

Elementos de frondes Pecopterídeas do Permiano do Extremo Sul da Bacia do Paraná, Brasil

Pecopterids from the Permian of the Extreme South of the Paraná Basin, Brazil

Elementos de frondas Pecoptéridas del Pérmico del Extremo Sur de la Cuenca del Paraná, Brasil

Vittor Cambria

<https://orcid.org/0000-0001-8357-3936>

vittorcambria@hotmail.com

Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, MG

Romulo Cenci

<https://orcid.org/0000-0001-9310-7330>

romulocenci@hotmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, RS

Renata Netto

<https://orcid.org/0000-0003-0168-9105>

Nettorg@unisinors.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, RS

Henrique Parisi Kern

<https://orcid.org/0000-0003-1663-8765>

kern.henrique@gmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, RS

Joice Cagliari

<https://orcid.org/0000-0002-7074-9362>

joice@unisinors.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, RS

Daniel Sedorko

<https://orcid.org/0000-0002-9324-3460>

sedorko@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia, MG

Resumo: Neste trabalho caracterizamos os fósseis de frondes pecopterídeas encontrados em depósitos do Grupo Passa Dois (Permiano Superior da Bacia do Paraná) em um novo afloramento fitofossilífero no município de Aceguá, às margens da BR-153, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As frondes pecopterídeas são comuns no contexto paleofitogeográfico do Gondwana, demarcando fases interglaciais do Paleozoico Superior e pertencem à Flora *Glossopteris* durante o Permiano, extinguindo-se na passagem Permo-Triássica. A análise de 11 fitofósseis de fragmentos de frondes férteis e inférteis encontrados em níveis de argilitos permitiram reconhecer os elementos pecopterídeos em *Pecopteris* sp. e cf. *Scolecopteris*. Inferências dos processos tafonômicos e deposicionais que condicionaram a preservação dos fósseis são realizadas de acordo com os espécimes descritos e auxiliam na interpretação na posição de preservação de frondes pecopterídeas. Os elementos pecopterídeos descritos demarcam uma nova associação para o Permiano Superior em depósitos da porção superior do Grupo Passa Dois da Formação Teresina.

Palavras-chave: *Pecopteris*, *Scolecopteris*, Paleobotânica, Tafonomia Formação Teresina.

Abstract: In this paper we characterize pecopterids found in deposits of the Passa Dois Group (Upper Permian of the Paraná Basin) in a new outcrop, on the side of the BR-153 road, located at the municipality of Aceguá, Rio Grande do Sul State, Brazil. Pecopterids are common in the Permian paleophytogeographic realms, signaling interglacial phases of the Late Paleozoic. Pecopteris are one of the floral elements of the Permian *Glossopteris* flora and become extinct in the Permo-Triassic boundary. Mudstone strata levels bearing phytofossils with different preservation qualities allowed the recognition of *Pecopteris* sp. and cf. *Scolecopteris* sp. floral elements. Taphonomic and depositional processes that conditioned the preservation of phytofossils are suggested accordingly the specimens described. Phytofossil specimen described support and highlight polymorphic nature of Gondwanan pecopterids. These new findings demonstrate potential for further paleobotanical studies in the upper portion of the Passa Dois Group and strength the notion of Permian strata for the Teresina Formation.

Keywords: *Pecopteris*, *Scolecopteris*, Paleobotany, Tafonomy, Teresina Formation.

Resumen: En este trabajo caracterizamos los fósiles de frondes pecoptéridas encontradas en depósitos del Grupo Passa Dois (Pérmico Superior de la Cuenca del Paraná) en un nuevo afloramiento fitofossilífero en el municipio de Aceguá, a lo largo de la vía BR-153, en el estado de Rio Grande do Sul, Brasil. Las pecoptéridas son comunes en el contexto paleofitogeográfico de Gondwana, delimitan las fases interglaciares del Paleozoico superior y pertenecen a Flora de *Glossopteris* del Pérmico, extinguiéndose en el pasaje Permo-Triásico. El análisis de 11 fitofósiles de fragmentos de frondes fértiles e infértiles encontrados en niveles de arcillas permitió el reconocimiento de elementos pecopteridos en *Pecopteris* sp. y véase *Scolecopteris*. Las inferencias de los procesos tafonómicos y deposicionales que condicionaron la conservación de los fósiles se realizan de acuerdo con los especímenes descritos y soportan la interpretación de la posición de conservación de las frondes pecoptéridas. Los elementos de frondes pecoptéridas descritos demarcan una nueva asociación para el Pérmico Superior en depósitos de la porción superior del Grupo Passa Dois de la Formación Teresina.

Palabras clave: *Pecopteris*, *Scolecopteris*, Paleobotánica, Tafonomía, Formación Teresina.

INTRODUÇÃO

As frondes pecopterídeas são um grupo diverso de samambaias mariattialeanas exclusivas do Paleozoico (Taylor, Taylor & Krings, 2009). Os órgãos foliares de *Pecopteris* são frondes com morfologia aparentemente simples, o tamanho reduzido das pinas e a venação pecopterídea são as principais características morfológicas e diagnósticas do grupo (Cleal & Thomas, 2018). Os registros de frondes pecopterídeas são atribuídas principalmente ao gênero *Pecopteris* e *Dizeugotheca*, sendo de menor ocorrência para *Asterotheca* (Rohn & Rosler, 1986).

Da mesma forma que a distribuição de frondes pecopterídeas é cosmopolita, diversas morfoespécies são descritas para localidades da Bolívia, Argentina e Brasil para o Paleozoico Superior (Feruglio, 1933, 1951; Read, 1941; Frenguelli, 1953; Archangelsky & De La Sota, 1960; Rösler, 1972; Cazzulo-Klepzig, 1978; Rohn & Rösler, 1986; Vieira & Iannuzzi, 2000; Vieira, Iannuzzi, Guerra-Sommer, Díaz-Martínez & Grader, 2004; Vieira, 2004). Os diversos registros do grupo e a variabilidade de preservação e a polimorfia das frondes pecopterídeas tornaram-se um tema recorrente de debate (Frenguelli, 1953; Herbst & Amábili, 2011; Vieira & Iannuzzi, 2000). Impressões com ausência de evidência tridimensional dos tecidos nas localidades brasileiras, critérios morfoanatômicos e ontogenéticos foram utilizados para reconstruções das frondes pecopterídeas e a redução de morfoespécies (Rohn & Rosler, 1986; Vieira & Iannuzzi, 2000; Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). Os registros de pequenos fragmentos e de diferentes estágios ontogenéticos da frondes pecopterídeas podem ter insuflado a quantidade de morfoespécies para o grupo (Archangelski & De La Sota, 1960; Herbst & Amábili, 2011; Wagner, 2016; Frojdová, Cleal, Bek & Psenicka, 2020). Em consequência desse cenário, revisões taxonômicas extensivas dos gêneros de frondes pecopterídeas foram realizadas em diversas ocasiões desses registros provindos das bacias sul-americanas (Frenguelli, 1953; Vieira, 2004; Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). Dessa forma, os gêneros pecopterídeos *Pecopteris*, *Asterotheca* e *?Dizeugotheca* possuem diferentes graus de similaridade entre os registros e classificações baseadas em diferenças na disposição e densidade de caracteres de frondes férteis e inférteis (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). *Pecopteris*, contudo, é conhecido como um grupo artificial consagrado e com descrição ampla que engloba os caracteres de frondes ocorrentes em diversos afloramentos do Paleozoico Superior da Bacia do Paraná (Rohn & Rösler, 1986).

