

**ANÁLISES DENDROLÓGICAS E INFERÊNCIAS PALEOCLIMÁTICAS NA  
FLORESTA PETRIFICADA DO TOCANTINS SETENTRIONAL  
(NEOPERMIANO, BACIA DO PARNAÍBA, TOCANTINS, BRASIL).**

GIOVANA PUJOL VEECK

CNPq – Iniciação Científica, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 91501-970 Porto Alegre, RS, Brazil

ETIENE FABBRIN PIRES

CNPq – Pós-Doutorado Júnior, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 91501-970 Porto Alegre, RS, Brazil

MARGOT GUERRA SOMMER

CNPq, Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul – 91501-970 Porto Alegre, RS, Brazil

**RESUMO** - A análise de padrões anatômicos de crescimento em lenhos homoxílicos gimnospermiados, provenientes da Floresta Petrificada de Tocantins Setentrional (FPTS), (Bacia do Parnaíba, Neopermiano) indicou a dominância de formas que apresentam zonas de crescimento, sendo que apenas um espécime evidenciou verdadeiros anéis de crescimento. A associação destes resultados com prévios dados paleobotânicos indicam a adaptação dessa flora à faixa climática subtropical, afastando vinculação estreita com floras típicas de cinturão equatorial, caracterizadas predominantemente por padrões ininterruptos de crescimento do lenho.

**Palavras-chave:** Floresta Petrificada de Tocantins, Neopermiano, Padrões de crescimento do lenho, Zonas de Crescimento, Anéis de crescimento.

ABSTRACT - Anatomical growth patterns analysis in homoxyllic gymnospermic woods from the Northern Tocantins Petrified Forest (Parnaíba Basin, Neopermian) showed a dominance of forms featuring growth zones, except for one specimen which evidenced true growth rings. The association of these results with previous paleobotanical data suggests an adaption of this flora to the subtropical climatic belt, rejecting a close link to floras typical to the equatorial belt, which are mainly characterized by uninterrupted patterns of wood growth.

**Key-words:** Northern Tocantins Petrified Forest, Neopermian, Growth patterns of the wood, Growth zones, Growth Rings.

## INTRODUÇÃO

A *Floresta Petrificada de Tocantins Setentrional* (FPTS), delimitada estratigraficamente por Dias-Brito *et al.*, (2007) ao Neopermiano (latitudes 23<sup>o</sup> e 28<sup>o</sup> Sul) de acordo com modelo proposto por Scotese (2002), corresponde a uma das mais importantes associações lignoflorísticas procedente de bioma Temperado Quente (Willis & McElwain, 2002) no Hemisfério Sul. A importância dessa associação lignoflorística levou à criação do *Monumento Natural das Árvores Fossilizadas do Tocantins* – MNAFTO, uma unidade de conservação de proteção integral, criada pelo Estado do Tocantins por meio da Lei Estadual nº 1.179, de outubro de 2000 (D. O. E. 981).

O MNAFTO situa-se na Amazônia legal, no NNE do Estado de Tocantins, no município de Filadélfia, próximo a fronteira com o estado do Maranhão. A FPTS está listada entre as 31 mais belas florestas fossilizadas da Terra (Dernbach, 1996), constituindo-se no mais exuberante e importante registro florístico tropical-subtropical permiano no Hemisfério Sul. Outras manchas da FPTS ocorrem em Goiatins, Colinas do Tocantins e na região de Carolina, Maranhão (Dias-

Brito *et al.*, 2007).

Segundo Coimbra & Mussa (1984), Mussa & Coimbra (1987), e Rössler (2006) essa imponente associação, que inclui material autóctone, hipoautoctone e halóctone constitui um elo vigorante durante o Permiano entre as floras do Gondwana, dominadas por glossopterídeas e as floras da província Euroamericana, do hemisfério norte. Sua composição, com predomínio de espécies pteridofíticas (*Arthropitys cacundensis*, *Psaronius brasiliensis*, *Psaronius arrojadoi*, *Psaronius sinuosus*, *Tietea singularis*, *Tietea derby*, *Grammatopteris freitasii*, *Botryopteris nollii* e *Dernbachia brasiliensis*) indica a vigência de um clima quente e úmido com variações sazonais (Dias-Brito *et al.*, 2007). Coimbra e Musa (1984) e Musa e Coimbra (1987) registram também a presença de gimnospermas no arenito Cacunda da Formação Motuca (Maranhão) através dos táxons *Amyelon bieloi* e *Carolinapytis maranhensis*. Esses mesmos autores descrevem também, em arenitos considerados como subjacentes ao arenito Cacunda formas gimnospérmicas identificadas como *Cyclomedulloxylon parnaibensis* e *Cycadoylon brasiliensis*. Esses registros demonstram que, além dos critérios climáticos evidenciados pela dominância de formas pteridofíticas nessa paleoflora, podem ser obtidos parâmetros de natureza dendrológica em gimnospermas, visando à caracterização climática do intervalo estudado.

Os objetivos do presente estudo envolvem: (i) estabelecer padrões de ciclicidade de crescimento a partir da análise dos lenhos fósseis gimnospérmicos procedentes da *Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional* (FPTS), (ii) inferir prováveis processos climáticos a partir dessas evidências anatômicas.

## CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

Dias-Brito *et al.*, (2007) delimitam a ocorrência da Floresta Petrificada de Tocantins, cujo

entorno situa-se na Amazônia Legal, no NNE do Estado de Tocantins, Município de Filadélfia, próximo à fronteira com o Estado do Maranhão. Posiciona-se entre as latitudes de  $7^{\circ}17'45''$  e  $7^{\circ}38'34''$ S e longitudes de  $47^{\circ}35'17''$  e  $48^{\circ}01'05''$  W. No seu lado oeste situa-se o distrito de Bielândia, antigamente conhecido como Zé Biel ou Venda do Zé Biela, muito citado como localidade fossilífera. O acesso à área a partir de Araguaína é feito pela rodovia TO-222 que atravessa quase todo o Monumento no sentido W-E em direção a Filadélfia. A rodovia TO-010, que corta o MNAFTO no sentido N-S, e algumas estradas secundárias permitem completar o acesso às manchas da FPTS.

A Bacia do Parnaíba é também chamada de Bacia do Maranhão ou Piauí-Maranhão, ocupa uma área de 600 mil Km<sup>2</sup> da porção noroeste do Nordeste brasileiro. Esta bacia se desenvolveu sobre um embasamento continental durante o Estágio de Estabilização da Plataforma Sul-Americana (Almeida e Carneiro, 2004). A Bacia é dividida em 5 Sequências: Siluriana, Mesodevoniana-Eocarbonífera, Neocarbonífera-Eotriássica, Jurássica e Cretácea (Figura 1) (Vaz *et al.*, 2008).

