



OS VEGETAIS FÓSSEIS DE SANTA MARIA

Robson Tadeu Bolzon
Inês Azevedo

O estudo dos vegetais fósseis é desenvolvido pela Paleobotânica, ramo da ciência que utiliza princípios da Geologia e da Botânica, bem como fundamentos da Biologia. Os vegetais fósseis do Mesozóico que se verificam no município de Santa Maria incluem todas as formas conhecidas de vegetais e de vestígios descobertos nas rochas do Triássico (intervalo de tempo entre 251 e 199,6 milhões de anos antes do presente). No século XIX, naturalistas que viajavam pelo Rio Grande do Sul, costeando a serra, já citavam a ocorrência de troncos fósseis que constituiriam elementos da paisagem devido a quantidade e o porte de alguns exemplares (atingindo cerca de 15 metros de comprimento e 2 metros de diâmetro). É o caso de Arsène Isabelle e de Robert Avé-Lallemant. No início do século seguinte, foi publicada uma importante análise do material por I. C. White, membro da Comissão de Estudos das Minas de Carvão do Brasil. A partir de então as investigações se multiplicaram.

Contextualização

Os vegetais fósseis de Santa Maria são encontrados especialmente em argilitos, siltitos e arenitos grosseiros a conglomeráticos. Esse conjunto de rochas constitui unidades estratigráficas que, dependendo do autor, recebe diferentes nomes.

¹ SARTORI, P. L. P. Geologia e Geomorfologia de Santa Maria (neste volume), 2009.

Sartori¹ fornece uma síntese da geologia e das principais unidades estratigráficas identificadas no município de Santa Maria. Três unidades pertencentes ao Triássico merecem destaque pela presença de fósseis. Destas, duas possuem vegetais fósseis. A mais antiga é a Formação Sangra do Cabral, constituída, principalmente, por arenitos vermelhos de granulometria fina a média, com proporções variáveis de silte e argila. Representam depósitos sedimentares de inundação, em planícies aluviais, com canais rasos e sinuosos, numa zona plana e arenosa. Até o momento não existe registro de vegetais para essa formação. A segunda unidade, a Formação Santa Maria, é constituída pelos membros Passo das Tropas e Alemoa. O Membro Passo das Tropas é formado por um arenito vermelho claro, grosseiro, friável e bastante poroso, depositado em ambientes de planícies de inundação. Em níveis conglomeráticos, seguidos de siltito argiloso e arenito síltico-argiloso, estratificados e de cor rosa-avermelhada, ocorrem vegetais fósseis. O Membro Alemoa, relacionado a um sistema lacustre efêmero de águas rasas, apresenta siltito argiloso, vermelho e maciço, contendo camadas de caliche e concreções carbonáticas. Nesse membro existem importantes fósseis de vertebrados e de vegetais. Por último, existe a Formação Caturrita, constituída por um conglomerado basal contendo seixos de siltito argiloso vermelho, seguido por arenito rosa-avermelhado de granulometria média a fina, com intercalações lenticulares, rumo ao topo, de siltito e folhelho, todos de coloração avermelhada. Indicada como de ambiente fluvial, apresenta caules mineralizados de dimensões variadas.

As madeiras fósseis, as primeiras a serem registradas, não são os únicos exemplos de vegetais fósseis do município de Santa Maria. Em rochas de granulometria mais fina, por exemplo, em siltito, ocorrem folhas, sementes e outros tecidos vegetais pouco ou não lignificados. Desse modo, os vegetais fósseis de Santa Maria e região podem ser reunidos em dois grandes grupos, de acordo com o tipo de fossilização que apresentam: folhas e outras estruturas preservadas como impressões e moldes e caules mineralizados.

A terminologia empregada na denominação de madeiras fósseis é muito ampla e reflete características botânicas (por exemplo: lignispécimes, lenhos, caules, madeiras), mineralógicas (por exemplo: xilopala, silicificado, mineralizado), diagenéticas (por exemplo: permineralizadas, recristalizadas, substituídas, petrificadas), genéricas (por exemplo: dendrolitos) ou a combinação destes termos (por exemplo: madeira petrificada, lenho permineralizado, caule mineralizado).

As idades em milhões de anos, indicadas como referencial, foram baseadas na Tabela Estratigráfica Internacional.²

² INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY. *International Stratigraphic Chart*. Disponível em: <http://www.stratigraphy.org>. acesso em: 08 mar 2008.

Aspectos históricos

Ao longo dos anos, diversos autores têm estudado os vegetais fósseis (madeiras, folhas, frutificações e sementes) que se transformaram em elemento da paisagem na região de Santa Maria (figuras 1, 2 e 3). Sua quantidade e o grande porte de alguns exemplares foram objeto de admiração de viajantes naturalistas do século XIX.



Figura 1: Caule mineralizado parcialmente exposto, encontrado em afloramento na rodovia Santa Maria-Dilermando de Aguiar (escala em cm).³

³ As fotografias utilizadas no artigo foram produzidas pelos autores.



Figura 2: Caule mineralizado exposto em posição horizontal, na região oeste de Santa Maria (escala em cm).



Figura 3: Caule mineralizado exposto em posição vertical, na região oeste de Santa Maria (escala em cm).

Em 1834, o naturalista Arsène Isabelle, costeando a serra, viajou de Uruguaiana a Porto Alegre e coletou fragmentos de madeiras fósseis para o Museu de Montevideu. Diz ele em suas anotações: “...entre São Vicente e Toropi comecei a encontrar... troncos de árvores silicosas, dicotiledôneas, de três a quatro pés de comprimento... encontram-se sobre uma extensão de mais de quarenta léguas...”⁴ O naturalista registrou a presença de troncos na região entre São Vicente e o Rio Toropi, bem como no leito desse rio. Também os observou em toda a região abaixo da serra, entre os rios Toropi e Ibicuí, estendendo-se para leste-sudeste e sudoeste. Mais especificamente em Santa Maria, atestou fragmentos “com seis pés ou mais de circunferência por dois ou três pés de comprimento”.