Fronde férteis pecopterídeas são comumente associadas a estruturas reprodutivas de Psaroniaceae (Taylor, Taylor & Krings, 2009). *Scolecopteris* se apresenta como o morfotaxon mais comum e completo descrito na literatura, seguido por menores ocorrências de *Cyathotrachus* e *Eoangiopteris*. Os sinângios de *Scolecopteris* são pedicelados e compostos por anéis de esporângios comprimidos lateralmente situados no lado abaxial de frondes (Taylor, Taylor & Krings, 2009).

A primeira ocorrência de frondes pecopterídeas é datada do Serpukhoviano (final do Mississípiano) e a radiação do grupo ocorreu no Pensilvaniano (Boureau & Doubinger, 1970, 1975; Kenrick & Crane, 1997). Esse grupo cosmopolita foi um elemento comum nos domínios paleofitogeográficos gonduânicos durante o Paleozoico Superior, desaparecendo

no evento de extinção do limite Permo-Triássico (Cúneo, 1996; Azcuy & Césari, 1980). No Permiano, as frondes pecopterídeas se tornaram subjugadas aos outros elementos paleoflorísticos da flora de *Glossopteris* no oeste do Gondwana (Cúneo, 1996). De distribuição global, a ocorrência comum de frondes pecopterídeas é comum nos domínios paleofitogeográficos do Paleozóico Superior no Gondwana (Ziegler, 1990; Cúneo, 1996) strong phytogeographic differentiation can be observed throughout the Permian. In order to identify short term phytogeographic patterns, the Permian period was informally divided into five time slices. In the Permian Stage I (earliest Permian. Os elementos pecopterídeos ocorrem de forma constante a partir do final do Carbonífero no Gondwana, sendo um elemento Euroamericano tropical da flora de *Nothorhacopteris* (Iannuzzi & Rösler, 2000).

A abundância e predominância dos gêneros *Pecopteris* e *Asterotheca* sobre os outros elementos de flora ocorre apenas no início do Permiano para as unidades brasileiras (Vieira & Iannuzzi, 2000), demarcando a passagem de uma fase glacial (*icehouse*) para um interglacial (*greenhouse*) em latitudes médias no Gondwana (Iannuzzi & Rösler, 2000). As frondes pecopterídeas do Permiano Superior brasileiro possuem um registro em várias localidades no estado de São Paulo (Rohn & Rosler, 1986), sendo menos frequente nos estados do Paraná e Santa Catarina (Rohn, 1994). Comuns para a Formação Rio do Rasto (Permiano Superior), apresentam-se com diferentes qualidades de preservação classificados em dois gêneros principais, *Pecopteris* e *Dizeugotheca* (Rohn & Rosler, 1986). Além de *Pecopteris*, *Asterotheca* é registrada como a mais antiga do tipo para o Permiano Inferior (Sakmariano), na Formação Rio Bonito da Bacia do Paraná (Vieira & Iannuzzi, 2000). Embora frondes sejam determinadas para o gênero *Asterotheca*, algumas possuem questionamentos devido a polimorfia de frondes polimórficas, realocando alguns morfotaxons para o gênero *Pecopteris* (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007).

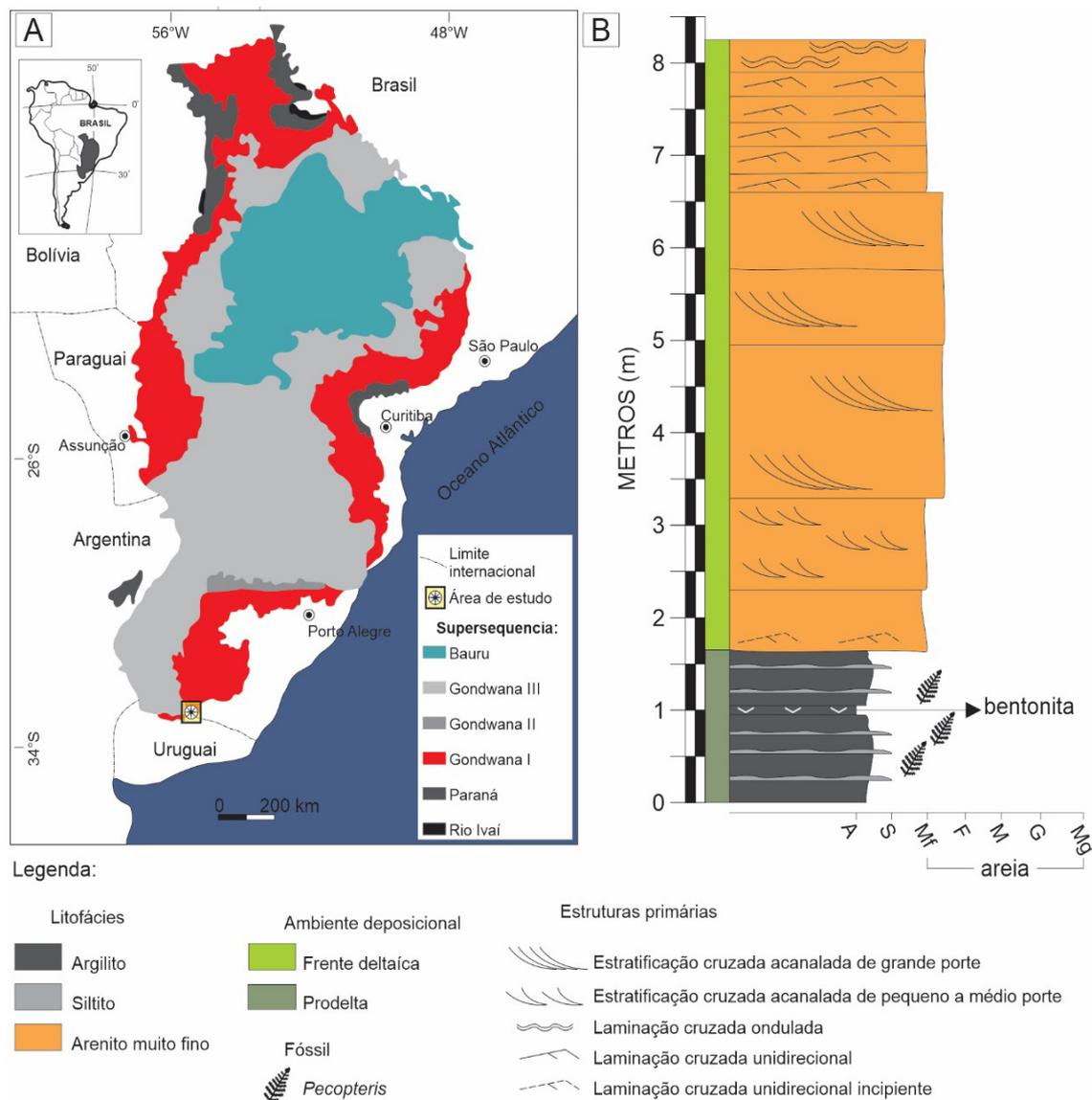
Uma nova localidade do domínio paleofitogeográfico da flora de *Glossopteris* foi encontrada no município de Aceguá (RS), com descobertas de elementos de impressões de frondes pecopterídeas para a porção sul da Bacia do Paraná em território brasileiro. Portanto, este trabalho almeja (i) descrever e identificar os morfotipos encontrados, e (ii) discutir as implicações do registro do elemento pecopterídeo para o Permiano Superior do oeste do Gondwana.

CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO

A Bacia do Paraná corresponde a uma bacia intracratônica situada na porção oeste do Supercontinente Gondwana, sendo composta por seis supersequências que datam do Meso-Ordoviciano ao Neo-Cretáceo (Milani, Melo, Souza, Fernandes & França, 2007) (Fig. 1A). A terceira supersequência, denominada Gondwana I, engloba os depósitos dos períodos Permiano ao Eo-Triássico. Esses depósitos correspondem a um ciclo transgressivo-regressivo completo, associado às alterações tectônicas e climáticas que ocorreram após a glaciação carbonífera (Milani et al., 2007). O intervalo estudado se enquadra no contexto

regressivo deste ciclo que compõe a Supersequência Gondwana I, relacionado à Formação Teresina, porção superior do Grupo Passa Dois.

Figura 1: Contexto geológico da área em estudo. A. Mapa geológico da Bacia do Paraná, indicando a área de estudo (adaptado de Milani, 1997). B. Perfil sedimentológico do afloramento BR-153, em Aceguá (RS), apresentando os níveis de ocorrência dos elementos de frondes pecopterídeas.



Na porção sul da Bacia do Paraná, a Formação Teresina é caracterizada por siltitos, heterolitos e arenitos finos com laminação cruzada e/ou estratificação cruzada *hummocky*, representando sedimentação em ambiente marinho raso (*offshore* e *shoreface*) (Figueiredo Filho, 1972; Schneider, Mühlmann, Tommasi, Medeiros, Daemon & Nogueira, 1974; Gama Jr, 1979; Rohn, 1989; Lavina, 1992; Klein, Leipnitz & Nowatzki, 1999; Lima & Netto, 2012; Klein, Iglesias & Camozzato, 2018; Kern, Lavina, Paim, Girelli & Lana, 2021). Em subsuperfície, Kern et al. (2021) também reconhecem fácies com influência deltaica contígua aos depósitos marinhos rasos. Os depósitos deltaicos são representados por siltitos, arenitos

muito finos com laminação cruzada, arenitos finos com laminação plano-paralela e arenitos médios a grossos com estratificação cruzada acanalada (Kern et al., 2021). As associações icnológicas descritas por Lima e Netto (2012), para a Formação Teresina, revelam um contexto paleoambiental dominado por fauna marinha bentônica e estressada por flutuações de salinidade no meio.

O presente estudo se refere a um afloramento existente junto à rodovia BR-153, no município de Aceguá (RS). O afloramento apresenta cerca de 8 m de espessura (Fig. 1B), sendo composto pelas seguintes fácies sedimentares: i) argilito marrom avermelhado intercalado com lentes centimétricas de siltito laminado, com restos vegetais e bioturbação horizontal; ii) argilito rosa esbranquiçado (bentonita); iii) arenito de granulometria muito fina, quartzoso, com laminação cruzada unidirecional incipiente a massivo; iv) arenito de granulometria muito fina, quartzoso, com estratificação cruzada de pequeno porte; v) arenito de granulometria muito fina a fina, quartzoso, com estratificação cruzada de grande porte; vi) arenito de granulometria muito fina, quartzoso, com laminação cruzada unidirecional; e vii) arenito de granulometria muito fina, quartzoso, com laminação ondulada. No conjunto, esses depósitos foram relacionados a sedimentação deltaica, sendo as fácies lamosas associadas ao prodelta e os arenitos representam os depósitos de frente deltaica. Os restos vegetais que ocorrem nas fácies lamosas de prodelta (argilitos e siltitos) correspondem aos espécimes de *Pecopteris*, sendo sua ocorrência o principal objetivo do presente estudo.

Por fim, salienta-se que a partir de uma abordagem litoestratigráfica, os depósitos que ocorrem na região de Aceguá são usualmente interpretados como pertencentes as fácies continentais da Formação Rio do Rasto (Membro Morro Pelado) (Lavina, 1992; Wildner, Ramos & Iglesias, 2006; Rocha-Campos et al., 2019). Entretanto, no presente trabalho esses depósitos foram associados às fácies deltaicas da Formação Teresina (Kern et al., 2021). Tal interpretação deve-se ao fato de que a idade máxima de deposição proposta para o Membro Morro Pelado ($257,5 \pm 6,9$ Ma) (Rocha-Campos et al., 2019) é semelhante às idades máximas de deposição obtidas para a Formação Teresina ($258,0 \pm 2,2$ Ma e $254,0 \pm 2,58$ Ma) (Kern et al., 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

O material de estudo corresponde a 12 amostras contendo 13 fitofósseis que ocorrem em três níveis de siltitos laminados associados aos argilitos maciços (Fig. 1B). Esses espécimes apresentam preservação da cutícula da epiderme (molde externo) com impressões com detalhes da cutícula da epiderme das frondes. Os níveis de lamito abaixo das impressões de frondes apresentam compressões fósseis *in situ* de elementos radiculares de aspecto rizomatoso horizontalizados associados aos níveis fitofossilíferos de elementos pecopterídeos.

As amostras consistem em impressões de frondes fragmentadas em preservação de réplicas autigênicas (moldes externos). O estudo teve como base a identificação e a

descrição do maior número estruturas morfológicas vegetais preservados, integrando as informações com inferências tafonômicas quanto a forma de preservação dos elementos paleoflorísticos. Para comparação dos elementos de frondes pecopterídeas utilizou-se a metodologia proposta por Wagner (1968) e a consideração de frondes pecopterídeas sul-americanas correlatas descritas (Rohn & Rosler, 1986; Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007; Tavares, Rohn, Röler & Noll, 2014). As descrições foram baseadas glossário de termos para frondes de Tryon (1970). Os fósseis estão depositados no acervo do Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul (MHGeo) sob várias siglas ULVG (indicadas nas descrições), e no Laboratório de Paleontologia Estratigráfica (LAPE) da Universidade Federal de Uberlândia, sob as siglas LPEB seguido das numerações.

As fotografias foram capturadas por Câmeras Canon EOS Rebel XT utilizando lente macro 100mm, Câmera Nikon D3200 de 24.2 Megapixels, e celular Redmi Note 8 (48MB) acoplado com suporte a estereomicroscópio Zeiss. O programa Corel Draw X7 foi utilizado para edição de fotos e ilustrações dos espécimes estudados. Para verificar menores detalhes, submeteu-se os espécimes fósseis do LAPE à microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Laboratório Multiusuário do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

SISTEMÁTICA PALEOBOTÂNICA

Reino Plantae

Divisão Monilophyta Kenrick & Crane 1997

Classe Polypodiopsida Doweld 2001

Ordem Marattiales Link 1833

Família Marattiaceae Kaulf 1824

Gênero *Pecopteris* Sternberg 1825

Espécie *Pecopteris* sp.

