacia do Paraná.

Constatou-se que o paleoambiente em que as licófitas viviam era um ambiente marinho plataformar de águas rasas em condições redutoras e oxidantes sob influência de marés, como observado através das análises de MEV/EDS, que permitiram a observação de presença de Carbonatos.

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. Universidade de Guarulhos, Dissertação de Mestrado, 97 p.
- Almeida, F. F.; Hasui, U.; Ponçano, W. L.; Dantas, A. S. L.; Carneiro, C.D.R.; Melo, M. S. & Bistrichi, C. A. (1981). In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Nota Explicativa. Volume I. Publicação IPT nº 1.184, Monografias 6, 1 26 p.
- Almeida, E. B.; Alegri, V.; Fuigie, A.; Zandonadi, A. R.; Costa, M. N. S.; Carvalho, S. G.; Prado, A. C. A.; Mijolaro, W. (2002). Caracterização tecnológica dos sedimentos da Formação Corumbataí, Permiano da Bacia do Paraná, na folha 4 da Mina do Cruzeiro, Município de Limeira (SP). Universidade de Guarulhos, Geociências, v. VII (6), P. 61-68.
- Anderson, J.; Anderson, H.; Archangelsky, S.; Bamford, M.; Chandra, S.; Dettmann, M.; Hill, R.; Mcloughlin, S. & Rösler, O. (1999). Patterns of Gondwana plant colonization and diversification. *Journal of African Earth Sciences*, 28(1):145 - 167.
- Archangelsky, S. (1970). Fundamentos de Paleobotânica. Universidad Nacional de La Plata. 347p.
- Banks, H. P. (1970) Evolution and plants of the past: Fundamentals of Botany Series. 170 p. Bateman, R. M.; Kenrick, P.; Rothwell, G. W. (2007) Do eligulate herbaceous lycopsids occur in Carboniferous strata? *Hestia eremosa* gen. et sp. nov. from the Mississippian of Oxroad Bay, East Lothian, Scotland. *Review of Palaeobotany and Palynology*. v. 144. P. 323-335
- Boreau, E. (1967). *Traité de Paléobotanique*. Tome II – Bryophyta, Psilophyta, Licophyta. Masson et cie Paris. Monografia, Boulevard.Saint-Germany.846 p.
- Chaloner, W., (1967). Lycophyta. In: Boureau, E. (Ed.), *Traité de Paléobotanique*, Tome II: Bryophyta, Psilophyta et Lycophyta. Masson et Cie, Paris, pp. 437–802.
- Christiano-de-Souza, I. C., Ricardi-Branco, F. S., (2013). Swamp flora changes through the Pennsylvanian Early Permian Interval in the Gondwana Floristic Province of the Brazilian Portion of the Paraná Basin. *Bull. - N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.* 60, 66–69.
- Christiano-de-Souza, I. C., Ricardi-Branco, F. S., Silva, A. M., El-Dash, L. G., Faria, R. S., (2014). New approach for the study of paleofloras using geographical information systems applied to *Glossopteris* Flora. *Braz. J. Geol.* 44, 681–689.
- Christiano-de-Souza, I. C. Ricardi-Branco, F. S. (2015). Study of the West Gondwana Floras during the Late Paleozoic: A paleogeographic approach in the Paraná Basin – Brazil. *Palaeogeography*,
- Christofolletti, S. R.; Moreno, M. M. T. & Batezelli, A. (2006) Análise de fácies da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois – Bacia do Paraná, Neopermiano), com vista ao emprego na indústria de revestimento cerâmico. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 36.

- Clapham, M.E., Shen, S., Bottjer, D.J. (2009) The double mass extinction revisited: reassessing the severity, selectivity, and causes of the end-Guadalupian biotic crisis (Late Permian). *Paleobiology*. v. 35. p. 32–50.
- 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.
- Crowley, T.J. & North, G.R. (1991). *Paleoclimatology*. New York, Oxford University Press, 349 p.
- Daemon, R. F. & Quadros, L. P. (1970) Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: XXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Brasília. Anais. p. 359 – 414.
- DiMichele, W. A., Hook, R. W., Beerbower, R., Boy, J. A., Gastaldo, R. A., Hotton, N., III, Phillips, T. M., Scheckler, S. E., Shear, W. A., and Sues, H.-D. (1992). Paleozoic terrestrial ecosystems.” In “Terrestrial Ecosystems through Time: Evolutionary Paleocology of Terrestrial Plants and Animals” (A. K. Behrensmeyer, J. D. Damuth, W. A. DiMichele, R. Potts, H.-D. Sues, and S. L. Wing, Eds.), pp. 205–325. Univ. of Chicago Press, Chicago.
- DiMichele, W. A. & Skong, J. E. (1992) The Lycopsidea: A Symposium. Missouri Botanical Garden Press. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. v. 79. n° 3. p. 447-449.
- DiMichele, W. A., Bateman, R. M., (1996). The rhizomorphic lycopsids: a case-study in paleobotanical classification. *Systematic Botany* 21, 535–552.
- Edwards, W. N. (1952) *Lycopodiopsis*, a Southern hemisphere Lepidophyte. *Palaebotany*, 1: 159-164.
- Eggert, D. A. (1961). The ontogeny of carboniferous arborescent Lycopsidea. *Palaeontographica* (B) 108, 43–92.
- Erwin, E. H., Bowring, S. A., Yogan, J. (2002) End-Permian mass extinction: a review. In: Koeberl, C., MacLeod, K.G. (Eds.), *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond*: Geological Society of America. Special Paper. 356. p. 363–383.
- Fanton, J. C. M., Ricardi-Branco, F., Ricardi, M. T., Rohn, R. (2006). Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): Novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Revista Brasileira de Paleontologia*. V. 9 (2) : 221-234.
- Faria, R. S. e Ricardi-Branco, F. (2007) Licófitas Permianas da Formação Corumbataí, SP. *Revista Brasileira de Biociências (Online)*, v. 5, p. 6-8.