No ano 1858, outro naturalista, Robert Avé-Lallemant, quando próximo a Santa Maria, fez o seguinte registro em seu diário de viagem pela província do Rio Grande do Sul:

*Aqui e ali, no campo achei também grandes pedaços de madeira petrificada, até árvores inteiras, troncos em que ainda se reconhecia muito bem a textura da madeira. Alguns fragmentos se encontram em estado de semipetrificação; a formação externa de um tronco lembrou-me troncos de mirtáceas, ainda hoje existentes nas matas rio-grandenses.*⁵

Outro referencial é a coleta realizada pela Comissão de Estudos das Minas de Carvão do Brasil, cujo material foi analisado por White⁶. O exame macroscópico de um fragmento coletado “a aproximadamente 1,5 quilômetro (poste quilométrico 160-161) ao leste da estação de Santa Maria sugeriu a presença de anéis de crescimento bem distintos e com largura de 2 a 4mm”. Através do exame preliminar das lâminas, os anéis ficaram restritos a manchas concêntricas. Na oportunidade, White comparou o vegetal com um exemplar de *Dadoxylon meridionale*⁷ encontrado em Butiá (acima da camada de carvão). Conforme o autor, o outro fragmento “...consistiu na maior parte em quartzo branco com spherolites, possui raios medulares com uma célula de largura e muito altos. Caracteres afins a *Dadoxylon pedroi* Zeiller, 1895...”.

Rau, no trabalho de descrição de *Cedroxylon canoasense*, comentou:

*Infelizmente las maderas silicificadas de Santa María y municipios vecinos están mui mal conservadas, faltando siempre los puntos de las tráqueas, las células de los rayos medulares y en muchos casos los mismos rayos, por lo que resulta imposible una clasificación exacta. Lo único que se puede decir, es, que se trata de una conífera.*⁸

⁴ ISABELLE, A. *Viagem ao Rio Grande do Sul, 1833-1834*. Porto Alegre: Martins, p. 30 e 39, 1983.

⁵ AVÉ-LALLEMANT, R. *Via-gem pela Província do Rio Grande do Sul (1858)*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP, 1980. p. 216.

⁶ WHITE, I. C. Relatório sobre a “Coal Measures” e Rochas Associadas do Sul do Brasil. In: WHITE, I. C. (Org.). *Relatório Final – Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1908.

⁷ Todos os táxons citados foram mantidos como no original.

⁸ RAU, W. *Cedroxylon canoasense*, una madera fósil nueva del Rio Grande do Sul. *Revista Sudamericana de Botânica*, Montevideo, v. 1, n. 1-6, p. 65-68, 1934.

A ocorrência de folhas e outros vegetais fósseis “na margem norte do Arroio das Tropas, a 7,8 km de Santa Maria, na estrada para São Sepé”, foi registrada por Gordon Jr. e Brown⁹. Os autores atribuíram os fósseis ao Triássico e citaram a presença de *Zuberia* e outras plantas fósseis: *Pachypteris*, *Thinnfeldia*, *Thinnfeldia odontopteroides*, *Dicroidium*, *Schizoneura* (*Neocalamites*) e *Bayera*. Comparando-os com as floras encontradas na África do Sul (Camadas Molteno) e Argentina Oriental (Série Cacheuta), concluíram que teriam idades equivalentes.

Vários afloramentos do Rio Grande do Sul foram cadastrados por Zingano e Cauduro¹⁰, baseados na localização, litologia e fósseis. Os autores registraram a presença de madeiras silicificadas no município de Santa Maria, no Afloramento Alemoa, situado “na estrada que liga Santa Maria à Camobi, 3km a SE da cidade de Santa Maria, em local conhecido por Cerro Alemoa ou Cerrito”. No Afloramento Passo das Tropas, localizado “na estrada de rodagem Santa Maria-São Sepé, na margem norte do Arroio das Tropas, 7,8km da cidade de Santa Maria”, em lentes de argilito fino, citaram a presença de “*Neocalamites*, *Sewardia*, *Stenorachis*, *Dicroidium*, *Pachypteris*, *Pteruchus* e *Samaropsis*”.

Em resenha sobre fatos relacionados à paleontologia dos municípios de Santa Maria e São Pedro do Sul, Beltrão¹¹ destacou duas expedições científicas empreendidas com a finalidade de coleta de exemplares de material fóssil: uma em 1870, organizada pelo Museu de Anatomia Comparada da Universidade de Harvard (EUA) e a outra pelo Museu de Estocolmo (Suécia), em 1902. Beltrão¹² indicou João Borges Fortes (1898-1902) como o primeiro a relatar a existência de madeiras fósseis em Santa Maria, “em uma rua no Bairro Itararé, perto da Igreja de Santa Catarina”. O autor complementa: “No Seminário São José, à Rua Gaspar Martins, existe uma grande gruta feita inteiramente de troncos mineralizados colhidos nos arredores da cidade...”.

Huene e Stahlecker¹³ confirmaram em vários afloramentos no município de Santa Maria a ocorrência de madeiras fósseis do Triássico, atribuídas ao gênero “*Araucarioxylon*”, além de moldes de raízes “na Vila e estação ferroviária no trecho Santa Maria-Dilermando de Aguiar, a 14km de Santa Maria pela ferrovia”.

Em estudo realizado sobre a Geologia de Santa Maria, Bortoluzzi¹⁴ constatou a existência de troncos silicificados do “tipo araucariano” no intervalo inferior da Formação Botucatu (Membro Caturrita). Próximo ao cerro do Monumento ao Ferroviário, encontrou caules silicificados inclu-

⁹ GORDON Jr., M. & BROWN, R. W. Plantas Triássicas do Sul do Brasil. *Notas Preliminares e Estudos*, Rio de Janeiro, n. 54, 1952.

¹⁰ ZINGANO, A. G. & CAUDURO, A. D. Afloramentos Fossilíferos do Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, n. 8, p. 1-48, 1959.

¹¹ BELTRÃO, R. Paleontologia de Santa Maria e São Pedro do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais da Universidade Federal de Santa Maria*, Santa Maria, v. 2, p. 3-114, 1965.

¹² BELTRÃO, R. *Op. cit.*

¹³ HUENE, F. V. & STAHLCKER, R. Observações Geológicas no Rio Grande do Sul. *Boletim do Instituto de Ciências Naturais da Universidade de Santa Maria*, Santa Maria, n. 3, p. 3-99, 1968.