Fronde férteis: ULVG-12595

Fronde inférteis: ULVG-12723, ULVG-12729, ULVG-12721, ULVG-12730, ULVG-12726, ULVG-12714, ULVG-12713, ULVG-12717, ULVG-12720, LPEB-0037 e LPEB-0040

Descrição

Pinas – Pinas secundárias simples estéreis lanceoladas. As pinas apresentam lados abaxiais e adaxiais dos segmentos. As pinas são preservadas em fragmentos parciais de uma pina por amostra e apenas um dos lados do segmento pinado está preservado como impressão. A área de impressão de fitofósseis de pinas incompletas medem até no máximo 6 cm de comprimento. Ráquis das pinas preservadas sem conexão com as pínulas. Ráquis com coloração roxeada e nas pínulas a região é roseada a avermelhada.

Pínulas – Pínulas digitiformes de ápice da margem lobado. O comprimento máximo aproximado da maior pínula é de 20 mm (Tab. 1), e a distância entre pínulas de 0,5 a 0,7 mm. Pinas inseridas retas na ráquis, na porção mediana apresentam-se curvadas com posição oblíqua em relação à ráquis. Margens das pínulas preservadas nas porções da base e média, e sem preservação da margem e do ápice, bem como a base da pina em conexão à raquis não estão preservados.

Venação – Nervura média (costa) se apresenta sem dicotomizações até o ápice. As nervuras secundárias são contínuas sem dicotomização na porção basal da pínula. As nervuras secundárias das pínulas apresentam uma dicotomia a partir da parte mediana da pínula. Na porção média da face do limbo da pínula, e na região do ápice da pínula a dicotomização se apresenta mais próxima à venação média (Fig. 2A, B, C). A venação apresenta nervuras secundárias que saem pelos dois lados da nervura média em posição decorrente, de forma sequenciada com um espaçamento de 1 mm entre as venações secundárias.

Observações: A presença de pínulas de pequeno porte e a disposição de nervuras com uma dicotomização são características dos elementos do gênero *Pecopteris*. A ausência de conexão entre as pínulas e ráquis impede a classificação a nível de morfoespécies, embora apresentem diversos caracteres semelhantes às impressões de fragmentos vegetais de pinas com venação pecopterídea. O tamanho reduzido consiste em um dos caracteres diagnósticos de elemento de *Pecopteris*. As venações secundárias dicotomizadas apenas na parte apical em algumas pínulas demonstra afinidade com *Pecopteris bracatingaensis* Rohn & Rosler (1986).

Considerações: As impressões são de ráquis, ráquulas e pínulas de frondes pecopterídeas conectadas e desconectadas, sempre associadas a talos rizomatosos horizontalmente posicionados em preservação *in situ* (a serem descritos em trabalhos posteriores). De maneira geral, os órgãos foliares são de frondes pinas lanceloladas, de pinas bipinuladas de pínulas simples digitiformes de pequeno porte com preservação de partes parciais desconectadas de frondes férteis e inférteis. As nervuras médias e secundárias são evidenciadas em relevo. As impressões consistem em moldes externos das partes abaxiais de um lado das ráquulas pinuladas raramente com a conexão preservadas, sendo a maioria desconectadas com as estruturas das pinas, pínulas, ráquis e raros pecíolos das frondes, sempre associadas na mesma amostra fóssil. Apenas um dos lados da pina está preservada em impressão, dessa forma, a estrutura geral da fronde e a decorrência das pinas são ausentes nas amostras analisadas. Uma provável impressão da deiscência do sinângio se apresenta próximo à primeira parte do limbo de uma pínula, apresentando um sinângio com a abertura de 4 lobos semelhante a estrutura reprodutiva *Scoleopteris* (Fig. 2I, J). Os elementos apresentados na Figura 2 possuem padrões de venações das pínulas semelhantes aos morfotipos apresentados por Rohn e Rosler (1986), de localidades dos estados do Paraná e São Paulo (Formação Rio do Rasto). Há similaridades nas nervuras secundárias das pinas com a descrição de *Pecopteris* sp.1 descrita por Rohn e Rosler (1986, p. 68). O relevo das nervuras secundárias dicotomizadas salientes indicam a impressão da face abaxial da fronde, apresentando-se afinidade com o elemento *Pecopteris bracatingaensis*. O espécime

ULVG-12717 possivelmente corresponde a parte abaxial da fronde devido aos caracteres de nervuras dicotomizadas proeminentes (Fig. 2G, H) característico de impressão abaxial das pínulas pecoptérídeas (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). O espécime LPEB-0037 demonstra a posição da impressão das pinas em face adaxial, já que as venações secundárias das pínulas não são proeminentes (Fig. 3A, B). Além disso, a ráquis, mesmo que pobremente preservada, sugerem a possível conexão devido a posição perpendicular das pínulas à ráquis. As pínulas da figura 2A e B assemelham-se às dicotomizações na porção média do limbo da pínula a *Pecopteris taguaiensis* (Rohn & Rosler, 1986) do estado de São Paulo, e *Pecopteris dolianitti* (Rohn & Rosler, 1986). O padrão das venações da impressão da superfície adaxial de *Pecopteris cadeadensis* apresenta semelhança em dicotomização das venações secundárias em locais diferentes e intercaladas como nos desenhos esquemáticos da figura 2B e 2F. Além disso, semelhanças entre as dicotomizações seriadas dos espécimes de *Pecopteris* sp.1 (Rohn & Rosler, 1986) com a porção média do espécime detalhado em figura 2F, demonstram os padrões semelhantes aos espécimes estudados. A melhor preservação em detalhes das venações do espécime da figura 2G (ULVG-12717) demonstra o caractere de amplitude do ângulo de inserção das venações secundária na venação média, semelhantes a *Pecopteris dolianitti* (Rohn & Rosler, 1986), sendo o morfotipo que também compartilha o caractere de dicotomizações nas venações secundárias da pínula seriadas. O morfotáxon *Pecopteris pedrasica* Read (emend. Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007) em preservação da superfície adaxial das pínulas apresenta diferenças significativas de tamanho de pínulas na base da pina, onde o espécime da figura 3A apresenta 24,3 mm de comprimento máximo de pínula, sem o ápice preservado, sendo o caractere ausente nos espécimes estudados. Já o padrão de venação das pínulas são concordantes ao espécime de *P. cadeadensis* (Rohn & Rosler, 1986), no entanto o comprimento máximo das pinas do espécime da figura 3A é maior que o alcance das pinas em *P. cadeadensis* (7,7 a 9,6 mm). Portanto, devido à preservação parcial dos caracteres listados, partes desconectadas e parciais e distintas posições preservadas em cada espécime, a classificação conservativa a nível de gênero *Pecopteris* é escolhida para as frondes pecoptérídeas estudadas (e.g. Rohn & Rosler, 1986; Vieira, Iannuzzi e Guerra-Sommer, 2007).