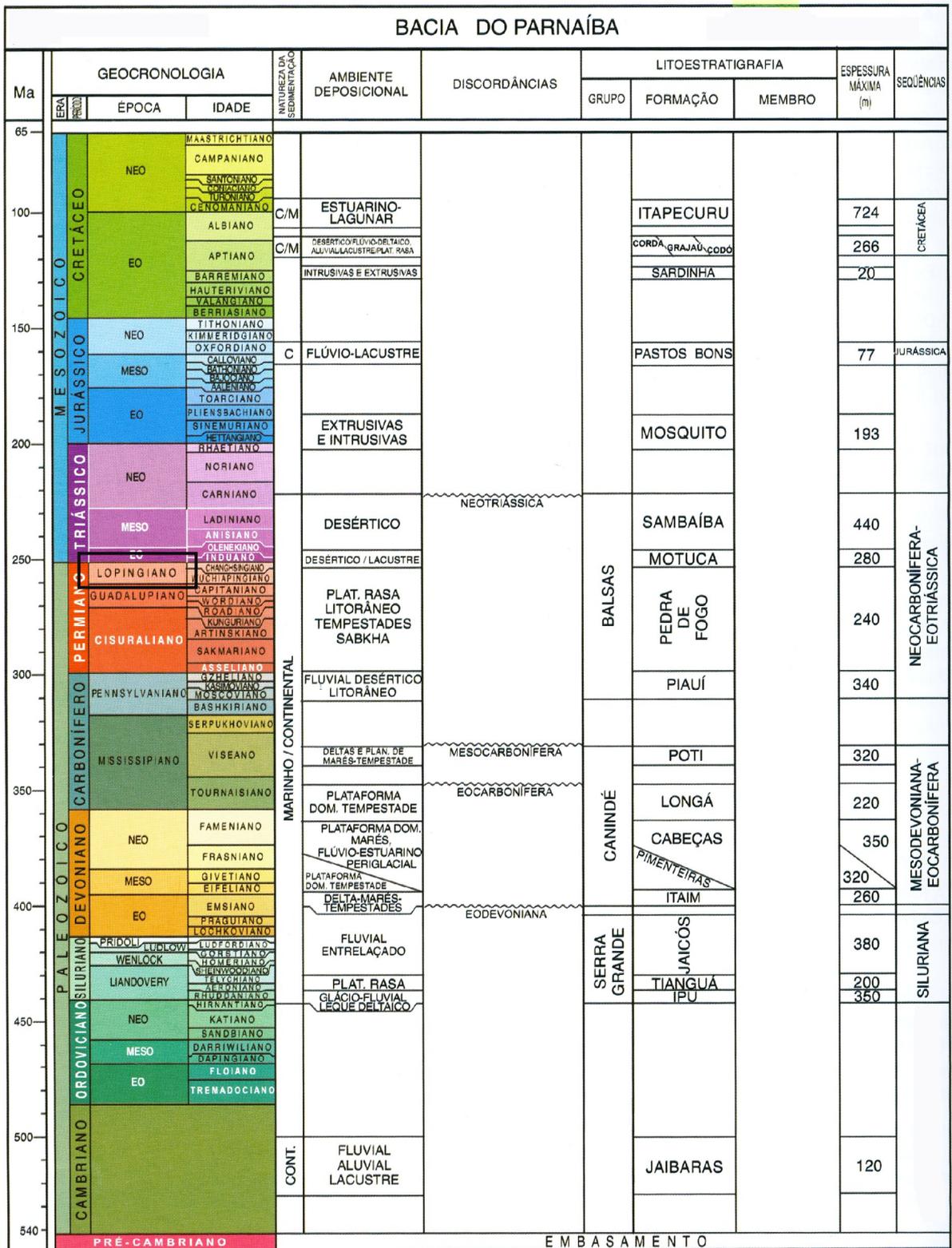


Figura 1. Bacia do Parnaíba com suas respectivas seqüências, com o retângulo indicando o

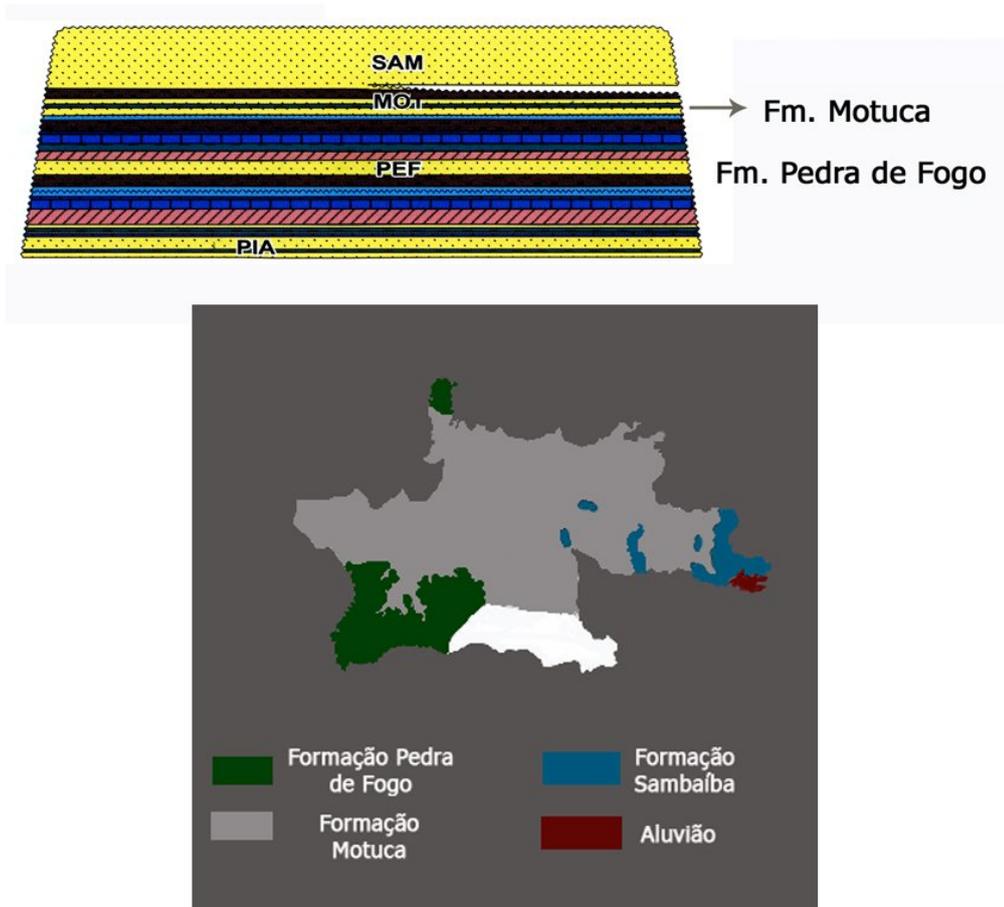
período estudado (Modificado de Vaz *et al.* 2008).

**Figure 1.** Parnaíba Basin and its stratigraphic sequences (Modified from Vaz *et al.* 2008).

A principal característica do Permiano na Bacia do Parnaíba é um forte ressecamento e predomínio de condições continentais. Nos intervalos regressivos, as indicações são para climas quentes e áridos, adversos, com as manifestações de vida dadas pelos estromatólitos. A fase transgressiva que se instala no topo da Formação Pedra de Fogo, caracteriza mudanças para climas quentes e úmidos, vigência de ambientes aquáticos e presença de fósseis de ambiente terrestre (Santos & Carvalho, 2004).

A associação lignoflorística tem sido tradicionalmente incluída na Formação Pedra de Fogo, (Lima & Leite, 1978; Faria & Truckenbrodt, 1980; Oliveira, 1982; Coimbra, 1983; Góes & Feijó, 1994; Dino *et al.*, 2002). Por outro lado interpretações mais recentes têm incluído essa lignoflora na Formação Motuca, sobrejacente e concordante, que se originou em domínio continental, sob variadas condições de sedimentação – fluvial, lacustre e eólica - com transgressões marinhas episódicas na parte intermediária da seção (Lima & Leite, 1978) (Figura 2).

Dias-Brito *et al.* (2007) indicam uma idade Eopermiana para a Formação Pedra de Fogo sendo atribuída por esses autores uma idade Neokunguriano a MesoPermiano para a porção inferior da Formação Mutuca, de onde procede, segundo esses mesmos autores, a Floresta Petrificada. Já Vaz *et al.* (2008) enquadram a Fm. Motuca no intervalo de topo do Permiano (Lopingiano).