¹⁴ BORTOLUZZI, C. A. Contribuição a Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 7-86, 1974.

- ¹⁵ BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil: II – Representantes de Pteridospermopsida e Pteridophylla. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo*, São Paulo, v. 15, p. 105-115, 1984.
- BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil: I – Equisetales, Ginkgoales, Coniferales e Pteridophylla. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 3, Brasília 1985. *Anais...* Brasília, p. 539-549, 1985.
- ¹⁶ BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria... *Op. cit.*, 1985.
- ¹⁷ SANTOS, E. L. & MOREIRA, J. P. M. *Projeto Sítios Paleontológicos do Estado do Rio Grande do Sul (1ª Fase)*. Porto Alegre: DNP-Setecção de Paleontologia e Mineralogia, p. 1-15, 1987.
- ¹⁸ BOLZON, R. T. *A Lignitoflora Mesozóica do Rio Grande do Sul (Brasil): Métodos de Estudo, Tafonomia, Paleocologia e Paleoclimatologia*. Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Geociências (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 142 p., 1993.
- ¹⁹ BOLZON, R. T., GUERRA-SOMMER, M. G. Considerações sobre a Tafonomia da Lignitoflora Mesozóica do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 17, n. 39/1, p. 109-115, 1994.
- ²⁰ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* A Flora *Dicroidium* no Rio Grande do Sul: Implicações Bioestratigráficas. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 26, n. 1, p. 3-9, 1999.

tos em arenito conglomerático, além do mesmo material em outros sítios, como no “Afloramento do Grupo Escolar Xavier da Rocha, na Vila Kennedy e na Ponte Seca”.

Bortoluzzi, Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig¹⁵, por sua vez, realizaram o estudo sistemático de fósseis vegetais em dois afloramentos da Formação Santa Maria conhecidos como Passo das Tropas e Parque Dom Antônio Reis. O material representa a Flora *Dicroidium*, sendo constituído de frondes, folhas e sementes. Descreveram fósseis relacionados às Divisões Sphenophytae, Pteridophytae, Ginkgoophytae, Coniferophytae, Pteridospermophytae e outras de classificação incerta. Os mesmos autores¹⁶ fizeram comparações dos fósseis vegetais encontrados em Santa Maria com as floras do Triássico de outras regiões do Gondwana, concluindo que apresentam características evolutivas próprias. A associação foi relacionada ao intervalo Anisiano Final-Ladiniano (245,9 a 228,7 milhões de anos).

Por outro lado, Santos e Moreira¹⁷ apresentaram o resultado do mapeamento de uma área de cerca de 300km incluindo, entre outros municípios, Santa Maria, onde registraram a ocorrência de agrupamentos de madeiras fósseis nas localidades de São João, Chácara das Flores e Pinhal.

Bolzon¹⁸, diante das condições de preservação dos caules da região central do Estado do Rio Grande do Sul, incluindo o município de Santa Maria, apresentou um trabalho sobre métodos de estudo dos exemplares mineralizados. Fez considerações sobre a tafonomia dos caules fósseis, bem como sobre a paleoecologia e a paleoclimatologia da região. O autor assinalou que os caules representam uma Flora de Coníferas.

Bolzon e Guerra-Sommer¹⁹ reuniram algumas evidências sobre os processos associados ao sepultamento dos caules mineralizados do Mesozóico do Rio Grande do Sul. Indicaram que a maior parte do material foi transportada durante enchentes de grande escala. A ocorrência de tecidos lignificados (madeira) não estaria associada a estes eventos, mas ao processo de fossilização que envolveu a mineralização. Apontaram ainda a existência de caules numa extensão leste-oeste de 200km, embora o mais expressivo registro esteja nos municípios de São Pedro do Sul e Mata. Os caules foram relacionados a uma flora que denominaram de “Lignitoflora Mesozóica”.

Guerra-Sommer *et al.*²⁰ discutiram ainda as implicações bioestratigráficas da Flora *Dicroidium* no Rio Grande do Sul. A associação foi comparada com floras do Triássico encontradas na Argentina, África do Sul e Australásia. Ob-

servaram que as espécies do Rio Grande do Sul, comuns à da Argentina, ocorrem somente a partir do limite Anisiano Final-Ladiniano Inicial (em torno de 240 milhões de anos).

Guerra-Sommer juntamente com Cazzulo-Kepzig²¹, apresentaram uma síntese da Flora *Dicroidium* incluindo considerações paleoecológicas. Na associação, as condições de aridez são sugeridas pela presença de grupos com área foliar reduzida como *Dicroidium (Xilopteris) elongatum* e *Dicroidium (Xilopteris) argentinum*; a presença de *Sphenobaiera* indica ambientes xerófilos. A associação de Santa Maria é mais homogênea e as folhas apresentam um terço do tamanho quando comparadas com aquelas da África do Sul (Formação Molteno). É provável que tal diferença não tenha relação com a paleolatidade, pois ambas estariam próximas a 60° de latitude sul. A diferença no tamanho médio das folhas poderia estar vinculada às condições de maior aridez do clima da região de Santa Maria.

Em análise preliminar, Guerra-Sommer e Scherer²², discutiram o contexto geológico, tafonômico e bioestratigráfico relacionado às florestas petrificadas. Afirmaram que os caules estão associados a três unidades estratigráficas: Formação Santa Maria, Formação Caturrita e Arenitos Mata. Os fósseis representantes da Flora *Dicroidium*, que ocorrem como impressões na Formação Santa Maria, teriam vivido em locais próximos dos ambientes deposicionais. Já os fósseis associados à Tafoflora *Rhexoxylon*, que representa uma distinta mas contemporânea comunidade, estão preservados em rochas sedimentares que indicam locais distais de ambientes de planícies de inundação. O Arenito Mata, com espessura de 20 a 60 metros, compreenderia uma sequência deposicional diferente das Formações Santa Maria e Caturrita. As características texturais e sedimentares sugerem arenitos de ambientes fluviais entrelaçados.

Em resenha sobre as floras da região central do Estado do Rio Grande do Sul, Guerra-Sommer *et al.*²³, observaram que a Flora *Dicroidium*, composta de folhas, caules e sementes, tem o predomínio do gênero *Dicroidium*. A associação caracterizada por fragmentos de madeira do tipo *Araucarioxylon* foi denominada Flora *Araucarioxylon*. O trabalho inclui uma revisão histórica e reúne informações sobre os principais fósseis encontrados, as localidades fossilíferas, a idade das floras e considerações sobre a ecologia e o clima.