Família Psaroniaceae Kaulf 1824

Gênero cf. *Scoleopteris*

Amostra: ULVG-12595

Diagnose: A disposição dos sinângios de até 4 lóbulos demonstram morfologia de afinidade de caracteres associado ao elemento cf. *Scolepteris*.

Descrição: Sinângios - Estruturas reprodutivas de sinângios pobremente preservados com 4 lobos e 1 mm de diâmetro ocorrendo na lâmina entre as venações secundárias das pinas. Dois espécimes em amostras diferentes (ULVG-12595) com fragmento de fronde fértil com caracteres epidérmicos fornecem informações das pinas com sinângios. Apenas uma estrutura preservada em impressão retrata a deiscência do sinângio no espaço intervenção

entre as venações secundárias orbicularmente arranjados (esporângios exânulos = *exannulate sporangia*) (Fig. 2I, J). A estrutura reprodutiva encontrada possui forma ovalada em relevo com superfície irregular nas bases das pinas entre as venações secundárias.

Observações: Devido ao aspecto da preservação em impressão e a possível crenulação das pinas no contato no momento do soterramento, a evidência da impressão das nervuras medianas e secundárias da pínula são frequentemente proeminentes em frondes pecopterídeas (Ron & Rosler, 1986; Vieira & Iannuzzi, 2000) sendo a face abaxial impressa como evidência. Desta forma as estruturas lobadas conectadas ao elemento de fronde *Pecopteris* é caractere associado a *Scolecopteris*. Devido à preservação apenas de moldes externos dos espécimes, a diagnose conservativa se mantém a cf. *Scolecopteris*.

Tabela 1: Medidas de caracteres morfométricos (mm) das frondes pecopterídeas do Afloramento BR-153 Aceguá Permiano Superior da Bacia do Paraná.

Partes mensuradas da fronde	ULVG-12595*	ULVG-12723	ULVG-12721	ULVG-12730	ULVG-12714	ULVG-12717	ULVG-12720	LPEB-0037
Densidade de pinas por cm ²	2,6	**	-	-	2,1	-	-	3,5
Largura da pina	3,6;4	3,7	4,5;4;4	5,11; 6,05;5,26	4,6;4,83; 3,52;4; 5,02	4,16	3,61	4,6; 2,1; 2,3; 1,9; 1,9; 1,4
Pínula de maior comprimento	-	-	-	-	-	-	-	20
Largura da venação média	0,22	0,53	0,63	1,07	0,36;0,45; 0,3;0,34	0,91	0,29	-
Distância entre as pinas	-	-	0,53	0,78	-	-	-	0,39
Densidade de venações secundárias da pínula	2	-	-	-	1,6	-	-	-
Diâmetro do sinângio	1	-	-	-	-	-	-	-
Quantidade de nervuras secundárias (metade da pínula)	13;16;15	-	-	-	-	-	-	-
Distância entre as venações secundárias	-	0,65	-	0,73	0,78	0,74	0,57	1

* Código da amostra.

** Não existente ou não mensurável na amostra.

Figura 2: Venações e caracteres morfológicos de pínulas de *Pecopteris* sp. do afloramento BR-153 Aceguá, Rio Grande do Sul, Brasil. A: Pínulas de *Pecopteris* com dicotomizações em diferentes porções da pínula do espécime ULVG-12595; B: Desenho esquemático das venações das pínulas de *Pecopteris* do espécime da figura A; C, D, E: Diferentes direções de luzes incidindo horizontalmente em uma pínula do espécime ULVG-12595 da figura A, com diferentes estruturas em contraste; G: Espécime ULVG-12717 com melhor qualidade de preservação de detalhes das venações secundárias em uma pínula, fornecendo informações sobre o ângulo de inserção na venação média (Figura H); I: Detalhe do espécime ULVG-12595; J: desenho dos 4 lobos da impressão do sinângio cf. *Scolecopteris* no espaço intervenção entre as venações secundárias.

