

INFERÊNCIAS PALEOCLIMÁTICAS EM ANÉIS DE CRESCIMENTO

*Laureen Sally da Rosa Alves
José Newton Cardoso Marchiori*

*O*s anéis de crescimento, encontrados raramente em lenhos fósseis do Devoniano Superior e do Carbonífero, tornam-se freqüentes em material do Permiano. A observação desta estrutura em formas relacionadas ao gênero *Barakaroxylon*, permite interessantes inferências sobre as condições climáticas vigentes durante a deposição das seqüências estratigráficas da Formação Irati, na região de São Gabriel, Rio Grande do Sul. O testemunho anatômico – anéis de crescimento estreitos e com largura constante – sugere, neste caso, um clima quente e relativamente seco, semelhante às atuais características climáticas de zonas mediterrâneas.

Aspectos Morfológicos

A análise dos anéis de crescimento em fragmentos lenhosos de diferentes seqüências sedimentares contribui para a caracterização de paleoambientes, para a inferência de paleoclimas locais e regionais e para o estabelecimento de parâmetros bioestratigráficos.

Os anéis de crescimento correspondem a períodos de desenvolvimento do xilema. Compostos por faixas de lenho inicial e de lenho tardio, os anéis aparecem em seção transversal como bandas claras e escuras, de ocorrência alternada em torno da circunferência das árvores (Estampa 1, Figuras 1 e 2).

A camada de células produzidas em determinado período é também denominada anel anual. O termo anel de crescimento parece contudo ser o mais adequado, pois em consequência de condições desfavoráveis, tais anéis podem faltar por completo em períodos correspondentes a um ano, ou então serem formados mais de um, durante o mesmo intervalo de tempo. Faixas de traqueídeos de tamanho menor, compondo anéis descontínuos em torno do eixo de crescimento, são denominados falsos anéis.¹ Esta alteração pode resultar de mudanças repentinas na disponibilidade de água,² da atividade irregular do câmbio ou de vários fatores ambientais.³

Os traqueídeos que compõem o anel de crescimento apresentam diferenças morfológicas, de acordo com a posição ocupada. No lenho inicial, que é menos denso, as células têm maior diâmetro e paredes mais delgadas. A espessura das paredes celulares, neste caso, depende do suprimento de carboidratos e indica o rendimento do metabolismo de síntese vegetal.⁴ No lenho tardio, ao contrário, as células são mais estreitas e as paredes mais espessas (Estampa 2, Figura 2; Estampa 4, Figura 4).

A transição entre os lenhos inicial e tardio pode ser distinta ou indistinta. Em certos casos os anéis podem parecer distintos quando observados macroscopicamente e mesmo assim resultarem indistintos em análise microscópica. Barefoot & Hankins referem esta última alternativa para zonas temperadas de baixa latitude.⁵

Em determinadas camadas de crescimento a transição pode ser gradual, quase imperceptível. No local em que o lenho tardio entra em contato com o lenho inicial do anel seguinte, entretanto, a transição mostra-se sempre abrupta⁶ (Estampa 2, Figura 2; Estampa 3, Figura 3). A duração da atividade cambial e o tipo de lenho inicial ou tardio são afetados por diversos fatores ambientais (Figura 1).

¹ MAYER, L. M. Aspectos paleoclimáticos refletidos em espécimes lenhosos gondwânicos do Brasil. *Bol. I. G., USP*, Publ. Esp., 7. p. 89-99, 1989.

² RAVEN, P. H., EVERT, R. F., CURTIS, H. *Biologia Vegetal*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1978.

³ FAHN, A. *Anatomia Vegetal*. Madrid: H. Blume, 1974.

⁴ LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1986.

⁵ BAREFOOT, A. C., HANKINS, F. W. *Identification of Modern and Tertiary Woods*. Oxford: Clarendon, 1982.

⁶ RAVEN, P. H. et al. Op. cit.

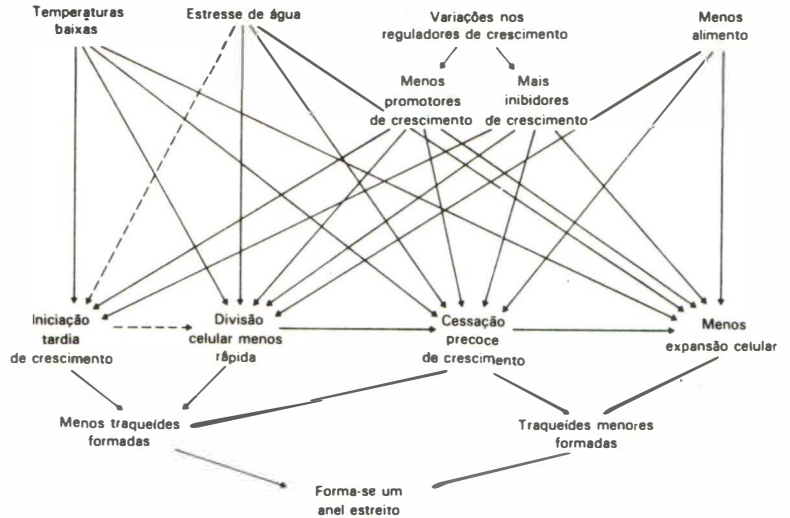


Figura 1: Relações causais entre condições ambientais, fatores endógenos e a formação de anéis de crescimento (Fritts, 1976. In: LARCHER, W., Op. cit.).