Bolzon, Silvério da Silva e Machado²⁴ analisaram o processo de fossilização dos lenhos mesozóicos situados na depressão central do Rio Grande do Sul, incluindo os municípios de São Pedro do Sul, Mata e Santa Maria. Os

²¹ GUERRA-SOMMER, M. G. & CAZZULO-KLEPZIG, M. The Triassic Taphoflora from Paraná Basin, Southern Brazil: An Overview. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 481-485, 2000.

²² GUERRA-SOMMER, M. & SCHERER, C. M. S. Middle-Late Triassic Petrified Forests from Mata Sandstone at Rio Grande do Sul State, BR: A Preliminary Geological, Taphonomic and Biostratigraphic Setting. *Revista Universidade Guarulhos*, Guarulhos, v. 5, p. 117-120, 2000.

²³ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul: Flora *Dicroidium* e Flora *Araucarioxylon*. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (orgs.). *Paleontologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. 2000. p. 85-106.

²⁴ BOLZON, R. T.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. & MACHADO, L. G. Fossilização de Lenhos do Mesozóico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 103-110, 2004.

caules, expostos pela erosão ou espalhados, são encontrados em arenitos fluviais de idade incerta (Triássico Final ou Jurássico). Os autores estabeleceram um modelo constituído de quatro fases, relacionando os processos diagenéticos com a preservação das células dos lenhos fósseis.

Enfim, Bardola *et al.*²⁵ registraram a presença do gênero *Williamsonia* pertencente as Benettitales (Cicadophyta). O material descrito corresponde a parte da estrutura reprodutiva e, conforme observaram, a ocorrência do grupo é rara no Afloramento Passo das Tropas da Formação Santa Maria.

Preservação dos fósseis

Em paleobotânica, a tafonomia do vegetal – estudo dos processos relacionados à transformação de restos vegetais em fósseis – envolve duas distintas fases: 1) a *Bioestratinomia* – que trata dos eventos relacionados entre a morte e o sepultamento, isto é, a inclusão dos tecidos em sedimentos – e 2) a *Fossildiagênese* – que compreende a transformação dos sedimentos em rocha e dos restos vegetais em fósseis, incluindo portanto os processos de fossilização. Em termos geológicos, o intervalo de tempo de duração da primeira fase é muito menor daquele da segunda fase. Também existe diferença quanto às alterações ambientais relacionadas com as duas fases. Tais estudos requerem a análise e descrição das características das rochas incluindo a distribuição e a abundância com que os fósseis ocorrem.

A natureza dos tecidos vegetais, incluindo a sua composição química, a morfologia e o tamanho, têm influência nos processos bioestratinômicos e fossildiagenéticos. Por exemplo, a resistência e o potencial de fossilização de uma folha são diferentes de um caule lenhoso. Essas diferenças influenciam no modo e na qualidade dos fósseis.

Em relação ao tamanho, os fósseis vegetais registrados no município de Santa Maria representam plantas de diferentes hábitos,²⁶ inclusive árvores (Coniferophyta, Ginkgophyta e Pteridospermophyta), arbustos (Nilssoniales) e rasteiras (Pteridophyta).

Os fósseis vegetais encontrados nos siltitos e argilitos (Formação Santa Maria) são principalmente folhas e sementes de tamanho pequeno, ocorrem fragmentados, sem orientação preferencial.²⁷ Os caules e fragmentos de madeiras encontram-se geralmente em sedimentos arenosos a conglomeráticos de ambientes fluviais (figuras 1, 2 e 3), sendo representados principalmente pelo cilindro central (tora) e poucos exemplares com ramificações (galhos e raízes).

²⁵ BARDOLA, T. P.; RIVALDO, N. P.; BARBONI, R. & GUERRA-SOMMER, M. A Presença de Benettitales no Triássico Sul-rio-grandense: o Gênero *Williamsonia* Carruthers 1870. *Boletim da Sociedade Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, 57, p. 20, 2007.

²⁶ GUERRA-SOMMER, M. G. & CAZZULO-KLEPZIG, M. The Triassic Taphoflora from... *Op. cit.*

²⁷ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*



Figura 4: Corte transversal de caule de Conífera, procedente da região oeste de Santa Maria (escala em mm).



Figura 5: Detalhe da figura anterior mostrando a medula e anéis de crescimento (escala em mm).

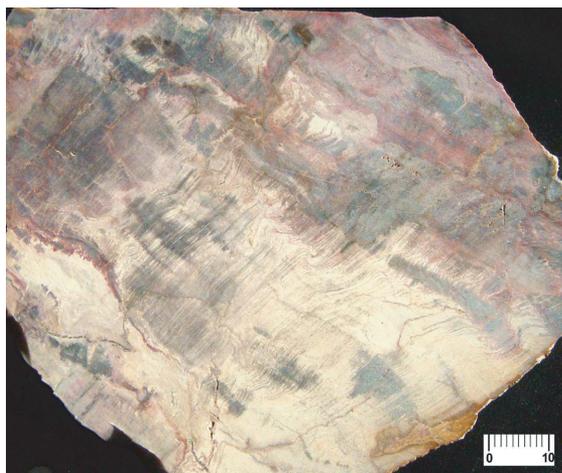


Figura 6: Corte transversal de caule mineralizado de Conífera, procedente da olaria do Patronato Agrícola Antonio Alves Ramos – Santa Maria, mostrando preservação distinta das estruturas do tecido lenhoso e minerais de cores diferentes (escala em mm).

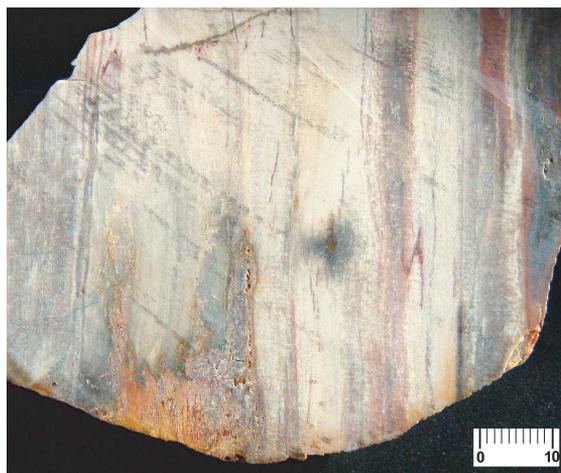


Figura 7: Corte longitudinal do mesmo exemplar da figura anterior (escala em mm).