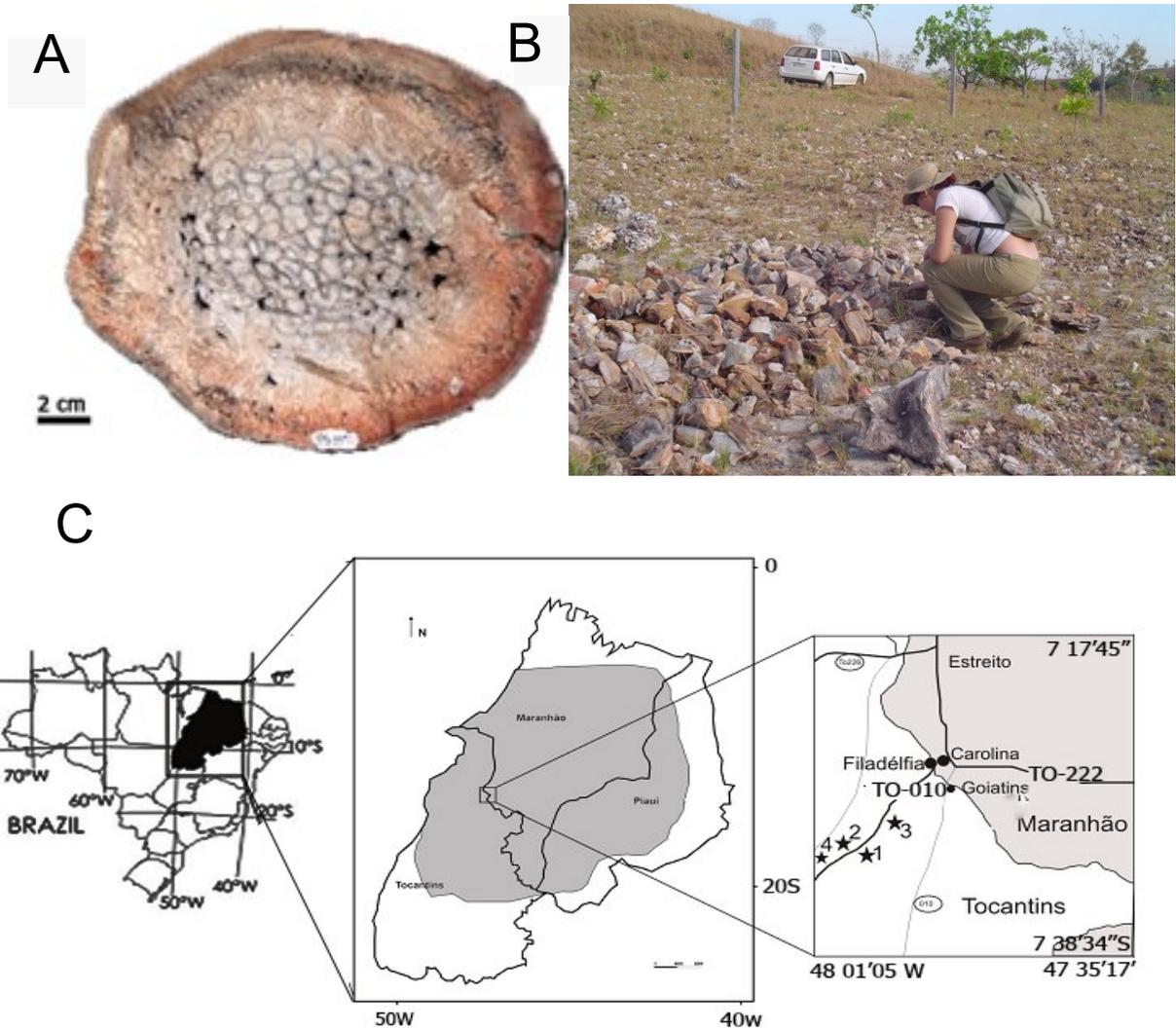
**Figura 2.** Formação Motuca, sobrejacente e concordante á Formação Pedra de Fogo ((Modificado de Vaz *et al.* 2008). Mapa geológico do MNAFTO com suas respectivas formações aflorantes (Modificado de Pinto & Sad, 1986).

**Figure 2.** Map of formation, which is overlying and structurally conformable to Pedra de Fogo formation (Modified de Vaz *et al.* 2008). Geological map of TFTNM (Modified from Pinto & Sad, 1986 )

As glaciações do Gondwana são um dos fatores apontados para as variações do nível do mar neste período. Da mesma forma como ocorreu no Quaternário, às glaciações influenciaram os recuos globais do nível do mar, e nas épocas interglaciais o aumento do nível do mar

modificaria os climas em grande extensão dos continentes (Santos & Carvalho, 2004).

O material aqui analisado provém de uma associação de caules petrificados que incluíam originalmente fragmentos de lenho gimnospérmicos e caules de pteridófitas arborescentes (Figura 3a). Tendo em vista os objetivos do presente estudo as formas pteridofíticas foram descartadas sendo a associação analisada composta exclusivamente por fragmentos gimnospérmicos. A associação é hipoautoctone, os fósseis foram coletados em superfície, rolados sobre sedimentos da Formação Pedra de Fogo, no contacto com a Formação Motuca (Figura 3b), em quatro afloramentos distintos: (afloramento 1, 2, 3 e 4) todos as margens da estrada TO 222. O afloramento 1 (UTM: 0186744/9174644) está localizado a cerca de 6 km ao leste de Bielândia (Estrada Bielândia-Filadélfia), nas Fazendas Canajuba e São João, de onde foram coletadas 15 amostras. O afloramento 2 (UTM: 0186132/9173716) está localizado a 4 km leste de Bielândia (estrada Bielândia-Filadélfia, Km 53), na Fazenda Andadina, de onde foram coletadas 2 amostras. O afloramento 3 (UTM: 0201489/9174240) situa-se a 16 Km leste de Bielândia (Estrada Bielândia-Filadélfia), na Fazenda Buritirana, de onde foram coletadas 16 amostras. O afloramento 4 (UTM: 0209730/9178398) está localizado a 22 km oeste de Filadélfia (Estrada Filadélfia-Bielândia), de onde foram coletadas 20 amostras (Figura 3c).



**Figura 3.** A) Caule de Pteridófitas; B) fósseis em superfície, rolados sobre sedimentos da Formação Pedra de Fogo, no contacto com a Formação Motuca; C) Mapa com a posição dos 4 afloramentos de onde os exemplares foram coletados, todos às margens da estrada TO 222.

**Figure 3.** A) Cross-section of pteridophytic stem; B) rolled fragments of fossil stems on the sediments of Pedra de Fogo formation at the contact with Motuca formation; C) map showing the position of the 4 outcrops from where the samples have been collected, along the road TO 222.

## METODOLOGIA

Os fragmentos de lenho foram submetidos a cortes em seções transversais e longitudinais radial, de acordo com a metodologia usual para análise de madeiras, que corresponde às seguintes etapas: a- cortar a seção desejada com uma máquina com serra diamantada lubrificada com óleo; b- retirar amostras menores dos fragmentos utilizando a máquina lubrificada com água; c- logo após as amostras são lixadas com abrasivo (carbeto de silício e óxido de alumínio); d- as amostras são novamente lixadas em uma placa de vidro e em seguida lavadas com água e sabão; e- estas são levadas para secagem em estufa e depois coladas em lâminas de vidro com araldite e endurecedor (HY 95 (6:1)); f- as amostras são levadas novamente para a estufa e o excedente da rocha nas lâminas é lixado até a obtenção da espessura desejada primeiro com Carbeto de silício e por último com óxido de alumínio; g- as lâminas serão limpas e etiquetadas.

Os detalhes anatômicos foram observados em lâminas delgadas em seção transversal em microscópio óptico de luz transmitida Carl Zeiss - modelo MC 80, e fotografados com uma câmera digital Siber Shot Sony DSC-W5 e armazenadas digitalmente. Dezoito espécimes foram submetidos à laminação, sendo elaboradas 22 lâminas delgadas. Do total de lâminas elaboradas, devido à precária preservação anatômica, foram selecionadas para análise 12 lâminas, sendo 11 em seção transversal e uma em seção radial.

As amostras encontram-se depositadas no Laboratório de Paleobotânica, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, catalogadas em livro tombo, recebendo numeração de 3887 a 3939.

Alguns dos critérios utilizados em análises dendrológicas nas plantas atuais têm sido

utilizados em lenhos fósseis, gerando uma variedade de parâmetros utilizados para a inferência dos paleoclimas vigentes durante o crescimento das árvores (Creber & Francis, 1999; Parrish, 1999). Essas análises têm gerado importantes contribuições em distintas paleoprovíncias florísticas referidas principalmente em trabalhos de Arnold, 1947; Beck, 1953; Matten & Banks, 1967; Chaloner & Creber, 1973; Fritts, 1976; Chapman, 1994; Yao et al., 1994; Falcon-Lang, 1999, 2000. Os parâmetros utilizados incluem: presença ou ausência de anéis de crescimento, características endógenas dos anéis de crescimento, espessura e presença de falsos anéis de crescimento (Creber, 1977).