⁷ BRADLEY, R. S. Dendroclimatology. In: BRADLEY, R. S. ed. *Quaternary paleoclimatology; methods of paleoclimatic reconstruction*. London: Butter e Tanner, 1985. p. 303-379.

⁸ CREBER, G. T. Tree rings: a natural data-storage system. *Biological Review*, Cambridge, v. 52, p. 349-383, 1977.

⁹ LARCHER, W. Op. cit.

¹⁰ CREBER, G. T. & CHALONER, W. G. Climatic indications from growth rings in fossil woods. In: BRENCHLEY, P. J. ed. *Fossils and climate*. Liverpool: John Wiley & Sons. 1984. p. 49-74.

A espessura dos anéis de crescimento varia amplamente, havendo diversos fatores que influenciam na espessura e presença dos mesmos, tais como: radiação, temperatura, disponibilidade de nutrientes, suprimento de água e duração do fotoperíodo.⁷ Observa-se que a largura dos anéis de crescimento pode ser um bom recurso para a avaliação da precipitação ocorrida em determinado período, pois em condições favoráveis os anéis de crescimento apresentam-se largos e sob condições desfavoráveis são mais estreitos. A utilização de anéis de crescimento, desta forma, tem se mostrado útil para estudos dendroclimáticos.⁸

As plantas lenhosas de zona temperada formam apenas um anel de crescimento por ano, sendo que o mesmo é composto de zonas histologicamente distintas correspondentes ao crescimento na primavera e final do verão, respectivamente.⁹ A distinção destes lenhos deve-se à paralisação da atividade do câmbio vascular com a chegada do inverno.¹⁰ Existem, contudo, plantas em que o câmbio é ativo durante todo o ano e outras em que a atividade cambial cessa durante alguns meses. Kramer & Kozlowski, por outro lado, afirmam que mesmo em climas mais favoráveis ao

¹¹ KRAMER, P. J. & KOZ-
LOWSKI, T. *Fisiologia das árvo-
res*. Lisboa: Fundação Calouste
Gulbenkian, 1972.

¹² FAHN, A. Op. cit.

¹³ MENDES, J. C. *Paleontologia
Básica*. São Paulo: T. A. Quei-
roz/EDUSP, 1988.

¹⁴ GUERRA SOMMER, M.
Danudoxylon (Maheshwari)
Maheshwari, 1972, um gênero
ocorrente no Gondwana do
Brasil. *Pesquisas*, Porto Alegre,
n. 7, p. 131-144, 1977.

¹⁵ GUERRA, M. Uma nova ma-
deira petrificada na Formação
Irati do Rio Grande do Sul.
Ameghiniana, Buenos Aires, v.
13, n.3-4, p. 254-267, 1976.

¹⁶ MONTEIRO, S. M. *Contribui-
ção ao Estudo Paleoxilológico
da Formação Irati no Rio Gran-
de do Sul*. Curso de Pós-Gradua-
ção em Geociências. Disserta-
ção (Mestrado em Geociên-
cias). Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, 1979.

¹⁷ COSTA, R. H. C. *Madeiras
Gimnospérmicas da Formação
Irati no Rio Grande do Sul –
Contribuição ao estudo anatô-
mico e paleoecológico*. Porto
Alegre: Curso de Pós-Gradua-
ção em Geociências. Disserta-
ção (Mestrado em Geociên-
cias), Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, 1981.

¹⁸ MENDES, J. C. Op. cit.

crescimento das árvores, este não é contínuo durante todo o ano.¹¹

Em Israel o ritmo endógeno de crescimento persiste em troncos das espécies de *Eucalyptus*, sendo que este se sobrepõe à influência dos fatores externos. Em *Eucalyptus camaldulensis* o anel de crescimento anual é produzido em setembro, no mesmo período que corresponde à primavera da Austrália, de onde a planta é nativa.¹²

Em regiões áridas, a quantidade de água disponível no solo é um fator importante no controle da atividade cambial, podendo limitar o crescimento do caule, levar à formação de anéis de crescimento muito estreitos ou até mesmo a sua inexistência (Figura 1). A ausência de anéis de crescimento é mais comum em áreas de clima sem estações definidas.

Ocorrência de Anéis de Crescimento em Lenhos Fósseis

Os lenhos fósseis ocorrentes no Devoniano Superior e no Carbonífero normalmente não evidenciam anéis, ou os tem pouco perceptíveis.¹³ Este aspecto contrasta com a presença frequente e comumente bem definida do caráter, nos lenhos do Permiano.