²⁸ BOLZON, R. T., GUERRA-SOMMER, M. G. Considerações sobre a Tafonomia da Lignitoflora... *Op. cit.*

Bolzon e Guerra-Sommer²⁸, analisando as associações de madeiras de Santa Maria e região, consideram que o sepultamento em sedimentos de origem fluvial resultou do transporte desde o local de crescimento. Provavelmente as árvores teriam sido desarticuladas por vendavais e os fragmentos transportados pela água durante eventos de grandes enchentes que ocorreram em breves e diferentes episódios durante o final do Período Triássico. Essas considerações foram fundamentadas nas observações de campo indicando

que em um mesmo afloramento podem ocorrer níveis bem definidos e diversos ângulos de disposição em relação ao plano de deposição. Também se baseiam no registro de eventos de inundações que ocorrem em ambientes fluviais atuais.

Os vegetais do Triássico encontrados em Santa Maria foram preservados como decorrência de processos que resultaram na mineralização dos tecidos (figuras 1 a 7) e/ou na formação de réplicas dos tecidos orgânicos nos sedimentos (figuras 8 a 13). Os aspectos relacionados aos processos de fossilização incluem diferentes variáveis relacionadas aos próprios tecidos vegetais ou desses com o contexto no qual foram inseridos após o sepultamento. Por exemplo, as madeiras apresentam espaços vazios que, em geral, são preenchidos por minerais e as folhas que são replicadas na matriz, sendo as estruturas externas da folha preservadas como impressões ou moldes. É conveniente que as folhas tenham o sepultamento em locais com sedimentos finos, pois caso contrário a qualidade da réplica irá dificultar a análise. Por outro lado, as madeiras requerem principalmente sedimentos porosos para que a água contendo minerais dissolvidos percole pela matriz, ou dissolva elementos da matriz e penetre na madeira, provocando a precipitação no interior das paredes celulares.



Figura 8: Impressão de folha de *Dicroidium* sp, Membro Passo das Tropas, Santa Maria (escala em mm).

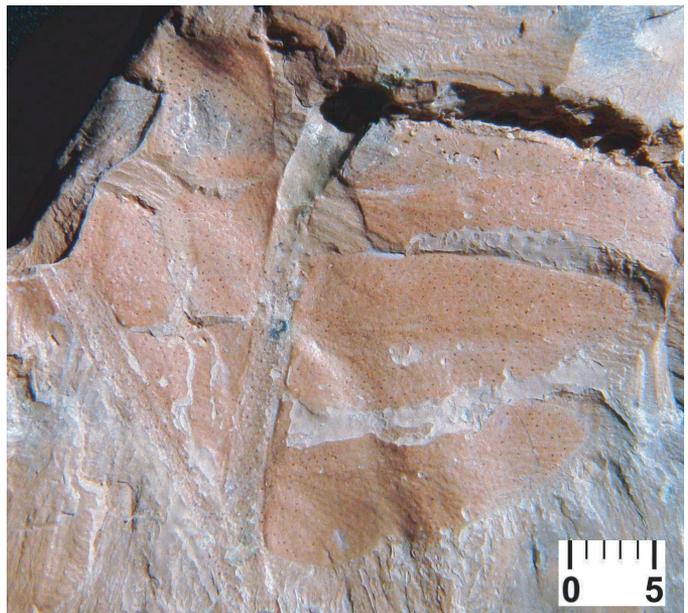


Figura 9: Detalhe da figura anterior mostrando a venação (escala em mm).

²⁹ GUERRA-SOMMER, M. G. & CAZZULO-KLEPZIG, M. The Triassic Taphoflora from... *Op. cit.*

³⁰ BOLZON, R. T.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. & MACHADO, L. G. *Op. cit.*

Em breve síntese, Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig²⁹ descreveram a fossilização dos vegetais, em especial folhas e sementes, que ocorrem na Formação Santa Maria como resultado da deposição de sedimentos finos que ocuparam os espaços porosos, os quais surgiram ao redor das estruturas orgânicas durante a sua degradação, favorecendo a formação de réplicas das estruturas vegetais.

Por sua vez, Bolzon, Silvério da Silva e Machado³⁰ apresentaram um modelo para explicar a preservação das células dos caules fósseis. Conforme os autores, os processos fossildiagnéticos dos tecidos vegetais estão relacionados com a sua estrutura e composição química e com as características do ambiente deposicional, que interagem com variáveis climáticas, hidrológicas, geoquímicas e biológicas, além da granulometria, da porosidade, do pH e do pCO₂, e das reações de oxidação-redução (eH). O modelo apresenta quatro estágios: 1) destruição do tecido lenhoso anterior à infiltração e precipitação de minerais; 2) início da infiltração de minerais com precipitação e nucleação no lúmen celular a partir da superfície das paredes celulares; 3) alterações na parede celular com degradação de elementos orgânicos residuais; e 4) preenchimento e/ou precipitação de minerais a partir da superfície dos lumens celulares. No primeiro estágio, a destruição dos constituintes da parede celular estaria acompanhada da entrada de sílica (principal elemento) e de outros minerais (óxidos férricos), no interior das células e demais espaços vazios, mantendo a estabilidade das estruturas e evitando o colapso da maioria das células. Após esse primeiro estágio, a morfologia das células foi preservada. O preenchimento subsequente de minerais teria destruído as estruturas celulares ao longo de diferentes intervalos de tempo. Assim, cada estágio determinou uma preservação distinta das estruturas do tecido lenhoso e, ao mesmo tempo, sua destruição.

Métodos de estudo

A qualidade de estruturas vegetais preservadas como réplicas, em geral, é inferior às mineralizadas. Nas folhas fósseis de Santa Maria, a preservação celular não é comum. Por outro lado, nos caules mineralizados (também conhecidos como silicificados, pois a sílica é o principal mineral), as estruturas celulares estão normalmente preservadas.