- 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.
- Faria, R. S., Ricardi-Branco, F., Giannini, P. C. F., Sawakuchi, A. O., Del Ben, L. E. V. (2009) *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. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 158, p. 180-192.
- Faria, R. S. e Ricardi-Branco, F. (2010) *Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. from the Guadalupian in the Paraná Basin, southern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 160, p. 135-142.
- Frakes, L. A., Francis, J. E., Syktus, J. I. (1992) *Climate modes of the Phanerozoic. The History of the Earth's Climate over the Past 600 Million Years*. Cambridge University Press. Cambridge
- Gama Junior, E. (1979). A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati), um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. V. 9, n. 1, p. 1-16.
- Gastaldo, R. A., DiMichele, W. A., Pfefferkorn, H. W. (1996) Out of the icehouse into the greenhouse: a Late Paleozoic analog for modern global vegetational change. *GSA Today* 6. p.1-7.
- Gibbs, M. T., Rees, P. M., Kutzbach, J. E., Ziegler, A. M., Behling, P. J., Rowley, D. B. (2002) Simulations of Permian climate and comparisons with climate-sensitive sediments. *J. Geol.* v. 110. p. 33-55.
- Hirmer, M. (1927) *Handbuch der Paläobotanik*. I. R. Oldenbourg, Berlin, 708pp.
- Isbell, J. L., Fraiser, M. L., Henry, L. C. (2008) Examining the complexity of environmental change during the Late Paleozoic and Early Mesozoic. *Palaios* v. 23. p. 267-269.
- Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, 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: 62-92.
- Kenrick, P. & Crane, P. R. (1991). Water-conducting cells in early land plants: implications for the early evolution of tracheophytes. *Bot. Gaz. (Crawfordsville)* v. 152. p.335-356.
- Kenrick, P., and Crane, P. R. (1997). The origin and early evolution of plants on land. *Nature* 389: 33-39.
- Lavina, E. L.; Lopes, R. C. (1986). A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. *Porto Alegre*, n. 1, p. 51 - 103.

- Lavina, E. L. (1988). The Passa Dois Group. In: International Gondwana Symposium, 7. São Paulo. Field excursion guide book. São Paulo: Instituto de Geociências, 1988. p. 24-30.
- Lemoigne, Y. & Brown, J. T. (1980). Revision du genre *Lycopodiopsis* B. Renault, 1980. Limarino, C. O., Césari, S. N., Spalletti, L. A., Taboada, A. C., Isbell, J. L. I., Geuna, S., Gulbranson, E. L. (2014) A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: A record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Res.* v. 25. p. 1396–1421.
- Mendão, A. S. N. (2007). As grandes transformações das plantas ao longo da história da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Tese de doutorado. p. 337.
- Metcalfe, I., Isozaki, I. (2009) Current perspectives on the Permian–Triassic boundary and end-Permian mass extinction: preface. *Journal of Asian Earth Sciences* v. 36. p. 407–412.
- Meyen, S. V. (1976). Carboniferous and Permian Lepidophytes of Angaraland. *Palaeontographica*, 157: 112-157.
- Mezzalira, S. (1980) Bioestratigrafia do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.* v. 1(1). p. 15-34.
- Milani, E. J.; França, A. B.; Schneider, R. L. (1994). Bacia do Paraná. In: *Boletim de Geociências da Petrobrás*, V.8, p. 69-82.
- Milani, E. J. (1997). Evolução Tectono-Estratográfica da Bacia do Paraná e Seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências. Vol.1, 255 p.
- Milani, E. J., Faccini, U. F., Scherer, C. M., Araújo, L. M. D., & Cupertino, J. A. (1998). Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), southern Brazil. *Boletim IG-USP*, 29, 125-173.
- Milani, E. J.; Melo J. H. G.; Souza P. A.; Fernandes L. A.; França, A.B. (2007). Bacia do Paraná. In: *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 265-287.
- Neregato, R., Iannuzzi, R. (2017) Tafonomia em Plantas *In: Tafonomia: métodos, processos e aplicação.* Curitiba. p. 237 – 283.
- Ollgaard, B. (1992) Neotropical Lycopodiaceae-an overview. *Missouri Bot. Gard.* v. 79. p. 687-717.
- Perinotto, J. A. J.; Etchebehere, M. L. C.; Simões, L. S. A.; Zanardo, A. (2008). Diques clásticos na Formação Corumbataí (P) no nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. *São Paulo, UNESP, Geociências*, v. 27, n. 4, p. 469-491.
- Petri, S.; Coimbra, A. M. (1982). Estruturas sedimentares das formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para a elucidação dos seus paleoambientes geradores, Brasil. In: *V Congresso Latino-Americano de Geologia.* 2: 353-371.