A ocorrência de anéis de crescimento na maioria dos lenhos gonduânicos pode indicar variações climáticas cíclicas, entretanto, a formação de anéis de crescimento nem sempre é uma resposta direta ao clima de determinada região.¹⁴

Guerra, no entanto, atribuiu a presença de anéis de crescimento no xilema secundário das madeiras fósseis provenientes do afloramento Passo São Borja, à variação climática cíclica verificada na área.¹⁵

A presença nítida de anéis de crescimento em troncos fósseis da Formação Irati demonstra a ocorrência de periodicidade climática,¹⁶ ao passo que a presença de lenhos picnoxílicos indicam adaptações a climas de temperado até frio.¹⁷ Ao examinar a ocorrência de anéis de crescimento nos lenhos gonduânicos, Mendes verificou que estes são bem definidos, o que é uma situação incompatível com o clima tropical.¹⁸

A análise de amostras de lenho proveniente de diversos afloramentos da Formação Rio Bonito, em Santa Catarina, levada a efeito por Mayer, permite outras inferências sobre o assunto. A autora observa que a região sudeste do Brasil, (Bacia do Paraná) estava posicionada à latitude de 65° S no Paleozóico Superior, passando a 40° S - 50° S no Permiano Superior (Figura 2), durante a deposição do Grupo Passa

Dois. O clima teria, portanto, variado desde o glacial, durante a deposição da Formação Itararé, passando a temperado durante a gênese dos carvões da Formação Rio Bonito, e até cálido, com aridez sazonal, ao término do Permiano, quando da formação dos calcários do Grupo Passa Dois. Assim, a análise dos aspectos anatômicos dos lenhos gimnospérmicos conduânicos, principalmente dos anéis de crescimento, refletem condições paleoclimáticas, fato este constatado com base no desenvolvimento lenhoso e em parâmetros de sensibilidade anual e sensibilidade média dos anéis de crescimento estudados.¹⁹

¹⁹ MAYER, L. M. Op. cit.

²⁰ GUERRA, M. Presença do Gênero *Polysolenoxylon* na Formação Irati do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, 1, Tucumán, 1974. *Actas*. Tucumán, UNT/APA, v. 1, p. 371-400, 1975.

MUSSA, D. *Lignitaefloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil (Estados de São Paulo e Santa Catarina)*. São Paulo, Curso de Pós-Graduação em Geociências. 2 v. (Tese Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1982.

²¹ KULKARNI, S.; MAITHY, P. K.; SURANGE, K. R. On *Barakaroxylon jhariense*. *The Palaeobotanist*, Lucknow, v. 18, n. 3 p. 305-308, 1970.

²² ALVES, L. S. R. *Integração entre a lignoflora e a palinologia no afloramento Passo São Borja (Formação Irati – Bacia do Paraná)*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

²³ SCHRAGE, C. *Barakaroxylon brasiliense, sp. nov. Madeira fóssil da Formação Irati do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1973.

²⁴ MONTEIRO, S. M. Op. cit.

Inferências Paleoclimáticas no Gênero *Barakaroxylon*

A ocorrência de anéis de crescimento é característica comum na estrutura anatômica de troncos fósseis da Formação Irati, em toda extensão da Bacia do Paraná.²⁰

A observação de anéis de crescimento em formas relacionadas ao gênero *Barakaroxylon* (Surange e Maithy) Kulkarni, Maithy e Surange, 1970,²¹ ocorrentes na Formação Irati da região de São Gabriel – Rio Grande do Sul (Figura 3), permite a formulação de interessantes inferências sobre as condições climáticas vigentes durante a deposição das seqüências estratigráficas envolvidas.

A principal peculiaridade dos anéis de crescimento de *Barakaroxylon resiniferum* (Guerra) Alves, 1994,²² é a ocorrência de um estreito lenho tardio, composto geralmente por uma a quatro células (Estampa 2, Figura 2; Estampa 3, Figura 2), o que contrasta com o largo lenho inicial, composto por 55 até 92 células (Estampa 2, Figura 1) (Figura 4).

Em *Barakaroxylon brasiliense* Schrage,²³ 1973 e *Barakaroxylon guerrae* Monteiro, 1979,²⁴ observa-se uma constância na largura do lenho tardio, oscilando entre 1 e 8 células (Estampa 4, Figuras 1, 2 e 3). O lenho inicial de *Barakaroxylon guerrae* apresenta-se bastante largo, com 100 a 150 células de largura; para *Barakaroxylon brasiliense* Schrage, 1973, não são feitas referências quanto ao número de células do lenho inicial.

Os limites de anel de crescimento em *Barakaroxylon resiniferum* são bem nítidos, fato também observado em *Barakaroxylon brasiliense* e *Barakaroxylon guerrae* (Estampa 3, Figuras 1, 2 e 3; Estampa 4, Figuras 1, 2 e 3). Em determinados anéis nota-se que a transição do lenho inicial para o lenho tardio é gradual, sendo o limite entre anéis invariavelmente abrupto (Estampa 3, Figura 3; Estampa 4, Figura 4).