A verificação da sensibilidade média e sensibilidade anual (Douglass, 1928; Shulman, 1956; Furst, 1963; Fritts, 1976) são alguns dos métodos utilizados para caracterização de séries temporais e podem ser aplicados em lenhos fósseis. Todavia, devido à ausência de anéis de crescimento na grande maioria dos espécimes, esses parâmetros não puderam ser avaliados. Os padrões de crescimento dos lenhos foram interpretados a partir de critérios estabelecidos por Schweingruber (2007).

## DESCRIÇÃO

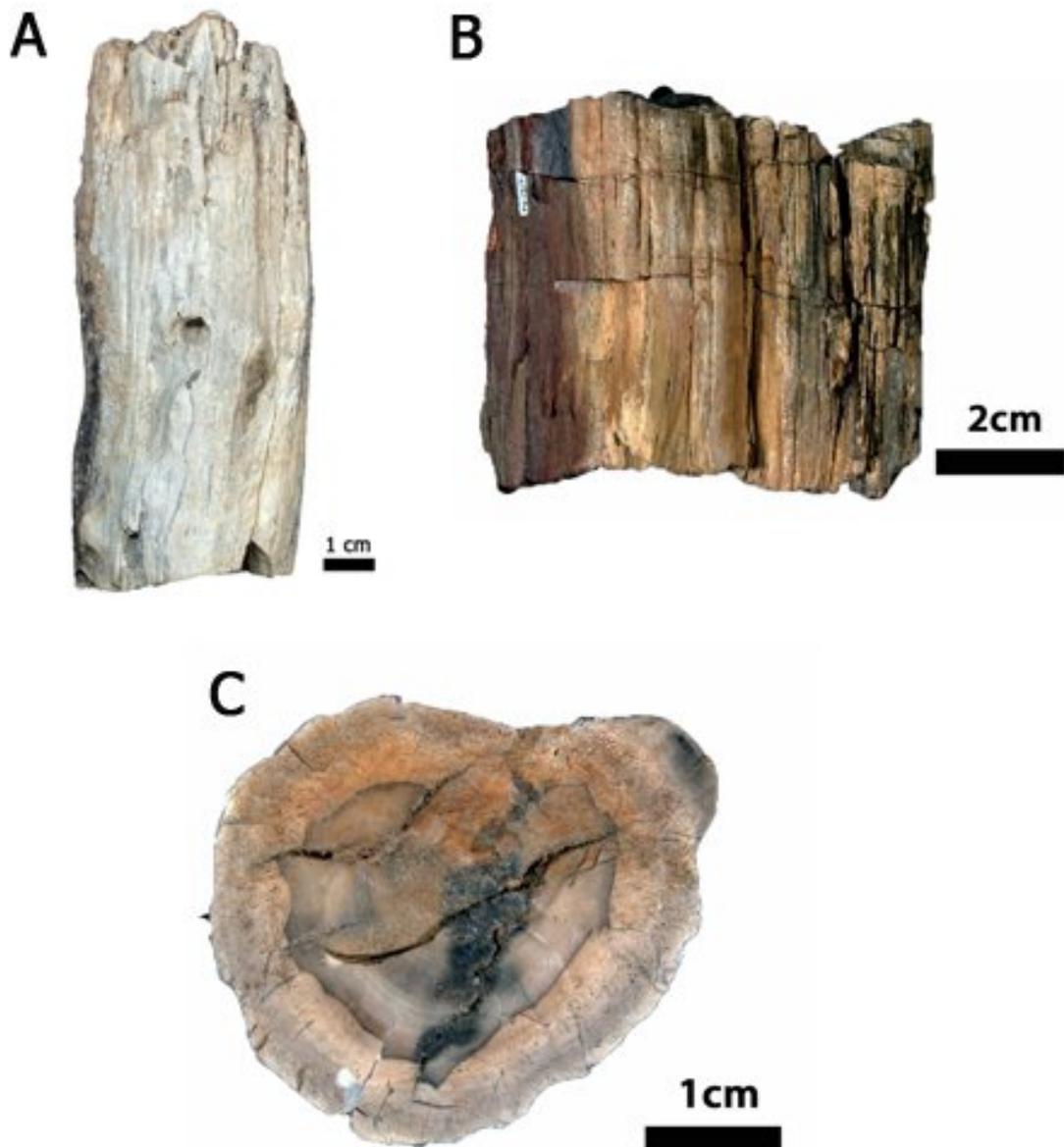
**a) macroscópica:** O material analisado corresponde a 19 fragmentos de xilema secundário, com diâmetro médio de 19,28 cm (2,5 - 15) (tabela 1). Entre estes exemplares, 6 correspondem a pequenos ramos (PB 3896, PB 3905, PB 3910, PB 3917, PB 3918, PB 3939) com diâmetro médio de 6,17 cm (2,5 - 14) (Figura 4a) Os lenhos são silicificados, apresentando coloração esbranquiçada-avermelhada, tanto na superfície externa (Figura 4b) quanto interna (Figura 4c). Na superfície externa, possuem fraturas e não apresentam arredondamento, nem casca preservada (Figura 4b). Raros espécimes (seis) possuem medula

maciça centralizada e pequena (média: 0,63cm).

**Tabela 1.** Diâmetro, altura maior dos lenhos e tamanhos das medulas dos espécimes e afloramento dos quais procedem.

**Table 1.** Diameter, maximum height of stem fragments and pith size of the samples and originary outcrop.

Afloramento	Tombo	Diâmetro do lenho (cm)	Altura (cm)	Diâmetro maior da Medula (mm)	Diâmetro menor da Medula (mm)
1	3890	6	10	-	-
1	3895	4,5	13,5	-	-
1	3894	5	8	8	1,75
1	3899	14	14	-	-
1	3896	14	8	-	-
3	3905	3,5	7,5	6	2,25
3	3906	14	5	6	-
3	3908	6	9	6	-
3	3910	2,5	11,2	6	2,5
3	3912	10	9	-	-
3	3917	5,5	13,5	-	3,5
3	3918	5,5	14,3	-	3,25
4	3922	10	6	-	-
4	3928	12,5	11,2	-	-
4	3931	8	6	-	-
4	3935	12,5	15	-	-
4	3936	15	16,5	-	-
4	3937	14	11,1	-	-
4	3939	6	15	6	2,55



**Figura 4.** A, C) Superfície externa e interna: coloração esbranquiçado-avermelhada B) lenho maduro: com fraturas transversais , ausência de arredondamento e casca , coloração avermelhada- esbranquiçada.

**Figure 4.** A, C) Outer and inner aspects of a wood fragment show white-red color; B) mature wood with cross fractures, lack of bark and roundness, white-red colored..

**b) microscópica:** Em todos os espécimes analisados a preservação anatômica é precária, sendo impossível realizar medidas estatísticas em seções radiais e tangenciais. Tendo porem em vista

os objetivos propostos no presente estudo, foi possível a obtenção dos seguintes resultados na seção transversais dos lenhos.

### **Seção transversal:**

A medula preservada nos espécimes PB 3896, PB 3905, PB 3910, PB 3917, PB 3918 e PB 3939 é pequena (de acordo com os critérios de Mussa, 1982), circular a levemente assimétrica (Figura 5a), com diâmetro médio de 2,63 mm (3,5 – 1,75), detalhes da composição anatômica não foram observados dada a intensa recristalização. Nesses espécimes o xilema primário também não foi preservado.