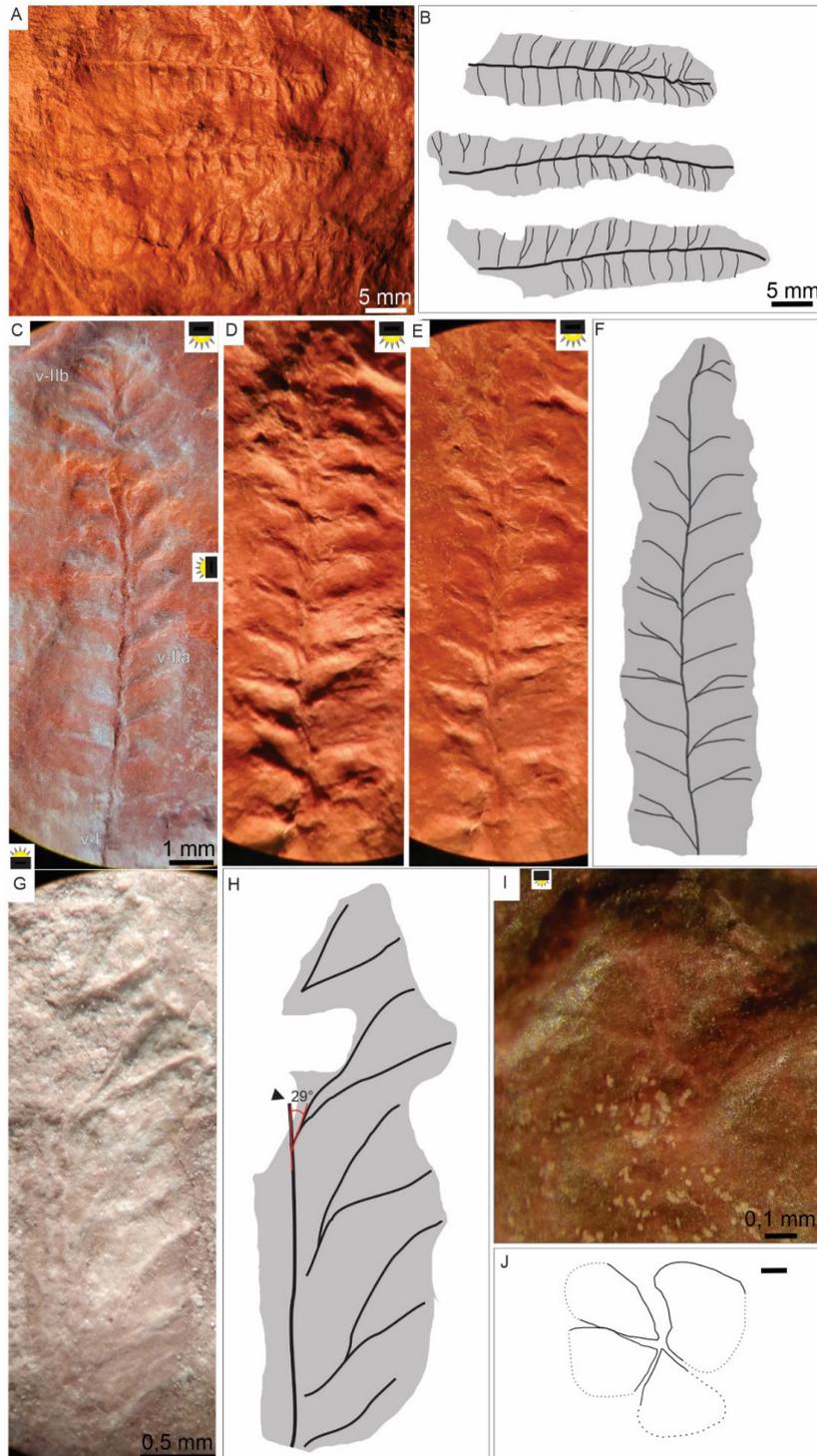
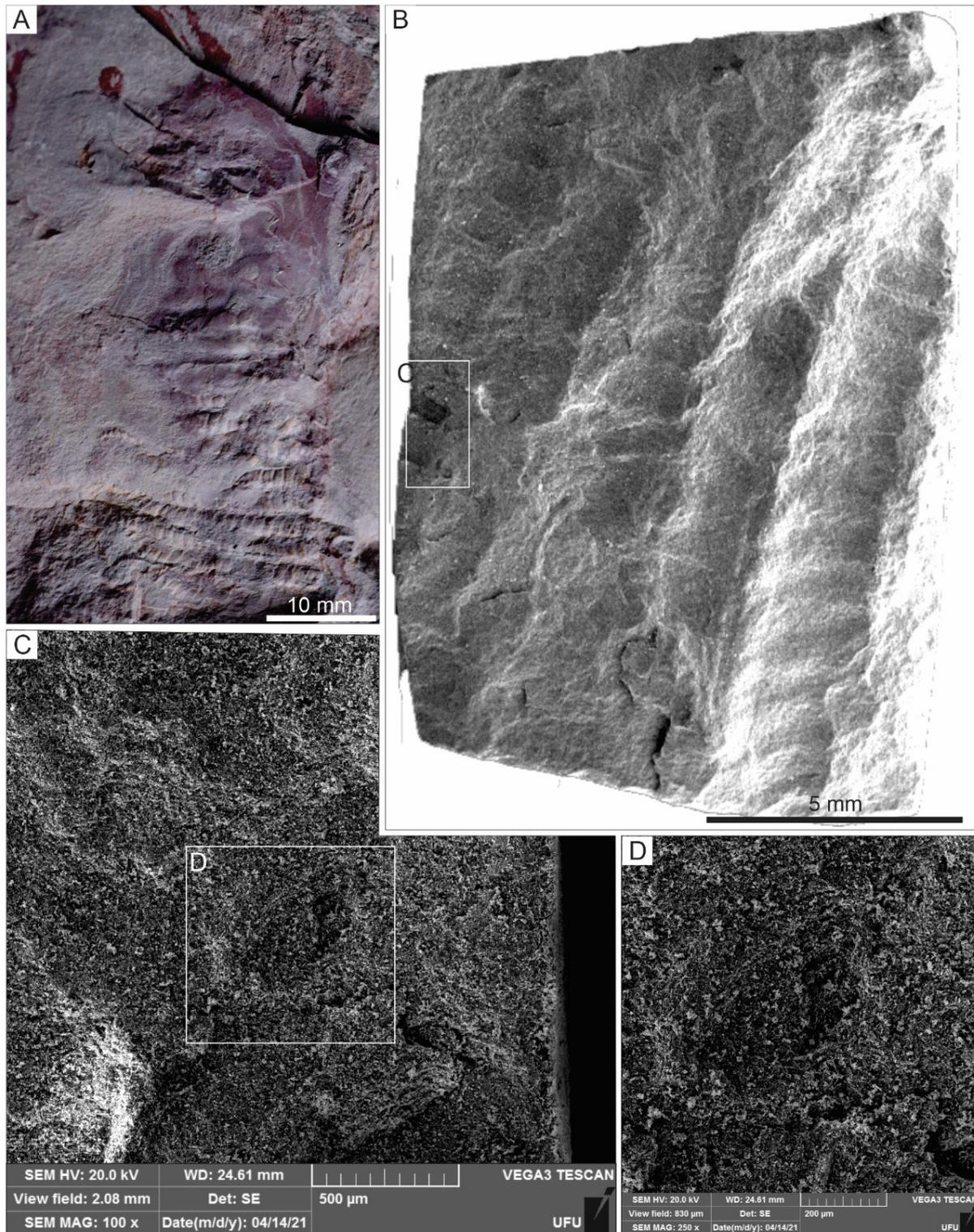


Figura 3: Espécime de *Pecopteris* sp. A. Morfologia de pínula de maior comprimento dos espécimes encontrados na área em estudo (LPEB-0037); B-D. Imagem em MEV, de menor detalhe (B) para maior detalhe (D), demonstrando a impressão da estrutura reprodutiva de *Pecopteris*.



DISCUSSÃO

Em uma revisão, Vieira, Iannuzzi e Guerra-Sommer (2007) consideraram os diversos elementos pecopterídeos descritos para a América do Sul como produtos tafonômicos de componentes de um único elemento paleoflorístico (Herbst & Amábili, 2011). A constatação deste fato se deu após a consideração da polimorfia de frondes pecopterídeas, onde diversas partes da fronde composta possuem os caracteres diferentes que foram declarados como morfotáxons de plantas diferentes (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). A integração desses morfotipos paleobotânicos relacionados a frondes pecopterídeas tem sido assumida como válida (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007). As contrapartes tridimensionais do elemento pecopterídeo *Buritiranopteris costata* do Permiano Inferior para uma unidade tropical do noroeste do Gondwana contribuiu para elucidação dessa integração de morfotipos pecopterídeos das unidades brasileiras (Vieira & Iannuzzi, 2007, Tavares et al., 2014). Assim, critérios morfoanatômicos, ontogenéticos e tafonômicos devem ser considerados em trabalhos paleobotânicos para descrever os elementos de frondes pecopterídeas, visando eliminar as variáveis da heterogeneidade do registro paleobotânico (Vieira & Iannuzzi, 2000; Herbst e Amábili, 2011). Os elementos de frondes pecopterídeas apresentados são produto dos mesmos processos tafonômicos e impressões de diferentes partes e lados das frondes e em diferentes processos de interação com o sedimento. Além disso, os espécimes estudados retratam a combinação de diferentes fragmentos de estágios ontogenéticos de frondes pecopterídeas típicas do Permiano para o Gondwana. Dessa forma, considera-se como decisão parcimoniosa devido a qualidade de preservação dos espécimes como classificação genérica.

Embora pteridófitas componham um grupo informal e parafilético (Page, 2002), podem ser facilmente subdivididas em subgrupos, sendo que o nível taxonômico dos morfotipos correspondente ao seu conjunto total varia de acordo com a metodologia empregada e/ou os distintos autores (Vieira, 2004). A maioria das folhagens pecopteroides paleozoicas pertencem a duas famílias: Psaroniaceae Endlicher 1842 (Marattiales) e Tedeleaceae Eggert & Taylor 1966 (Botryopteridales), (Cleal & Thomas, 2018). No entanto, as *Pecopteris* não devem ser utilizadas para espécies que sejam comprovadamente atribuíveis à Psaroniaceae. A maioria das espécies fósseis de Psaroniaceae bem estabelecidas podem ser atribuídas a outros dos gêneros fósseis que são baseados em uma combinação morfológica juntamente com a venação das pinas, e as forma esporângicas (Cleal, 2015).