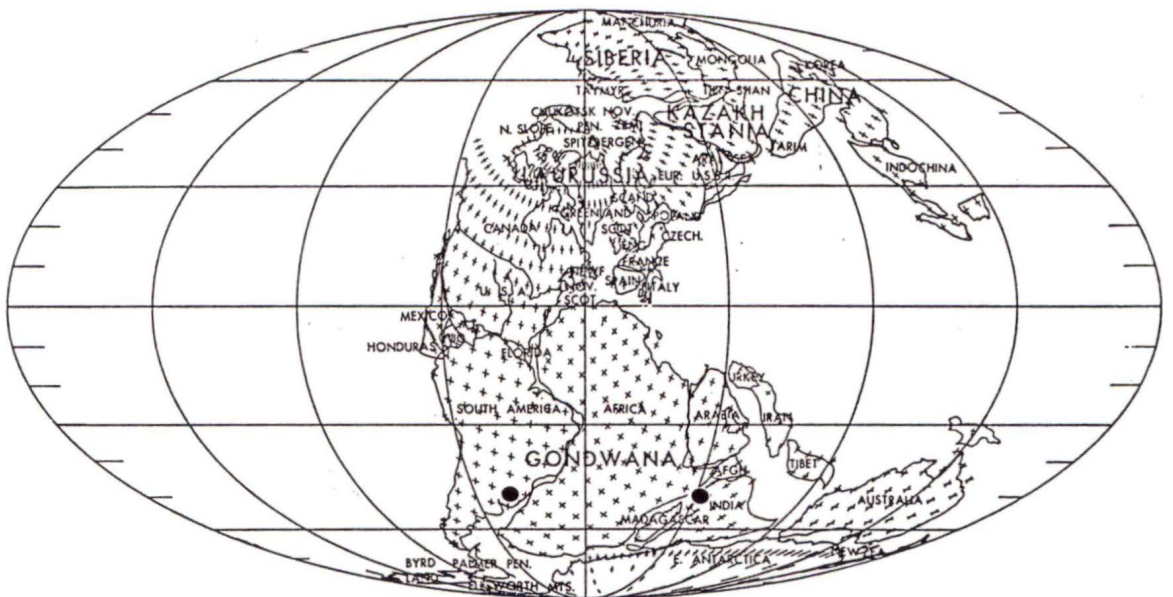


Figura 2: Paleogeografia do Permiano Superior (Kazaniano). Projeção de Mollweide. Áreas de ocorrência do gênero *Barakaroxylon* no Gondwana (SCOTESE, C. R. et al. Paleozoic Base Maps, *The Journal of Geology*, v. 87, n. 3, p. 217-277, 1971. modificado).

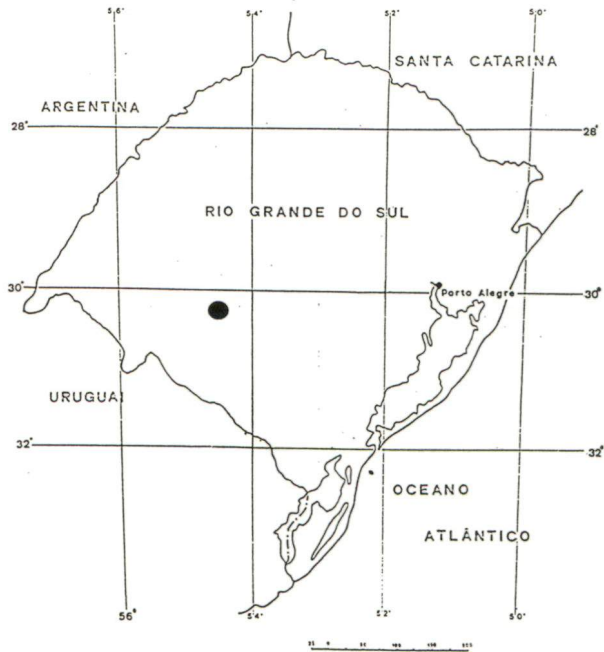


Figura 3: Mapa de localização do afloramento Passo São Borja (Hessel,²⁵ modificado).

²⁵ HESSEL, M. H. *Bageopitys articulata*, gen. et sp. nov., de madeira fóssil de gimnosperma da Formação Irati no Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1973.

Espécie		<i>Barakaroxylon resiniferum</i> (Guerra) Alves, 1994	<i>Barakaroxylon brasiliense</i> Schrage, 1973	<i>Barakaroxylon guerrae</i> Monteiro, 1979
Característica				
Nº cél. lenho inicial		55 a 92 0,38-1,27 mm		100 a 150 3,5-5,5 mm
Nº cél. lenho tardio		1 a 4	1 a 5	4 a 8
Passag. lenho inicial-tardio		delimitado	delimitado	delimitado
T R A Q U E Í D E O S	Diam. radial	I 21 µm/42 µm F 12,25 µm-31,5 µm	I 25 µm-40 µm F 10 µm-15 µm	I 25 µm-37 µm F 6 µm-25 µm
	Diam. tangenc.	I 21 µm-56 µm F 5,2 µm-21 µm	I 20 µm-30 µm F 18 µm-25 µm	I 31 µm-43 µm F 31 µm-37 µm
	Par. radial	I 1,7 µm-5,25 µm F 0,3 µm-1,7 µm	25 µm	I 1 µm-2 µm F 3 µm
	Par. tangenc.	I 1,7 µm-3,5 µm F 0,3 µm-3,5 µm	2,5 µm	I 1 µm-2 µm F 2 µm-3 µm
	Resinas	sim		
Nº de anéis/cm		8 a 10		9 a 10

Figura 4: Comparação anatômica dos anéis de crescimento no gênero *Barakaroxylon* (Surange e Maithy) Kulkarni, Maithy e Surange, 1970 ocorrente no Rio Grande do Sul.²⁶

²⁶ ALVES, L. S. R. Op. cit.