Os métodos de coleta, preparação e estudo diferem entre os caules e as folhas. Enquanto a preparação dos caules requer o corte do exemplar que se encontra mineralizado, na preparação das folhas são utilizados instrumentos como

exploradores, agulhas e pincéis, entre outros, os quais visam retirar a matriz que está encobrendo as réplicas das estruturas vegetais. Após esse processo, as folhas fósseis são observadas em lupas e microscópios estereoscópicos para análise e descrição dos detalhes morfológicos (figuras 8 a 13).



Figura 10: Impressão de folha de *Dicroidium* sp, Membro Passo das Tropas, Santa Maria (escala em mm).



Figura 11: Detalhe da figura anterior (escala em mm).

³¹ BOLZON, R. T. *A Lignitoflora Mesozóica do Rio Grande do Sul...* Op. cit.

O estudo de um caule mineralizado (figuras 4 a 7), após o corte, requer a preparação de lâminas para análise ao microscópio. Bolzon³¹ utilizou, em caules mineralizados do Mesozóico do Rio Grande do Sul, várias técnicas que incluíram: análise em microscópio estereoscópico, método *peel* ou deslocamento, lâminas delgadas, lâminas petrográficas e microscopia eletrônica de varredura. A técnica mais recomendada é a laminação petrológica (em média 30 micrômetros de espessura), que consiste na orientação anatômica, corte com disco diamantado, colagem das secções em lâminas de vidro e desgaste do excedente da secção até restarem uma ou poucas camadas de células. A análise é realizada em microscópio ótico biológico ou petrográfico. O estudo

anatômico de um caule requer pelo menos três lâminas, uma de cada um dos planos anatômicos (figuras 6 e 7), o que possibilita a observação tridimensional do tecido vegetal.

Floras fósseis de Santa Maria e região

As reconstruções paleoambientais de associações de vegetais fósseis são fundamentadas basicamente nas informações relacionadas aos fósseis e às rochas onde são encontradas. Uma flora fóssil representa o conjunto de plantas de um determinado intervalo de tempo e pode receber o nome do gênero típico.

Segundo Guerra-Sommer *et al.*³², na região de Santa Maria foram estabelecidas duas floras: uma que integra as associações de folhas (Flora *Dicroidium*) e a outra relacionada aos caules (Flora *Araucarioxylon*). Os autores sintetizaram a discussão que envolve as prováveis relações entre as duas floras em duas hipóteses: a contemporaneidade ou a sucessão no tempo. A hipótese de contemporaneidade sugere que as duas floras representariam elementos de biótopos distintos que foram preservados em um mesmo sistema deposicional. A outra hipótese considera que a Flora *Araucarioxylon* poderia ser mais recente e, influenciada por mudanças climáticas, tendo substituído a Flora *Dicroidium*.

³² GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

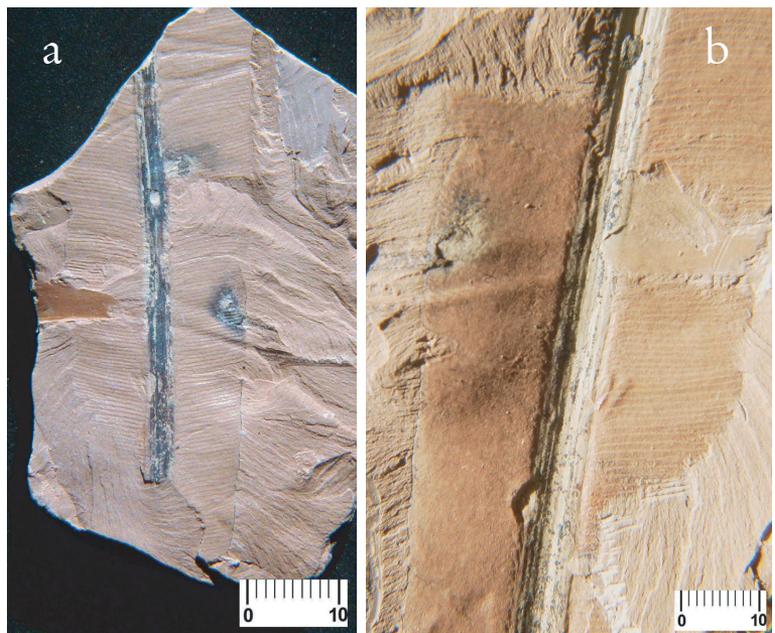


Figura 12a e b: Impressão de folha de *Taeniopteris* sp (parte e contraparte da mesma amostra), Membro Passo das Tropas, Santa Maria (escala em mm).

Flora Dicroidium

A Flora *Dicroidium* está restrita a apenas uma combinação particular de litologia, estruturas físicas e biológicas (faciologia) e apresenta características de ambientes típicos de planícies de inundação em sistemas fluvio-deltáicos. Segundo Guerra-Sommer *et al.*³³, nas associações dessa flora existe uma mistura de indivíduos de grupos que habitariam diferentes ambientes – com predomínio de elementos que viviam dentro dos corpos d’água, das áreas alagadiças ou de solos encharcados (locais que estavam permanentemente inundados) e vegetais que viveriam ao redor dos corpos d’água em suas margens secas ou nas planícies circundantes (higromesófilos). Essas características indicam uma associação formada por restos de vegetais que foram transportados dentro dos limites do habitat original (parautóctone).

Os intervalos com impressões fósseis de integrantes da Flora *Dicroidium* estão relacionados aos ambientes higromesófilos associados a porções proximais da planície fluvial, com domínio das *Corystospermales* (figuras 8 a 11) e como elementos complementares (figuras 12 e 13), alguns integrantes das divisões *Ginkgophyta* e *Coniferophyta*.

Flora Araucarioxylon

Os constituintes da Flora *Araucarioxylon* (figuras 1 a 7) integram uma associação com grupos vegetais que viviam ao redor dos corpos d’água – em suas margens secas ou nas planícies circundantes – e grupos habitando áreas mais elevadas e bem drenadas (mesoxerófila) da região mais distal na planície de inundação, com as *Corystospermales* na periferia, em locais mais encharcados.