As características do registro fossilífero de *Pecopteris* envolvem um conjunto grande e com diversas interpretações na literatura. Frondes pertencentes a vários gêneros foram descritos com sinângios de samambaias psaroniáceas, como *Asterotheca*, *Scolecopteris* ou *Ptychocarpus*, onde alguns carregam sinângios apresentando deiscência (Arnold, 2013). Embora, as morfologias de *Pecopteris* sejam bastante semelhantes entre si, há casos em que é necessária uma comparação entre gêneros para a eliminação de interpretações errôneas (Herbst & Amábili, 2011).

Os gêneros *Dizeugotheca* e *Pecopteris* são considerados como monofiléticos. *Dizeugotheca* foi antes descrito com morfologia das frutificações consistindo em cápsulas uniseriadas,

oblongas, alongado, agrupado por quatro, dois inferiores menos visíveis e dois superiores com maior visualização (Arrondo, 1967). *Dizeugotheca* também difere de *Pecopteris* pela presença de sinângios tetrasporangiados, pelo número e ângulo de emissão das nervuras secundárias, por apresentarem dicotomia horizontais e perpendiculares à veia média, e dimensões significativamente maiores (Rohn & Rosler, 1986; Vieira, 2004). Estas características evidenciam que as nomenclaturas das morfo-espécies podem variar de acordo com resultados tafonômicos, e o não conhecimento prévio de frondes pecopterídeas (Tavares et al., 2014). Ao tirar o enfoque das frondes, o restante dos caracteres das samambaias pecopterídeas mostra uma diferenciação morfológica suficiente para ser facilmente distinguida (Cúneo, 1996).

A inflação de morfotipos de frondes pecopterídeas são pontos frequentemente mencionados nos estudos do grupo (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007; Herbst & Amábili, 2011). Descobertas paleobotânicas mais recentes (Tavares et al., 2014) elucidaram diversas confusões relacionados aos produtos tafonômicos e da polimorfia no registro de frondes pecopterídeas. Na literatura paleobotânica sul-americana, os registros são atribuídos principalmente aos gêneros *Pecopteris*, *Asterotheca* e *Dizeugotheca*, sendo *Asterotheca* de menor ocorrência (Rohn & Rosler, 1986). Os gêneros pecopterídeos sul-americanos possuem diferentes graus de similaridade entre os registros fossilíferos e classificações baseadas em diferenças na disposição e densidade de caracteres morfológicos de frondes férteis (Rohn & Rosler, 1986). Revisões de frondes pecopterídeas apontam que os diversos grupos pecopterídeos podem ter sido atribuídos indevidamente (Vieira, Iannuzzi & Guerra-Sommer, 2007; Tavares et al., 2014) devido a característica polimórfica dessas frondes (Frenguelli, 1953).

Dessa forma, *Dizeugotheca* tem sido questionada devido a caracteres preservacionais interpretados equivocadamente, pois a fronde polimórfica pecopterídea pode apresentar caracteres morfológicos preservados em diferentes porções (Tavares et al., 2014). As floras dos depósitos permianos das formações Yaguari (Uruguai; Archangelsky, Césari & Cúneo, 1999) e Rio do Rasto em Santa Catarina e Paraná; (Cazzulo-Klepzig, 1978; Rohn & Rosler, 1986) apresentam elementos pecopterídeos diversos e com maior combinação de caracteres que o apresentado, além de apresentar pteridospermas e outras pteridófitas (Vieira, 2004). Até o momento, as evidências de *Pecopteris* sp. descritas caracterizam elementos típicos e correlatos às floras acima descritas. Além disso, a associação de ráquis e pínulas de frondes a talos rizomatosos horizontalmente posicionados em preservação *in situ* (artigo em preparação) reforçam a influência de paleoambientes continentais terrestres nos estratos estudados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os elementos de flora fóssil descritas a nível do gênero *Pecopteris* descritos para os depósitos do Permiano Superior exposto na borda sul da Bacia do Paraná na região de Aceguá apresentam uma evidência inédita do grupo para o extremo sul em território

brasileiro. Esses novos achados demonstram potencial para novos estudos paleobotânicos em depósitos da porção superior do Grupo Passa Dois, Formação Teresina e reforçam a idade Permiana para o intervalo de estudado.

AGRADECIMENTOS

DS agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de pós-doutorado (proc. 159548/2018-7). RGN agradece ao CNPq por sua bolsa de produtividade em pesquisa (proc. 310377/2019-6). Este artigo é uma contribuição ao projeto CAPES/PVE/ 88881.062157-2014-01. Os autores agradecem ao Laboratório Multiusuário do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia por providenciar suporte técnico e os equipamentos para as análises de microscopia eletrônica de varredura

REFERÊNCIAS

- Archangelsky, S., Césari, S., & Cúneo, N.R. (1999), Revisión de *Asterotheca golondrinensis* Herbst, helecho pérmico de Patagonia, Argentina: *Asociación Paleontológica Argentina*, 6, 23–26.
- Archangelsky, S., & De La Sota, E. (1960). Contribución al conocimiento de las filices permicas de patagonia extraandina. *Acta Geologica Lilloana*, 3, 85-126.
- Arnold, C.A. (2013). *An Introduction to Paleobotany*. Chester: Read Books.
- Arrondo, O. G. (1967). *Dizeugotheca branisae* n. sp. Nueva filice eusporangiada del Pérmico inferior, Bolivia. *Revista del Museo de La Plata*, 5(31), 55-61.
- Azcuy, C.L., & Césari, S.N. (1980) Primeros estudios sobre plantas fósiles de la Formación Libertad, Provincia de La Rioja, Argentina. *Boletim IG*, 11, 49-55,
- Boureau, E., & Doubinger, J. (1970). *Traité de Paléobotanique. IV. Filicophyta*. Paris: Boureau Ed. Masson et Cie.
- Boureau, E., & Doubinger, J. (1975). *Traité de Paléobotanique. Pteridophylla (1ª partie)*. Paris, Boureau Ed. Masson et Cie, v. 4 (fasc. 2).
- Cazzulo-Klepzig, M. (1978), Estudo da Tafoflórula do Membro Morro Pelado na sua Localidade-tipo: *Pesquisas em Geociências*, 11, 225–303.
- Cleal, C.J. (2015). The generic taxonomy of Pennsylvanian age marattialean fern frond adpressions. *Paleontographica Abteilung B*, 1-21.
- Cleal, C.J., & Thomas, B.A. (2018) Nomenclatural status of the Palaeobotanical “Artificial Taxa” established in Brongniart’s 1822 “Classification” paper. *Fossil Imprint*, 74(1/2), 9-28.
- Cúneo, N.R. (1996). Permian phytogeography in Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 125, 75–104. doi:10.1016/S0031-0182(96)00025-9
- Doweld, A.B. (2001). *Tentamen Systematis Plantarum Vascularium (Tracheophytorum)*. Moscow: GEOS.
- Eggert, D.A., & Taylor, T.N. (1966): Studies of Paleozoic ferns: on the genus *Tedelea* gen. nov. *Palaeontographica*, B, 118, 53–73.
- Endlicher, S. (1842). *Mantissa botanica sistens genera plantarum supplementum secundum. Fridericum*. Beck.
- Feruglio, E. (1933). Fossili liassici della valle del rio Genua (Patagonia). *Giornale di Geologia, Annali Revista di Museo Geologico di Bologna*, 9, 1-54.