A observação de 8 a 10 anéis de crescimento por centímetro, verificada em *Barakaroxylon resiniferum* e *Barakaroxylon guerrae*, indica para os mesmos um ritmo lento de crescimento. Após um longo período de repouso vegetativo, a reativação do câmbio vascular ocorria provavelmente em uma primavera fresca e úmida. Com a falta de suficiente umidade, produzia-se a seguir um estreito lenho tardio, cessando totalmente o crescimento com a chegada dos dias curtos de outono. A alternância regular de estações secas e úmidas ocasionou anéis de crescimento de largura constante. A ausência de falsos anéis justifica-se pela presença de estações bem definidas, regulares e bem marcadas.

Mayer e Volkheimer consideram que durante o Permiano a região do Gondwana situava-se entre 40° S – 50° S.²⁷ Refutando os autores que propõem latitudes de 60° a 70° S, a primeira autora observa que as *Gymnospermae* não ocorrem atualmente em latitudes tão altas, mas de 35° a no máximo 55°.

Estabelecendo-se uma comparação com climas e latitudes atuais, observa-se uma certa semelhança com a região do Mediterrâneo. O clima dito mediterrâneo alcança atualmente latitudes de 30° a 45° N e S, ocorrendo na zona central e meridional da Califórnia, zonas costeiras do Mediterrâneo, costa oeste e sul da Austrália, no Chile central e sul da África. Ressalta-se que os climas mediterrâneos podem ser semi-áridos, sub-úmidos e úmidos, apresentando um verão seco e inverno chuvoso. A temperatura é moderada, sendo quente no verão e amena no inverno. A umidade das massas de ar invadem o inverno com ciclones e tempestades produzindo ampla precipitação pluvial. No verão, ao contrário, as altas pressões subtropicais impõem uma aridez verdadeiramente desértica.²⁸ Demangeot considera que estas alternâncias de estações são as mais contrastantes do mundo.²⁹

A avaliação dos anéis de crescimento de espécies pertencentes ao gênero *Barakaroxylon* (Surange e Maithy), Kulkarni, Maithy e Surange, 1970, permite inferir que as três espécies analisadas teriam se desenvolvido em uma região climática semelhante ao atual Mediterrâneo. Pode-se concluir, ainda, que durante a deposição das seqüências relacionadas à Formação Irati na região de São Gabriel devem ter ocorrido estações climáticas bem marcadas, com poucas variações entre anos consecutivos. A estrutura dos anéis de crescimento sugere um clima quente e relativamente seco, pois anéis de crescimento estreitos denunciam condições climáticas desfavoráveis quanto à disponibilidade hídrica.

²⁷ MAYER, L. M. Op. cit. VOLKHEIMER, W. Paleoclimatic evolution in Argentina and relations with other regions of Gondwana. In: IUGS Symposium Gondwana Stratigraphy, Buenos Aires, 1967. *Annals...* Paris, Unesco. p. 551-587, 1969.

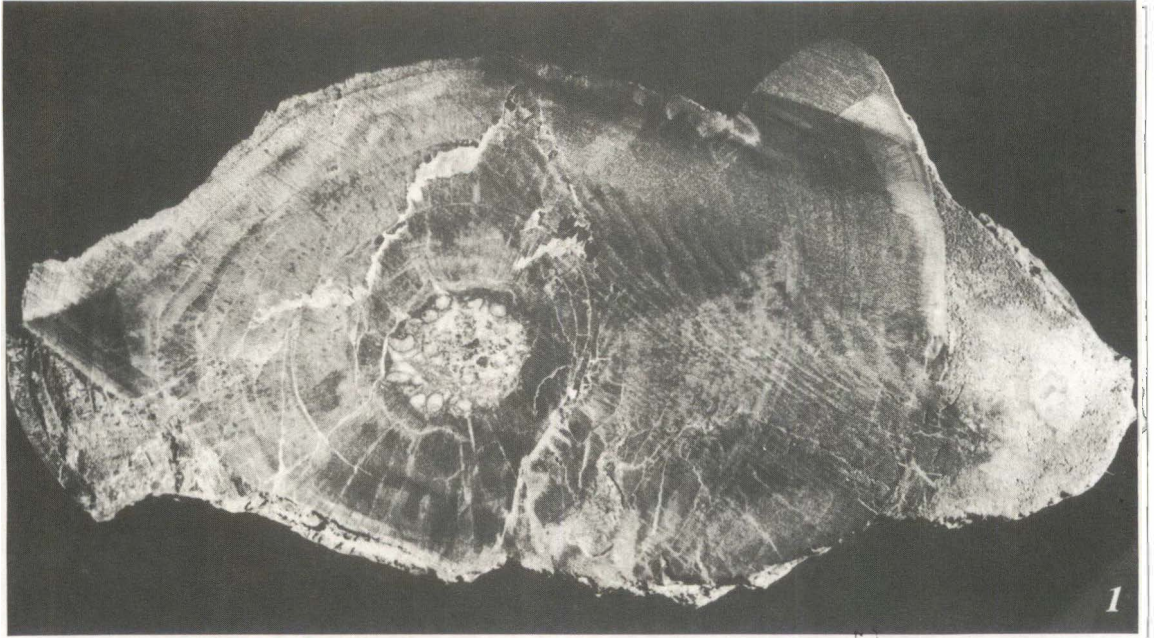
²⁸ STRAHLER, A. N., STRAHLER, A. H. *Elements of Physical Geography*. Nova Iorque, 1989.