A hipótese de sucessão sugere que a Flora *Dicroidium* é mais antiga, atribuída ao intervalo Anisiano Final (245,9 a 237 milhões de anos) ao Ladiniano Final (237 a 228,7 milhões de anos), por ser encontrada em camadas posicionadas estratigraficamente abaixo da Flora *Araucarioxylon*.³⁴ As alterações climáticas do final do Triássico poderiam ter favorecido as mudanças das floras,³⁵ com um progressivo desenvolvimento das coníferas no intervalo Carniano (228,7 a 216,5 milhões de anos) – Noriano (216,5 a 203,6 milhões de anos).

Idade dos fósseis

Existem duas formas básicas de inferir a idade de um fóssil: 1) conhecendo a distribuição bioestratigráfica do grupo taxonômico a que pertence, ou seja, descobrindo quando a

³³ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

³⁴ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* A Flora *Dicroidium* no Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

³⁵ BOLZON, R. T. Mudanças Florísticas Durante o Triássico: O Gondwana no Rio Grande do Sul. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, n. 10, p. 39-48, 1995.

espécie ou gênero teve o primeiro registro de sua origem e quando ocorreu a sua extinção; 2) atribuindo a sua idade como sendo a mesma da rocha na qual o fóssil foi encontrado.

Os fósseis da Flora *Dicroidium*, até o momento, estão restritos à Formação Santa Maria, Membro Passo das Tropas. Por outro lado, existem dificuldades para estabelecer o exato posicionamento estratigráfico dos caules mineralizados, pois grande parte é encontrada rolada.³⁶ Guerra-Sommer e Scherer³⁷ afirmaram que os caules silicificados estão associados a três unidades estratigráficas ao longo da depressão central do Estado do Rio Grande do Sul: formações Santa Maria e Caturrita, e Arenito Mata.

³⁶ BOLZON, R. T. Mudanças Florísticas Durante o Triássico... *Op. cit.*

³⁷ GUERRA-SOMMER, M. & SCHERER, C. M. S. Middle-Late Triassic Petrified Forests from Mata... *Op. cit.*

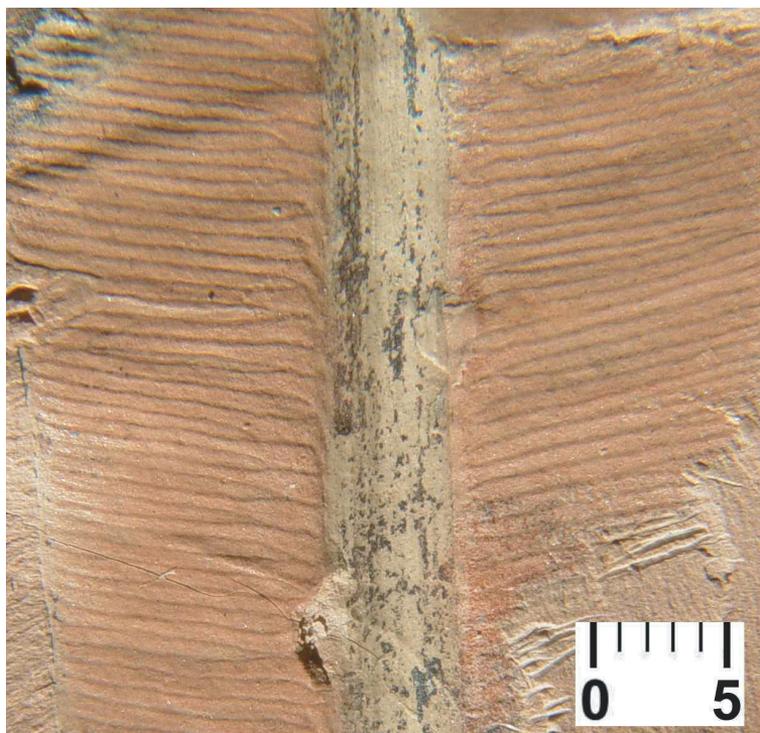


Figura 13: Detalhe da figura anterior mostrando a venação (escala em mm).

³⁸ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

³⁹ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* A Flora *Dicroidium* no Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

Segundo Guerra-Sommer *et al.*³⁸, as associações de fósseis da Flora *Dicroidium* do Rio Grande do Sul são distintas das outras conhecidas no Gondwana. Guerra-Sommer *et al.*³⁹ reuniram informações sobre a origem e extinção dos grupos encontrados em Santa Maria. A principal referência para o estudo bioestratigráfico foi a presença de algumas espécies do gênero *Dicroidium* (figuras 8 a 11) que ocorrem na Austrália e Argentina. O táxon de maior valor bioestratigráfico foi *Dicroidium odontopteroides* var. *remotum*.

A idade dos fósseis encontrados em Santa Maria, nos afloramentos Passo das Tropas e Dom Antônio Reis, compreende o intervalo Anisiano Final – Ladiniano Final (aproximadamente entre 240 e 228,7 milhões de anos).

Dentre os caules descritos, o que apresenta melhor valor bioestratigráfico é *Rhexoxylon*. A *Coristopermales Rhexoxylon* é um gênero de forma característico do Gondvana⁴⁰ e possui uma distribuição bioestratigráfica restrita ao Triássico, provavelmente no intervalo Anisiano/Noriano (245,9 a 216,6 milhões de anos). A ocorrência de caules em diferentes unidades estratigráficas reforça a hipótese de contemporaneidade com a Flora *Dicroidium* e explicaria os caules mineralizados de *Rhexoxylon*.