Os traqueídeos do xilema secundário apresentam duas diferentes morfologias, considerando-se a totalidade das formas analisadas:

a ) traqueídeos com contorno arredondado (espécimes PB 3895, PB 3890, PB 3899, PB 3906, PB 3922, PB 3928, PB 3931, PB 3935, PB 3936, PB 3937) (Figura 5b),

caracterizando assim lenhos do *tipo a*;

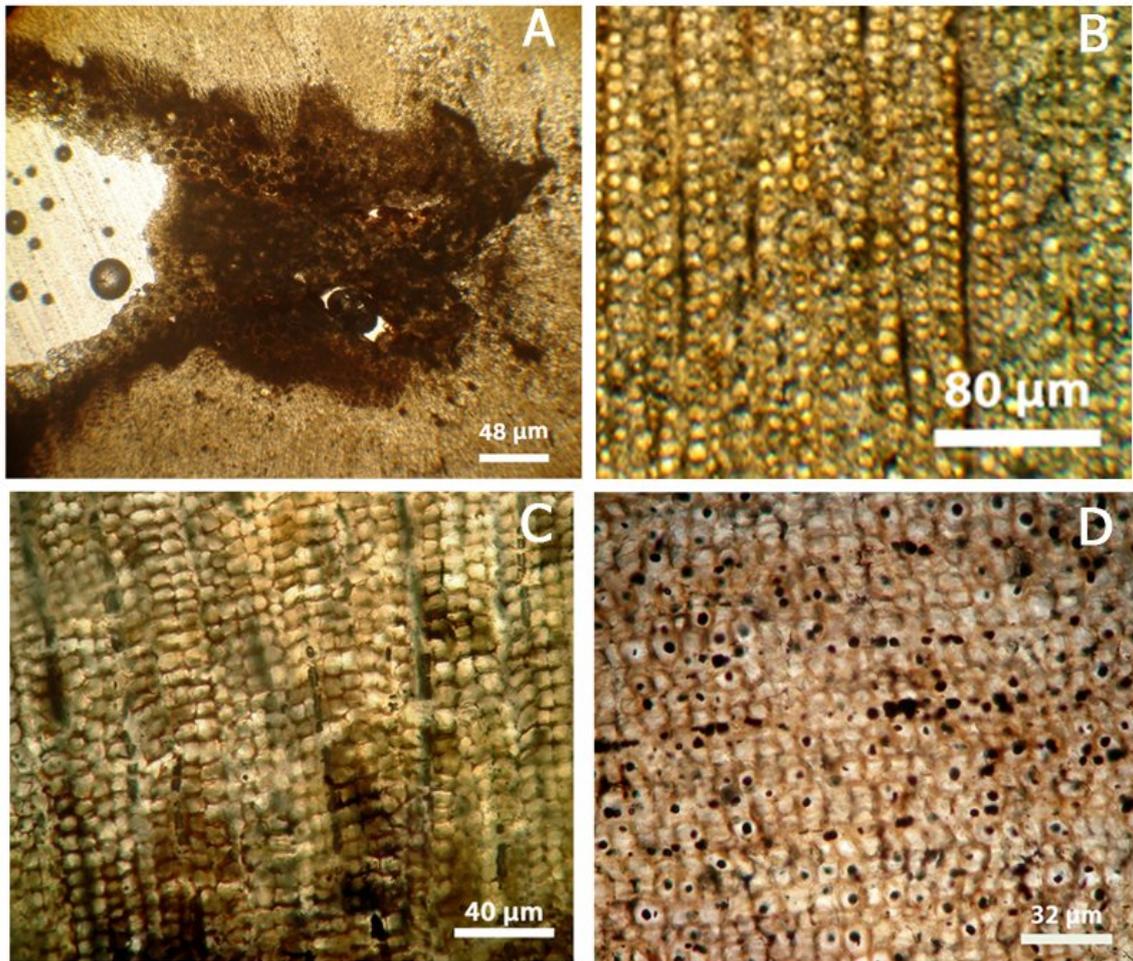
b ) traqueídeos com contorno quadrado (espécime PB 3894) (Figura 5c), caracterizando assim lenhos do tipo **b** (tabela 2).

Em alguns espécimes (PB 3890, PB 3894, PB 3899) o lúmen dos traqueídeos apresenta coloração escura, sugerindo talvez a presença de resinas. (Figura 5d).

**Tabela 2.** Resumo das medidas em seção transversal utilizadas para a caracterização anatômica.

**Table 2.** Synopsis of the cross-section measures taken for the anatomical characterization.

Características		Mínimo	Máximo	Média
Traqueídeos - Tipo A 3895, 3890, 3899, 3906, 3928, 3931, 3935, 3936, 3937	Diâmetro radial ( $\mu\text{m}$ )	16	64	41,039
	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	24	72	40,752
	Parede radial ( $\mu\text{m}$ )	8	32	9,531
Traqueídeos – Tipo B 3894	Diâmetro radial ( $\mu\text{m}$ )	16	56	38,88
	Diâmetro tangencial ( $\mu\text{m}$ )	16	56	38,72
	Parede radial ( $\mu\text{m}$ )	8	16	8,96
Número de raios por 25mm <sup>2</sup>		0	26	-
Diâmetros das Medulas		0,6	0,8	0,63
Anéis de crescimento (mm)		5,1	7,625	6,595



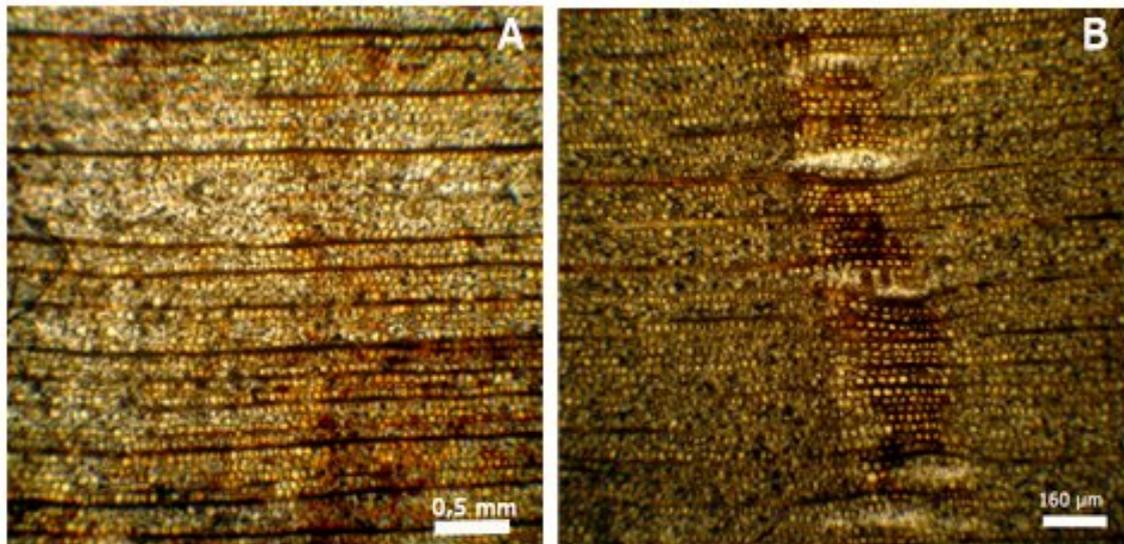
**Figura 5.** A) Medula preservada; B) Traqueídeos de contorno arredondado; C) Traqueídeos de contorno quadrado; D) lúmen de traqueídeos apresentando coloração escura, sugerindo presença de resina.

**Figure 5.** A) Preserved pith; B) tracheids with round outline; C) tracheids with square outline; D) tracheids with dark-colored lumen, probably due to resiniferous content.

O lenho em ambos os morfotipos é formado por traqueídeos densos, com raios homocelulares reduzidos, parênquima axial ausente e ausência de canais resiníferos.

Os raios lenhosos em ambos os tipos de lenho são numerosos, sendo em média 12,34 por campo de 25 mm<sup>2</sup> (0 –26) (Figura 6a).

Fraturas elipsóides com orientação radial ocorreu em um espécime (PB 3922), no limite de uma zona de crescimento (Figura 6b). Estas disrupções são preenchidas por sílica, sem evidencia de restos orgânicos em seu interior, ocorrendo à ruptura ao longo das fileiras de traqueídeos, no sentido radial, não ocorrendo, porém a destruição do contorno celular.



**Figura 6.** A) raios lenhosos numerosos; B) Fraturas elipsóides preenchidas por sílica com orientação radial no limite de uma zona de crescimento sem evidencia de restos orgânicos em seu interior, ocorrendo a ruptura ao longo das fileiras de traqueídeos, no sentido radial, não ocorrendo, porém a destruição do contorno celular.