²⁹ DEMANGEOT, J. *Les milieux "naturels" du globe*. Paris, 1987.

* Laureen Sally da Rosa Alves é Mestre em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. José Newton C. Marchiori é professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

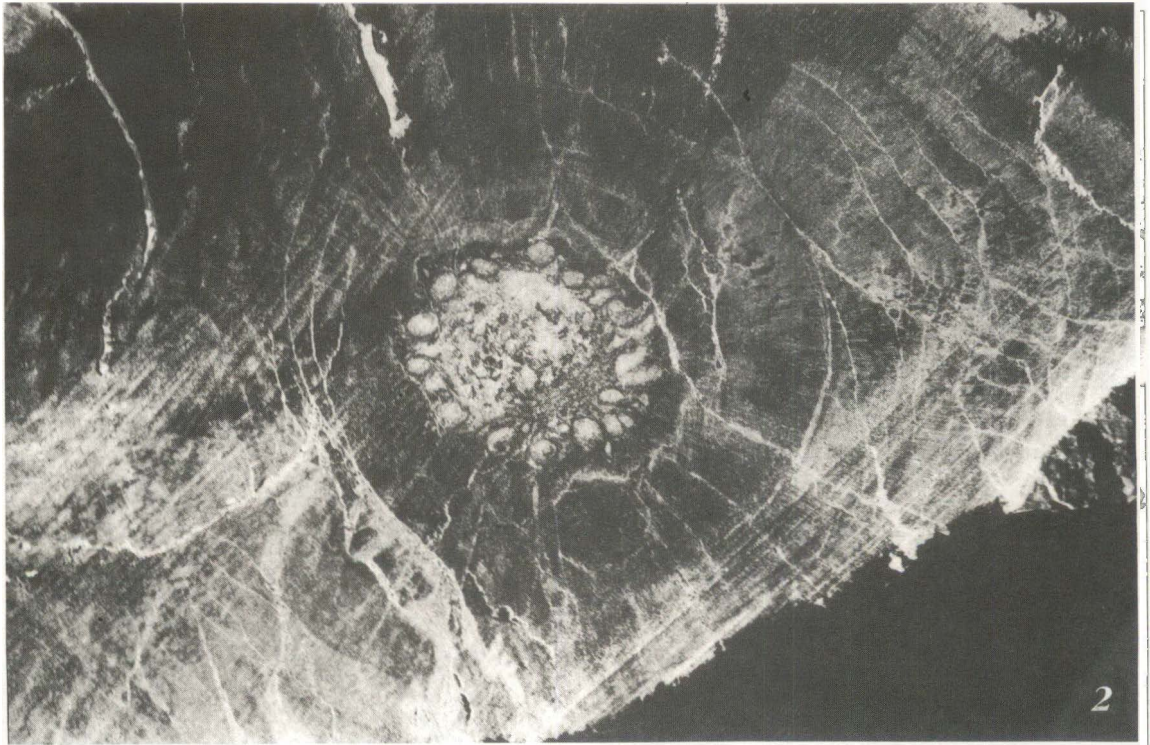
ESTAMPA 1

Barakaroxyton resiniferum (Guerra) Alves, 1994



0,8cm

Superfície polida de seção transversal mostrando canais secretores centrais e periféricos e o xilema secundário com anéis de crescimento.



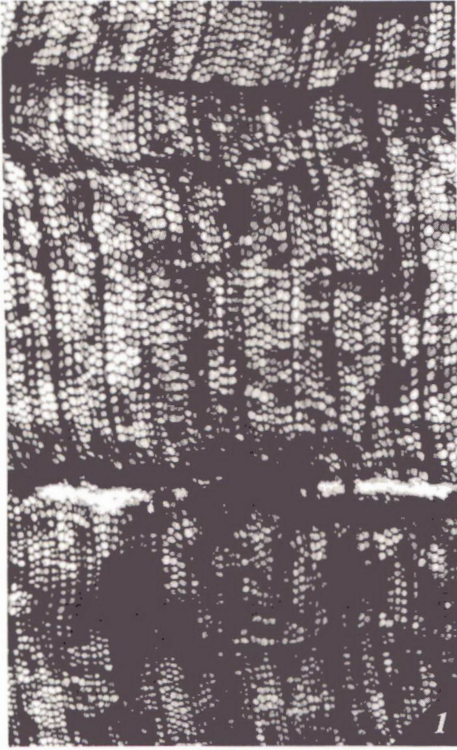
0,4cm

Detalhe da figura anterior.