Grupos vegetais registrados

A associação de fósseis vegetais encontrados na região de Santa Maria e relacionados à Flora *Dicroidium* (figuras 8 a 13) procedem dos afloramentos Passo das Tropas e Dom Antonio Reis; de acordo com Bortoluzzi, Guerra-Sommer e Cazzulo-Klepzig⁴¹, Guerra-Sommer, Cazzulo-Klepzig e Bortoluzzi⁴² e Guerra-Sommer *et al.*⁴³ pertencem aos seguintes grupos:

Divisão	Grupos registrados
Sphenophyta	<i>Neocalamites</i> sp.
Pteridophyta	<i>Cladophlebis</i> sp.
	<i>Tetraptilon</i> aff. <i>heteromerum</i>
Pteridospermophyta	<i>Thinnfeldia</i> sp.
	<i>Dicroidium (Johnstonia) stelzneriana</i>
	<i>Dicroidium (Xylopteris) argentinum</i>
	<i>Dicroidium (Xylopteris) elongatum</i>
	<i>Dicroidium odontopteroides</i> var. <i>odontopteroides</i>
	<i>Dicroidium odontopteroides</i> var. <i>remotum</i>
	<i>Dicroidium odontopteroides</i> var. <i>moltense</i>
	<i>Dicroidium zuberi</i> var. <i>brasiliensis</i>
	<i>Dicroidium zuberi</i> var. <i>zuberi</i>
	<i>Dicroidium zuberi</i> var. <i>papillatum</i>
	<i>Dicroidium zuberi</i> var. <i>feistmanteli</i>
	<i>Dicroidium</i> aff. <i>narrabeenense</i>
	<i>Dicroidium lancifolium</i>
	<i>Dicroidium dubium</i>
	<i>Pteruchus</i> sp.
<i>Rhexoxylon brasiliensis</i>	

⁴⁰ BOLZON, R. T. Mudanças Florísticas Durante o Triássico... *Op. cit.*

⁴¹ BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil: II – Representantes de Pteridospermopsida e Pteridophylla... *Op. cit.*

BORTOLUZZI, C. A.; GUERRA-SOMMER, M. & CAZZULO-KLEPZIG, M. Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, RS, Brasil: I – Equisetales, Ginkgolaes, Coniferales e Pteridophylla ... *Op. cit.*

⁴² GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. & BORTOLUZZI, C. A. A Tafoflora Triássica da Formação Santa Maria, Bacia do Paraná, Brasil e sua Importância Bioestratigráfica. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 3, México, 1985. *Anais...* México, p. 33-41, 1985.

⁴³ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

⁴⁴ RAU, W. *Cedroxylon canoasense*, una madera fósil nueva del Rio Grande do Sul. *Revista Sudamericana de Botánica*, Montevideo, v. 1, n. 1-6, p. 65-68, 1934.

⁴⁵ AFONIN, M. Taxonomic Diversity of the Fossil Woods the Cretaceous Deposit of Rússia. In: EUROPEAN PALEO BOTANY-PALYNOLOGY CONFERENCE, 7, Prague, 2006. *Program and Abstracts...* Prague, p. 31, 2006.

TAYLOR, T. N. & TAYLOR, E. L. The Biology and Evolution of Fossil Plants. New York: Prattice Hall, 1993. 939 p.

⁴⁶ GUERRA-SOMMER, M. *et al.* As Floras Triássicas do Rio Grande do Sul... *Op. cit.*

⁴⁷ PIRES, E. T. & GUERRA-SOMMER, M. *Sommeroxylon spiralosus* from Upper Triassic in Southernmost Paraná Basin (Brazil): A New Taxon with Taxacean Affinity. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio e Janeiro, v. 76, n. 3, p. 595-609, 2004.

⁴⁸ ISABELLE, A. *Op. cit.*

⁴⁹ AVÉ-LALLEMANT, R. *Op. cit.*

⁵⁰ BOLZON, R. T. *Lenhos de Dicotyledoneae do Cenozóico da Região de Uruguaiiana, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.* Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Geociências (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 199 p., 1999.

⁵¹ BOLZON, R. T. & MAR-CHIORI, J. N. C. Lenhos Fósseis da Região de Uruguaiiana, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, v. 25, n. 54, p. 41-63, 2002.

Robson Tadeu Bolzon é biólogo, doutor em Paleontologia e professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.

bolzonrt@ufpr.br

Inês Azevedo é graduada em Ciências Biológicas e doutora em Paleontologia.

ia_ze@yahoo.com.br

Ginkgophyta	<i>Ginkgoites antartica</i>
	<i>Sphenobaiera</i> sp.
	<i>Stenorachis</i> sp.
Coniferophyta	<i>Podozamites</i> sp.
	<i>Cedroxylon canoasense</i>
	<i>Araucarioxylon</i> sp.
	<i>Sommeroxylon spiralosus</i>
Incertae sedis	<i>Taeniopteris</i> sp.
	<i>Sewardia</i> sp.
	<i>Williamsonia</i> sp.
	<i>Carpolithus</i> sp.

Por outro lado, os caules fósseis relacionados à Flora *Araucarioxylon* foram proporcionalmente menos estudados e são atribuídos de maneira geral às Coníferas. Na literatura existem citações para *Araucarioxylon* ou *Dadoxylon*, que são dois gêneros de forma de xilema secundário com características que lembram o arranjo semelhante às araucárias atuais e constituem grupos definidos por poucas características anatômicas frequentes em diferentes famílias, classes ou mesmo divisões.

O material descrito por Rau⁴⁴ como *Cedroxylon canoasense*, necessita de uma revisão. *Cedroxylon* é considerada uma Coniferophyta, mas a família é incerta; algumas espécies desse gênero podem estar incluídas nas Pinaceae.⁴⁵ O exemplar foi coletado em Canoas e provavelmente não está relacionado aos de Santa Maria.⁴⁶

Pires e Guerra-Sommer⁴⁷ descreveram *Sommeroxylon spiralosus* n.gen. et n.sp., que estaria relacionado à família Taxaceae (Ordem Coniferales, Divisão Coniferophyta), constituindo-se em reconhecimento inédito da presença deste grupo e indicando que, no Triássico Final, a família não estava restrita ao hemisfério norte. Os exemplares estudados foram encontrados no Afloramento da Linha São Luiz, município de Faxinal do Soturno, relacionado à Formação Caturrita.

É oportuno comentar que as referências de Isabelle⁴⁸ às dicotiledôneas e de Avé-Lallemant⁴⁹ à Família Myrtaceae ainda não foram comprovadas; dificilmente existem representantes desses grupos dentre os caules de Santa Maria. O primeiro registro é mais recente em termos geológicos, ou seja, não há evidência de caules de dicotiledôneas ou de Myrtaceae para o Triássico ou mesmo Jurássico. Na região de Uruguaiiana, ocorrem lenhos fósseis de dicotiledôneas que incluem Leguminosae⁵⁰ e Myrtaceae⁵¹.