**Figure 6.** A) woody rays in large numbers; B) ellipsoidal fractures filled with radially oriented silica with no evidence of organic remains in the inside occurring at the boundary of a growth zone. The tracheid rows ruptured radially apart, but the cell outlines have not been destroyed.

### Seção Radial.

Detalhes dos campos de cruzamento e pontuações radiais comprovaram a caracterização de lenhos homoxilicos, ausência de canais secretores e parênquima axial em toda a amostragem.

A presença de pontuações circulares únicas (ooporos) em cada campo de cruzamento, ocorrentes de forma esporádica, foi observada no espécime PB 3899 (Figura 7a).

### **Padrões de crescimento do lenho**

Padrões cíclicos de crescimento são observados macroscopicamente em todos os lenhos, representados por alternância de bandas claras e escuras em seção transversal (Figura 7b), porém são microscopicamente inconspícuos na grande maioria dos espécimes.

No espécime PB 3899 podem se delimitados verdadeiros anéis de crescimento. O lenho possui 5 anéis de crescimento, com uma média de espessura de 6,6 mm (7,6 e 5,1). A passagem de lenho inicial para lenho tardio é abrupta (Figura 7c).

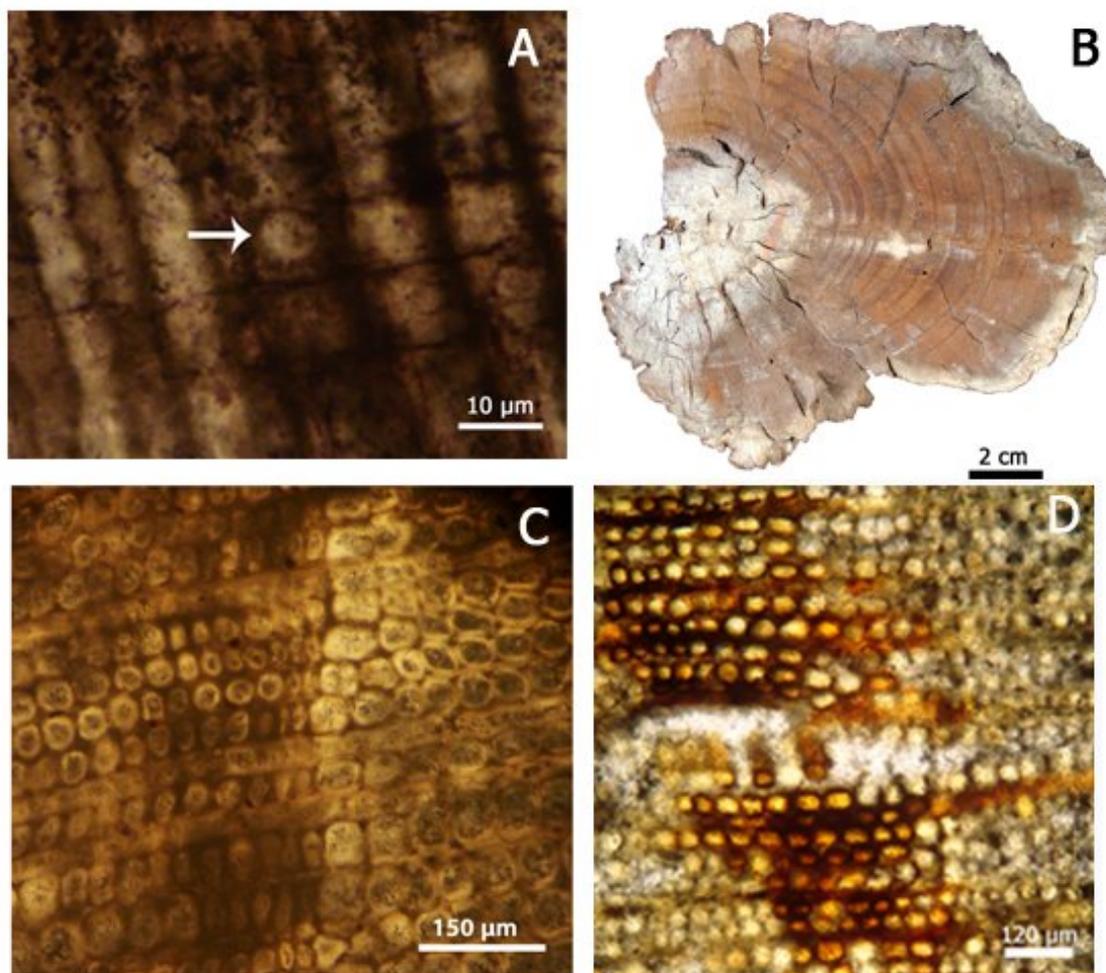
O lenho inicial é caracterizado por uma média de 115 células de parede celular fina, com uma média de 8,53  $\mu\text{m}$  (16 - 8), enquanto que o lenho tardio é composto por 2 a 3 células de parede espessa (18,4  $\mu\text{m}$ , 24 - 16) e lúmen reduzido (32,9  $\mu\text{m}$ , 40 - 32).

Nos demais espécimes da associação (10) o padrão ocorrente corresponde aquele relacionado à emissão de zonas de crescimento (Figura 7d). Elas são observadas eminentemente em vista mesoscópica em padrões cíclicos que variam desde 0,1 a 2,5 cm (tabela 3). Análises microscópicas comprovam a caracterização destas zonas que se caracterizam pela ocorrência de redução do lúmen dos traqueídeos, sem correspondente aumento das paredes.

**Tabela 3.** Medidas das zonas de crescimento em visão mesoscópica, evidenciando o número de zonas em determinado espaço, e quais foram às menores e maiores zonas.

**Table 3.** Growth zone sizes in mesoscopic view, number of zones per specimen and its maximum and minimum sizes

Espécime	Medida cm	Nº zonas	Menor cm	Maior cm
3859	5,3	8	0,2	1
3890	3,5	9	0,2	0,5
3899	4	9	0,2	0,5
3905	1,5	6	0,1	0,4
3906	8	8	0,6	2,5
3912	3	9	0,15	0,9
3922	3	8	0,3	0,6
3918	3	5	0,1	0,3
3928	4,5	9	0,4	0,6
3935	8	15	0,4	0,9
3936	7,8	13	0,1	1,4
3937	4	8	0,2	1,1
3939	2,8	12	0,1	0,3



**Figura 7.** A) Pontuações circulares únicas (ooporos) em cada campo de cruzamento, ocorrentes de forma esporádica; B) alternância de bandas claras e escuras em seção transversal; C) passagem abrupta de lenho inicial para lenho tardio; D) padrão ocorrente corresponde à emissão de zonas de crescimento.

**Figure 7.** A) Single round pits per cross fields B) alternate light and dark strips in cross-section view C) abrupt transition from earlywood to latewood D) observed pattern corresponds to growth zones

## RESULTADOS

A associação analisada corresponde em sua totalidade a fragmentos de lenhos gimnospérmicos. Devido à precária preservação dos espécimes, não foram realizadas análises taxonômicas formais. Baseando-se na metodologia de Wheler e Lehman (2005)

que define parâmetros de tamanho e forma dos traqueídeos do lenho inicial em seção transversal, são reconhecidos dois xilotipos: xilotipo 1, dominante (PB 3895, PB 3890, PB 3899, PB 3906, PB 3928, PB 3931, PB 3935, PB 3936, PB 3937) com traqueídeos de contorno arredondado em seção transversal, e xilotipo 2, raro, representado em apenas 1 (PB 3894), com traqueídeos de contorno quadrado em seção transversal.

A estruturação homoxilica do xilema secundário em toda associação permite caracterizar a presença de lenho picnoxílico que é característica comum atualmente em zonas de clima temperado.

Foram evidenciados dois tipos de crescimento no lenho. O padrão dominante, representado em 10 espécimes caracteriza-se pelo crescimento parcialmente interrompido que é característico de plantas que apresentam zonas de crescimento. Essas zonas correspondem a incrementos cíclicos muito frágeis no crescimento, os quais nem sempre são expressos em todo o diâmetro radial do lenho. As zonas de crescimento originam-se no lenho em climas caracterizados por invernos com temperaturas médias e muitas chuvas, sendo nessas condições raras as plantas que constituem verdadeiros anéis. Nos desertos e em regiões áridas as plantas exibem também zonas de crescimento ao invés de anéis de crescimento, as quais correspondem a períodos de precipitações aperiódicas (Schweingruber, 1996).