ESTAMPA 2

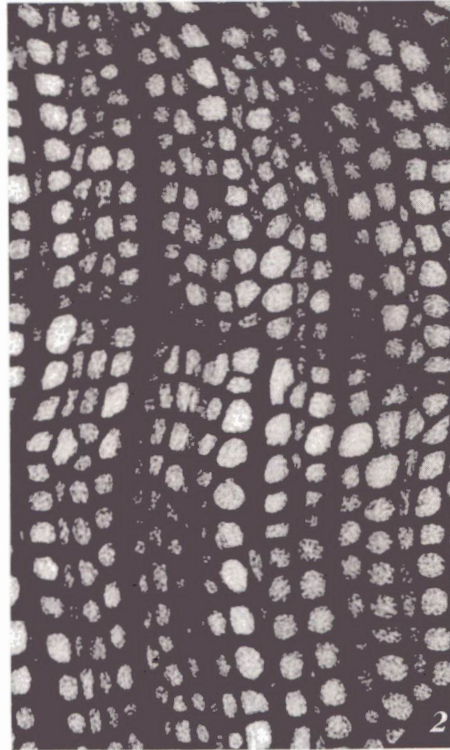
Barakaroxylon resiniferum (Guerra) Alves, 1994

Seção transversal do xilema secundário mostrando os limites de um anel de crescimento evidenciando compactação.



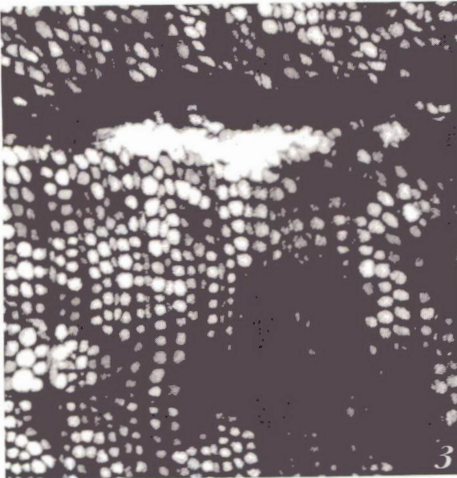
191 μ m

Detalhe, em seção transversal, de um anel de crescimento mostrando o estreito lenho tardio e raios lenhosos que evidenciam a torção do xilema secundário.



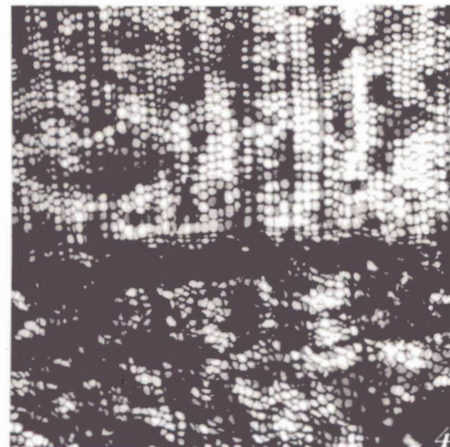
77 μ m

Detalhe, em seção transversal, evidenciando anel de crescimento, torção do xilema secundário e maciços celulares de traqueídeos resultantes de compressão.



92 μ m

Aspecto geral, em seção transversal, evidenciando xilema secundário, anel de crescimento próximo à maciços de traqueídeos resultantes de compressão (indicado pela seta).



191 μ m

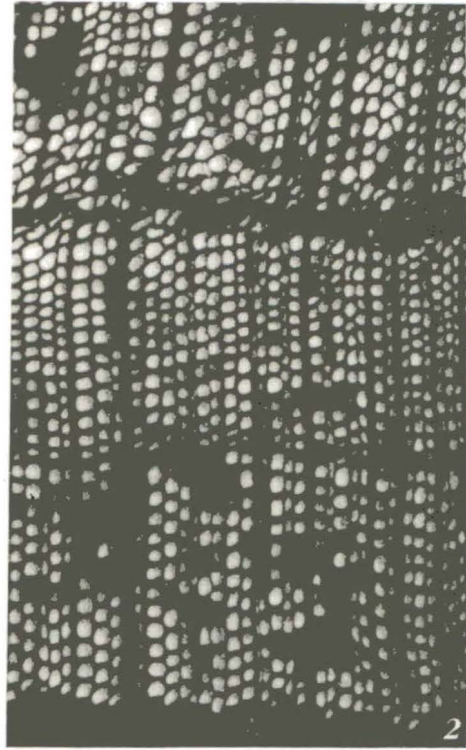
ESTAMPA 3

Seção transversal de *Barakaroxylon brasiliense* Schrage, 1973 mostrando o limite entre os lenhos inicial e tardio.