- Poulsen, C. J., Pollard, D., Montanez, I. P., Rowley, D. B. (2007) Late Paleozoic tropical climate response to Gondwana deglaciation. *Geology* v. 35, p. 771–774.
- 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.
- Renault, M. B. (1890). Sur une nouvelle Lycopodiacee houillere (*Lycopodiopsis derbyi*). *Comptes Rendus hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences*, 110: 869-871.
- Rigby, J. F. (1970) Distribution of Lower Gondwana plants in the Parana basin of Brazil. *In: Gondwana Symposium, 2. Pretoria.*
- Rohn, R. (1994). Evolução ambiental da bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 386 p.
- 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, Extended Abstracts, Gramado, p. 151–157.
- Schneider, R. L.; Müllmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. A.; Daemon, R. F.; Nogueira, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, 1974. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, p. 41-65.
- Simões, M. G. & Fittipaldi, F. C. (1992) Fósseis da região de Rio Claro. Arquivo do município de Rio Claro.
- Souza, S. H. M. (1985) Fácies Sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. Dissertação de Mestrado. 142p.
- Spiekermann, R., Uhl, D., Benício, J. R. W., Guerra-Sommer, M., Jasper, A. (2018). A remarkable mass-assembly of lycopsid remains from the Rio Bonito Formation, lower Permian of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Palaeobio Palaeoenv.* V. 98. Ed. 3. P 369-384.
- Steinmann, G. (1924) Über *Lycopodiopsis*. *Paläont. Z.*, 6: 257-263.
- Stewart, W.N., Rothwell, G.W., (1993). Paleobotany and the evolution of plants. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Taylor, T. N. e Taylor, E. L. (1993) The Biology and Evolution of Fossil Plants. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 982 pp.
- Thomas, B. A. & Meyen, S. (1984). A system of form-genera for the Upper Paleozoic Lepidophyte stems represented by compressão-impression material. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 41: 273 – 281.
- Toledo, C. E. V.; Masson, M. P.; Bertini, R. J. (1997) Lithosedimentological analysis of a boné-bed with vertebrate remains from Corumbataí Formation (Upper Permian) near Rio Claro

- City. State of São Paulo (Brazil). In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 15, São Pedro. Boletim de Resumos, Rio Claro, SBP. P. 159.
- Toledo, C. E. V. (2001) Análise Paleoictiológica da Formação Corumbataí na Região de Rio Claro, Estado de São Paulo. Rio Claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado. p.146.
- Torsvika, T. H., Cocks, L. R. M. (2013) Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Res.* v. 24 (3–4). p. 999–1030.
- Torres, F. S. R. ; Rösler, O. (1998). Tafoflora gondvânica do membro Triunfo Formação Rio Bonito (Eopermiano), no município de Figueira, PR. Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo, SP. Tese de doutorado.
- Wagner, W. H., JR. & Beitel J. M. (1992) Generic classification of modern North American Lycopodiaceae. *Missouri Bot. Gard.* v. 79. p. 676-686.
- Wikström, N. e Nick, P. (2000) Evolution of Lycopodiaceae (Lycopsida): Estimating Divergence Times from *rbcL* Gene Sequences by Use of Nonparametric Rate Smoothing Molecular Phylogenetics and Evolution. Vol. 19, No. 2, May, pp. 177–186.
- Willis, K. J. & McElwain J. C. (2002) *The Evolution of Plants*. Oxford University Press.
- 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.*
- Zanardo, A.; Montibeller, C. C.; Navarro, G. R. B.; Moreno, M. M. T.; Rocha, R. R.; Roveri, C.; Azzi, A. A. (2016). Formação Corumbataí na região de Rio Claro/SP: Petrografia e implicações genéticas. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 35, n. 3, p.322-345.
- Zeiller, A. G. (1898) Sur un Lepidodendron silicifié du Brésil. *C. r. Ac. Sc. Paris*, 127, 245-247.