A presença de padrão de crescimento interrompido ciclicamente, tipicamente gerador de verdadeiros anéis de crescimento foi registrada em apenas um espécime da associação. Os anéis de crescimento geram-se no xilema secundário, através da regulação da atividade cambial, após um período de dormência. Hormônios e enzimas têm um papel

fundamental na indução e manutenção do crescimento e diferenciação celular, tanto macroscópica quanto microscopicamente. O Sinal hormonal mais importante é emitido pela auxina. Este hormônio se concentra nos meristemas e estimula a atividade cambial e a diferenciação e alongação dos traqueídeos. Vaartaja (1959) e Larson (1969) demonstraram que a geração dos anéis de crescimento está relacionada a ritmos endógenos associados a respostas ao foto período. A presença de anéis de crescimento constitui-se em padrão constante em zonas temperadas, em latitudes onde ocorrem ciclos climáticos com invernos rigorosos. A atividade cambial é interrompida no outono e retomada na primavera. Ainda não está bem esclarecida a importância relativa dos diferentes fatores que atuam na geração dos anéis de crescimento. Schweingruber (1996) considera que o crescimento das árvores é influenciado por fatores genéticos, bióticos (envelhecimento, sensibilidade dos anéis de crescimento) e abióticos. Os anéis de crescimento apresentados pelos espécimes analisados são espessos e o lenho inicial amplo. Este fator está relacionado a condições favoráveis vigentes durante grande parte do ciclo estacional.

A geração das fraturas com orientação radial evidenciáveis em seções transversais ocorreu antes do início do processo de silicificação. Sua origem pode estar relacionada a processos ocorrentes durante a vida da planta ou *post mortem* e não tem relação genética com atividades de predação e decomposição. Processos de tensão ou ressecamento durante o ciclo de vida das plantas também geram tais fissuras (Schweingruber 2007). Essas feições têm sido relacionadas em plantas vivas como consequência de teores insuficientes de água circulante no caule, causado por secas de verão. Bolzon *et al* (2004) refere à presença de tais fraturas em estágios *post mortem* em lenhos atuais.

## DISCUSSÃO

Na associação de lenhos gimnospérmicos aqui analisada, a dominância absoluta de espécimes com padrões de contorno circulares dos traqueídeos (xilotipo 1) em relação ao padrão quadrangular de contorno quadrados (xilotipo 2) poderia fornecer alguma informação a respeito de sua afinidade botânica. Dessa forma o domínio de espécimes do xilotipo 1 estaria relacionado de acordo com os critérios de Wheler e Lehman (2005) a ocorrência de lenho agathoxylon enquanto que o xilotipo 2 corresponderia a lenho podocarpacea. Todavia, a presença de ooporos nos campos de cruzamento de lenho vinculado ao xilótipo 1 com base no contorno celular, constitui parâmetro anatômico diagnóstico que impede a inferência dessa relação, pois não é característico de lenho agathoxylon.

A dominância de zonas de crescimento na associação lignoflorística indica a vigência climas sazonalmente limitados, nos quais não há invernos frios, e mesmo em períodos de seca ocorre precipitação. Dessa forma, não havendo deficiência de água em solos e limitadas flutuações hidrológicas, a maioria das espécies tende a produzir zonas de crescimento ao invés de verdadeiros anéis de crescimento. Por outro lado, em desertos e semidesertos, quando os verões são secos e quentes, interrompidos apenas por curtos períodos de chuvas, as plantas lenhosas constroem zonas de crescimento, gerando em raras ocasiões verdadeiros anéis de crescimento. Dessa forma, na amostragem analisada a presença de anéis de verdadeiros anéis de crescimento em apenas 1 espécime pode estar relacionado ao grau em que a planta reagiu a fatores ambientais. Em zonas temperadas, o plano lenhoso corresponderia a um lenho *sensitivo*, designação essa estabelecida por Douglas (1928) e Creber e Francis (1999) enquanto que os demais, segundo a mesma

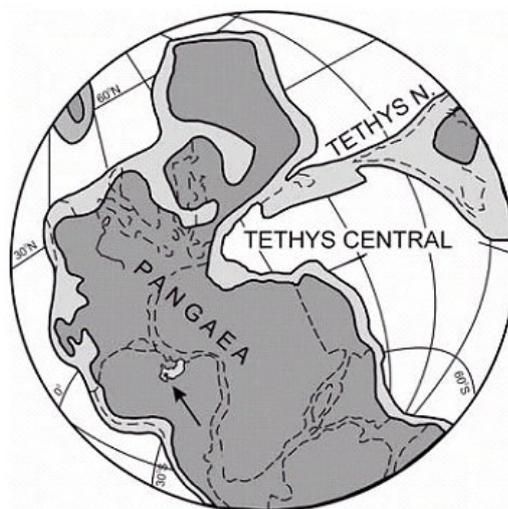
metodologia seriam formas complacentes. Todavia essa classificação não pode ser aplicada em faixas subtropicais onde as condições ambientais são muito distintas.

Embora critérios de ausência não devam ser utilizados como relevantes na inferência paleoclimática, a ausência de padrões de crescimento ininterrupto na associação, indicadores de condições ideais para o desenvolvimento da planta e vigentes atualmente em biomas tipicamente tropicais constitui-se em evidência importante.

A presença de lacunas elipsoidais orientadas radialmente associadas a zonas de crescimento pode ser explicada no presente estudo, por eventos esporádicos que ocorreram durante a vida da planta, como consequência de baixos teores de água circundante no caule, como resultado de secas durante o ciclo de crescimento. (Schweingruber, 1996).

Os dados aportados através da análise dendrológica vem ratificar resultados de análise paleoclimática já existentes, com base em dados paleontológicos. A inferência de condições de um clima úmido, já indicado claramente pela alta densidade de formas pteridofíticas arborescentes (e. g. *Psaronius*, *Tietea*) de acordo com Musa e Coimbra 1987, com freqüentes ocorrências *in situ* (Dias-Brito., *et al*), fica ratificada, porem as condições vigentes parecem típicas de Cinturão Subtropical. Dessa forma, a ocorrência dominante de lenhos gimnospermiicos com padrão de crescimento parcialmente interrompido caracterizando zonas de crescimento, restringe a ocorrência da Floresta Petrificada de Tocantins à zona climática caracterizada atualmente como Cinturão Subtropical. Esses resultados confirmam as hipóteses de Coimbra e Musa (1984) e Musa e Coimbra (1987) de que essa associação corresponderia a um elo entre as Floras Euroamericanas Tropicais e a Flora de Gondwana no Eo-Mesopermiano. Por outro lado, a presença de *Psaronius* na parte norte da Bacia do Paraná, e seu registro abundante na Floresta Petrificada de Tocantins

Setentrional, na Bacia do Parnaíba, reflete provável conexão entre essas associações florísticas no Permiano. A ocorrência de formas gimnospérmicas comuns (*Scleromedulloxylon batoviense* Guerra-Sommer 1978 e *Carolinapytis* Coimbra e Musa 1984) em ambas as bacias no mesmo intervalo estratigráfico de acordo com registro de Alves (1999) corrobora essa hipótese.