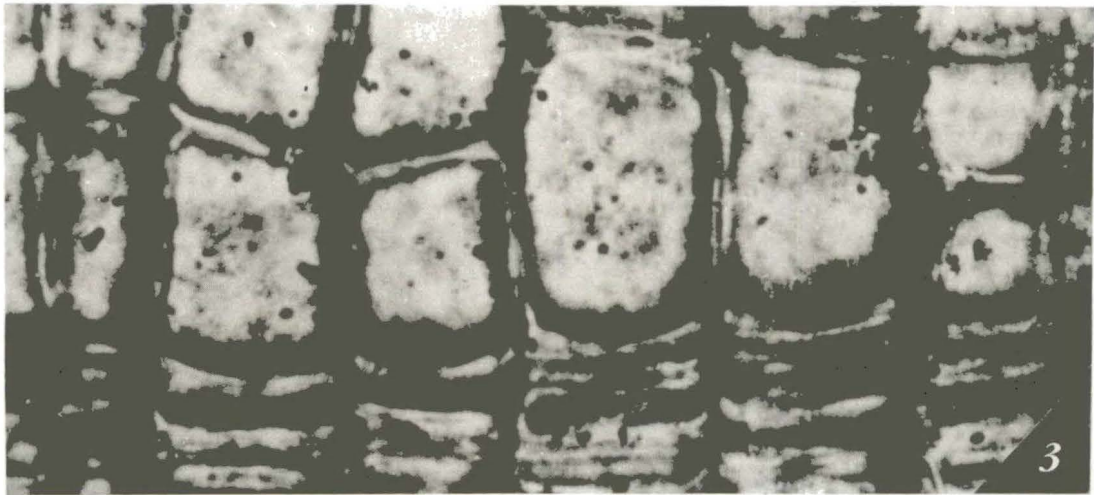
100µm

Seção transversal de *Barakaroxylon resiniferum* (Guerra) Alves, 1994 evidenciando o limite de anel de crescimento e raios lenhosos.



92µm

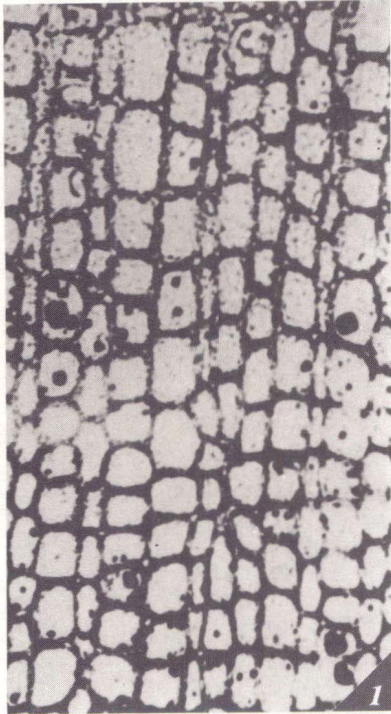
Detalhe, em seção transversal, de um anel de crescimento de *Barakaroxylon guerrae* Monteiro, 1979, salientando a passagem brusca do lenho inicial para o lenho tardio.



20µm

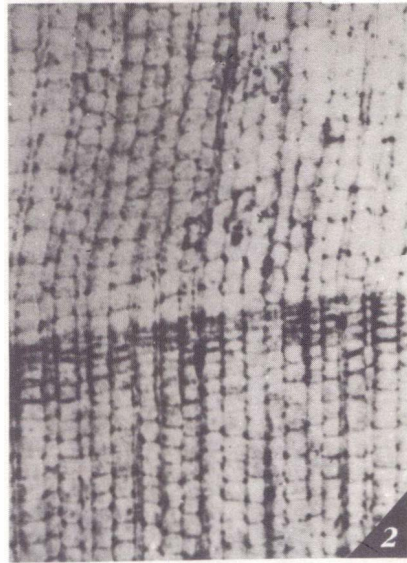
ESTAMPA 4

Seção transversal de *Barakaroxylon brasiliense* Schrage, 1973, mostrando o limite entre os lenhos inicial e tardio.



50µm

Aspecto geral, em seção transversal, de *Barakaroxylon guerrae* Monteiro, 1979, do xilema secundário. evidenciando-se um anel de crescimento.



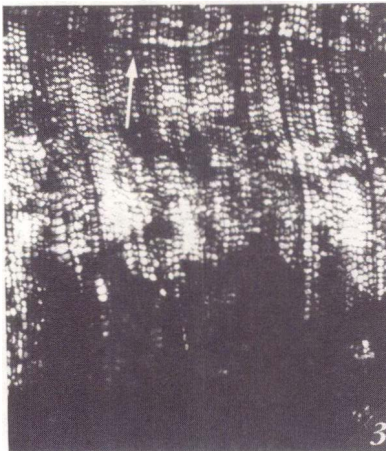
155µm

Seção transversal do xilema secundário de *Barakaroxylon guerrae* Monteiro, 1979, destacando-se um anel de crescimento e um raio lenhoso separando as fibra-traqueídeos.



18µm

Seção transversal de *Barakaroxylon resiniferum* (Guerra) Alves, 1994 mostrando o limite de anel de crescimento e tecido de cicatrização em torno da mácula medular.



191µm