- Feruglio, E. Su alcune piante del Gondwana inferiore della Patagonia. (1951). *Monografia di Instituto Geologico de la Universitat di Torino*, pp. 34.
- Figueiredo Filho, P.M. (1972). A faciologia do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 2(4), 216-35.
- Frenguelli, J. (1953). Las pectopteroides del pérmico del Chubut. Ministerio de Educación de la Nación, Universidad Nacional de Eva Perón, *Facultad de Ciencias Naturales y Museo*, 167, 287-296.
- Frojdová, J.H., Cleal, C.J., Bek, J., & Psenicka, J. (2020). Revision of the Pennsylvanian fern *Myriotheca anglica* Kidston from the Central Pennine Basin (UK) and its transfer to the genus *Pecopteris* (Brongniart) Sternberg. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 279(1), 1-11.
- Gama Jr, E. (1979). Sedimentação do Grupo Passa Dois (inclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Revista Brasileira de Geociências*, 9, 1-16.
- Herbst, R., & Amábili, V. (2011). *Astrotheca* en la Formación Tacuary (Pérmico Superior) del Paraguay Oriental. *Gaea - Journal of Geoscience*, 7, 117-122. doi:10.4013/gaea.2011.72.05
- Iannuzzi, R., & Rösler, O. (2000). Floristic migration in South America during the Carboniferous: Phytogeographic and biostratigraphic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161, 71-94. doi:10.1016/S0031-0182(00)00118-8
- Kenrick, P., & Crane, P.R. (1997). The origin and early evolution of plants on land. *Nature*, 389, 33-39.
- Kern, H.P., Lavina, E.L.C., Paim, P.S.G., Girelli, T.J., & Lana, C. (2021). Paleogeographic evolution of the southern Paraná Basin during the Late Permian and its relation to the Gondwanides. *Sedimentary Geology*, 415, 105808.
- Klein, C., Leipnitz, I.I., & Nowatzki, C.H. (1999). Fácies sedimentares e observações bioestratigráficas das concentrações fossilíferas da Formação Teresina na região de Tiaraju, RS, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 49:75-92.
- Klein, C., Iglesias, C.M.F., & Camozzato, E. (2018). *Geologia e recursos minerais da folha Aceguá*. Brasília: CPRM, SH.21-Z-D-VI.
- Lavina, E.L. (1992). *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopremiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Lima, J.H.D., & Netto, R.G. (2012). Trace fossils from the Permian Teresina Formation at Cerro Caveiras (S Brazil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15(1), 5-22.
- Link, J.H.F. (1833): *Hortus Regius Botanicus Berolinensis*. Berlin: Reimer. v. 2
- Milani, E.J. (1997). *Evolução Tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- 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*, 15, 265-287.
- Page, C.N. (2002). Ecological strategies in fern evolution: A neopteridological overview. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 119, 1-33, doi: 10.1016/S0034-6667(01)00127-0.
- Read, C.B. (1941). *Plantas fósseis do Neo-paleozóico do Paraná e Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Divisão de Geologia e Mineralogia. (Monografia 12).
- Rocha-Campos, A.C., Basei, M.A.S., Nutman, A.P., Santos, P.R., Passarelli, C.R., Canile, F.M., ... & Veroslavsky (2019). U-Pb zircon dating of ash fall deposits from the Paleozoic Paraná Basin of Brazil and Uruguay: a reevaluation of the stratigraphic correlations. *The Journal of Geology*, 127, 167-182. doi: 10.1086/701254
- Rohn, R. (1989). Grupo Passa Dois. *Anais do Congresso Brasileiro de Paleontologia*. Curitiba, PR, Brasil, 11. pp. 34-42.

- Rohn, R. (1994). *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- Rohn, R., & Rosler, O. (1986), Pteridófilas pecopteróides da formação Rio do Rasto no estado do Paraná e da formação estrada nova no estado de São Paulo (Bacia do Paraná, Permiano superior): *Boletim IG-USP*, 17, 57. doi: 10.11606/issn.2316-8986.v17i0p57-72.
- Rösler, O. (1972). Tese de Doutorado em Geociências. *Flora da Formação Rio Bonito do estado do Paraná*. Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F., & Nogueira, A.A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, Porto Alegre, RS, Brasil, 28, pp.41-65.
- Sternberg, K.M. (1825). *Versuch einer geognostisch botanischen Darstellung der Flora der Vorwelt*. Leipzig: Fleischer.
- Tavares, T.M.V., Rohn, R., Röler, R., & Noll, R. (2014). Petrified Marattiales pinnae from the Lower Permian of North-Western Gondwana (Parnaíba Basin, Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 201, 12–28. doi: 10.1016/j.revpalbo.2013.09.002
- Taylor, T.N., Taylor, E.L., & Krings, M. (2009). *Paleobotany: The biology and evolution of fossil plants*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Tryon, R.M. (1970). A glossary of some terms relating to the fern leaf. *Taxon*, 9, 104-109.
- Vieira, C.E.L. (2004). *Taxonomia, Paleoecologia e Paleofitogeografia de frondes Pecopterídeas do Neo Paleozoico da América do Sul*. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS.
- Vieira, C.E.L., & Iannuzzi, R. (2000). Presença de *Pecopteris* e *Asterotheca* no Afloramento Morro do Papaléo, Município de Mariana Pimentel, Rio Grande do Sul (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Pesquisas em Geociências*, 27, 49–64.
- Vieira, C.E.L., Iannuzzi, R., Guerra-Sommer, M., Díaz-Martínez, E., & Grader, G.W. (2004). Permian plants from the Chutani Formation (Titicaca Group, Northern Altiplano of Bolivia): I. Genera *Pecopteris* and *Asterotheca*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(1), 117–128.
- Vieira, C.E.L., Iannuzzi, R., & Guerra-Sommer, M. (2007). Revisão de pecopterídeas polimórficas do neoPaleozoico da América do Sul. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 10, 107–116.
- Wagner, R.H. (1968). Upper Westphalian and Stephanian species of *Alethopteris* from Europe, Asia Minor and North America. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* (série C), 3(1/6), 1-188.
- Wagner, R.H. (2016). A reappraisal of *Pecopteris miltonii* (Artis) Brongniart, a mid-Westphalian (Early-Min Pennsylvanian) fern. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 61(1), 37-53.
- Wildner, W., Ramrag, G. E., Lopes, R. C., & Iglesias, C. M. F. (2006). *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Serviço Geológico do Brasil, escala 1:750000.
- Ziegler, A.M. (1990). Phytogeographic patterns and continental configurations during the Permian Period. *Geological Society of London Memoirs*, 12(1), 363-379.

Data de submissão: 29/jun./2021

Data de aceite: 05/nov./2021