**Figura 8.** Localização da Bacia do Parnaíba no Pangea segundo Ross (1995).

**Figure 8.** Paleomap showing the location of Parnaíba Basin in the Pangea according to Ross (1995).

## CONCLUSÃO

A análise dendrológica de lenhos procedentes da Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional indicou a geração de zonas de crescimento como padrão dominante nos lenhos e secundariamente, a ocorrência de anéis de crescimento. Os padrões de crescimento lenhoso vigentes em cinturões francamente tropicais caracterizam-se eminentemente, pela homogeneidade (ausência de anéis), estando também presentes, mais raramente, padrões referentes a zonas de crescimento e anéis de crescimento. Os resultados obtidos no presente

estudo apontam, portanto, para floresta desenvolvida em Padrão Climático Subtropical, afastando a possibilidade de desenvolvimento de condições climáticas vigentes exclusivamente em Cinturão Climático Tropical.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (Org.) Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, . p.43-58.
- ALVES, L.S.R.1999. Anéis de Crescimento em lenhos fósseis como indicadores paleoclimáticos no Neopermiano da Bacia do Paraná (Fm. Irati e Serra Alta) 193 f. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ARNOLD, C.A. 1947. An introduction to paleobotany. New York: McGraw-Hill Book, 433p.
- BECK, C.N. 1953. A new root species of *Callixylon*. American Journal of Botany, 40:226-233.
- BOLZON, R. T. ; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; MACHADO, L. G. 2004. Fossildiagenese de Lenhos do Mesozóico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Paleontologia, Porto Alegre, v. 7, n. 1,
- CHALONER, W.G., CREBER, G.T. 1973. Growth rings in fossil woods as evidence of past climates. In: Tarling, D.H., Runcorn, S.K (eds.), Implications of Continental Drift to the Earth Sciences. Academic, London: 425-437.
- CHAPMAN, J.L. 1994. Distinguish internal developmental characteristics from external palaeoenvironmental effects in fossil wood. Review of Palaeobotany and Palynology, 81:19-32.
- COIMBRA, A.M. 1983. *Estudo sedimentológico e geoquímico do Permo-Triássico da Bacia do Maranhão*. São Paulo. USP. Inst. Geoc. 2v. (Tese).
- COIMBRA, A.M.; MUSSA, D. 1984. Associação lignitaflorística na Formação Pedra- de-Fogo, (Arenito Cacunda), Bacia do Maranhão – Piauí, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. *Anais...*, SBG. p. 591-605.
- CREBER, G.T. 1977. Tree-rings: a natural data storage system. *Biol. Rev.* 52, 349-383.
- CREBER, G.T. & FRANCIS, J.E. 1999. Tree ring analysis: palaeodendrochronology. In: Jones, T. & Rowe, N. (eds.) Fossil plants and spores: modern techniques. Geol. Soc. London Spec. Publ. 245-250.

- DERNBACH, U. (ed) 1996. *Petrified Forests: the world's 31 most beautiful petrified forests*. D'oro Verlag, Heppenheim. 188p.
- DIAS-BRITO, D.; ROHN, R.; CASTRO, J.C.; DIAS, R.R.; RÖSSLER, R. 2007. Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional - O mais exuberante e importante registro florístico tropical-subtropical permiano no Hemisfério Sul. *In*: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 23/01/2007 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio104/sitio104.pdf>
- DINO, R.; ANTONIOLI, L.; BRAZ, S.M.N. 2002. Palynological data from the Trisidela Member of Upper Pedra de Fogo Formation ("Upper Permian") of the Parnaíba Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 3: 24-35.
- DOUGLASS, A.E. 1928. Climatic cycles and tree growth. *Publs. Carnegie Instn.* No. 289, vol iii. Washington.
- FALCON-LANG, H.J. 1999. The Early Carboniferous (Coarceyan-Arudian) monsoonal climate of the British Isles. *Geol. Mag.*, 136:177-187.
- FALCON-LANG, H.J. 2000. A method to distinguish between woods produced by evergreen and deciduous coniferopsids on the basis of growth ring anatomy: a new tool. *Palaeontology*, 4(43):785-793.
- FARIA JR., L.E.; TRUCKENBRODT, W. 1980. Estratigrafia e Petrografia da Formação Pedra de Fogo, Permiano da Bacia do Maranhão. *An. XXXI Cong. Bras. Geol.*, v.2, p. 740-754.
- FRITTS, H.C. 1976. *Tree rings and climate*. San Francisco : Academic Press, 565p.
- FÜRST, O. 1963. Vergleichende Untersuchungen über räumliche und zeitliche Untersceide inter-annualer Jahrringbreitenschwankungen und klimatologische Auswertung. *Flora*, 153:469-508.
- GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F. 1994. Bacia do Parnaíba. *Bol. Geoc. Petrobrás*. Rio de Janeiro. 8 (1):57-67.
- GUERRA-SOMMER, M., 1978. Ocorrência do gênero nórdico de conífera no Gondwana sul brasileiro. *Pesquisas*, 10:65-76.
- LARSON, P.R., 1969. Incorporation of <sup>14</sup>C in the development walls of **Pinus resinosa** tracheids of compression and opposite woods. **TAPPI**, Atlanta, **52**(11): 2171-7.
- Lei Estadual nº 1.179, de outubro de 2000 (D. O. E. 981).
- LIMA, E.A.M. & LEITE, J.F. 1978. *Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba - Integração Geológica-Metalogenética*. Recife, Convênio DNPM - CPRM. v. I. p. 124-132. Relatório Técnico.
- MARCHIORI, J.N.C. 1996. *Dendrologia das gimnospermas*. UFSM, Santa Maria, Brasil: 158 p.
- MATTEN, L.C. & BANKS, H.P. 1967. Relationship between the Devonian progymnosperm genera *Sphenoxylon* and *Tetraxylopteris*. *Bull. Torrey Bot. Club.*, 94:321-333.
- MUSSA D. 1982. *Lignitaflores permianas da Bacia do Paraná, Brasil (Estados de São Paulo e Santa Catarina)*. 2v. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- MUSSA, D. & COIMBRA, A. M. 1987. Novas perspectivas de comparação entre as

- taffloras permianas (de lenhos) das bacias do Parnaíba e do Paraná. *An. X Cong. Bras. Paleontologia*, p. 9001-923.
- OLIVEIRA, C.M. DE. 1982. *O padrão de distribuição dos elementos traços na Formação Pedra de Fogo, Permiano da Bacia do Maranhão e seu emprego como indicador de ambientes de sedimentação*. Belém. UFPA. Centro de Geociências. 94 p. (Dissertação).
- PARRISH, J.T. 1999. *Interpreting Pre-Quaternary climate*. New York: Columbia University Press.
- PINTO, C.P.; Sad, J.H.G. 1986. Revisão da Estratigrafia da Formação Pedra de Fogo, borda sudoeste da Bacia do Parnaíba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia. *Anais...*, SBG. V. 1, p. 346-358.
- ROSS, J.R.P. 1995. Permian Bryozoa. In: Scholle, P.; Peryt, T.M; Ulmer-Scholle, D.S. (eds.): *The Permian of Northern Pangea*. Springer Verlag. New York p. 196-209.
- RÖSSLER, R. 2006. Two remarkable Permian petrified forests: correlation, comparison and significance. In: Lucas, S.G.; Cassinis, G. & Schneider, J.W. (Eds.). *Non-marine permian biostratigraphy and biochronology*. Geological Society, London, Special Publications, 265: p. 39-63.
- SANTOS, E. DE C. M.; CARVALHO M.S. S. 2004. Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. – Rio de Janeiro: CPRM. Serviço Geológico do Brasil – DIEDIG/DEPAT – 2004. 1 CD-Rom.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Stuttgart.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 2007. *Wood structure and environment*. Berlin, Springer, 279 p.
- SHULMAN, E. 1956. *Dendroclimatic changes in Semiarid America*. University of Arizona Press, Tucson.
- SCOTESE, C.R., 2002. [www.scotese.com](http://www.scotese.com) (Paleomap project).
- VAARTAJA, O. 1959. Evidence of photoperiodic ecotypes in trees. *Ecol. Monogr.* **29**, pp. 91–111.
- VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; FILHO, J.R.W.; TRAVASSOS, W.A.S. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás-* v.15,n.2-maio/Nov.2007.
- WHEELER, E.A. & T.M. LEHMAN. 2005. Cretaceous – Paleocene conifer woods from Big Bend National Park, Texas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 226: 233-258.
- WILLIS, K. J. & MCELWAIN, J. C. 2002 *The evolution of plants*. Oxford University Press.
- YAO, Z-Q; LIU, L-J & ZHANG, S. 1994. Permian wood from western Henan, China: implications for palaeoclimatological interpretations. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 80:277-290.