

IPEF n.26, p.31-36, abr.1984

Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*

LUIZ ROBERTO TROVATI

Professor assistente da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / UNESP.

EPAMINONDAS S. B. FERRAZ

Professor Adjunto do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ e Pesquisador do CENA/USP

RESUMO - Foram feitas medições da densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa* Schied em plantações localizadas na região central do Estado de São Paulo, durante o período 1963-1977. Os índices máximos de densidade foram utilizados como variáveis dependentes em análise de correlação via autovetores com dados de precipitação e temperatura. As funções das variáveis foram calculadas e as relações mostraram alta dependência do índice máximo de densidade com as condições climáticas do verão-outono.

ABSTRACT - Measurement of tree-rings density of *Pinus oocarpa* Schied growth in the central region of São Paulo were obtained for the period 1963-1977. The maximum density indexes were used as dependent variables in correlation analysis with eigenvectors of precipitation and temperature. Response functions of the variables were calculated and the relationships showed a high dependence on the maximum density indexes with summer-autumn climatic conditions.

INTRODUÇÃO

As inter-relações entre os anéis de crescimento e o clima, tem sido estudadas principalmente à luz das variações de largura e densidade que ocorrem nos anéis, de um ano para outro. As variações nas camadas anuais de crescimento podem ser análogas, em muitas árvores de uma dada região, indicando que o mesmo conjunto comum de fatores externos influenciam no crescimento. Assim, as similaridades nas variações do crescimento podem ser fortes e especialmente extensivas. Onde isto é verdade, é razoável assumir que os agentes externos que forçam o padrão de variabilidade comum nas árvores de uma região relacionam-se com o clima. Portanto, torna-se possível extrair os registros das variáveis climáticas gravadas nos anéis de crescimento. Esta é a hipótese básica da dendroclimatologia.

O presente trabalho é parte de uma investigação dendroclimática realizada com árvores de *Pinus oocarpa* Schiede crescidas na região central do Estado de São Paulo, para as quais procederam-se análises quantitativas objetivando-se estimar a influência dos fatores climáticos na densidade dos anéis de crescimento (TROVATI, 1982).

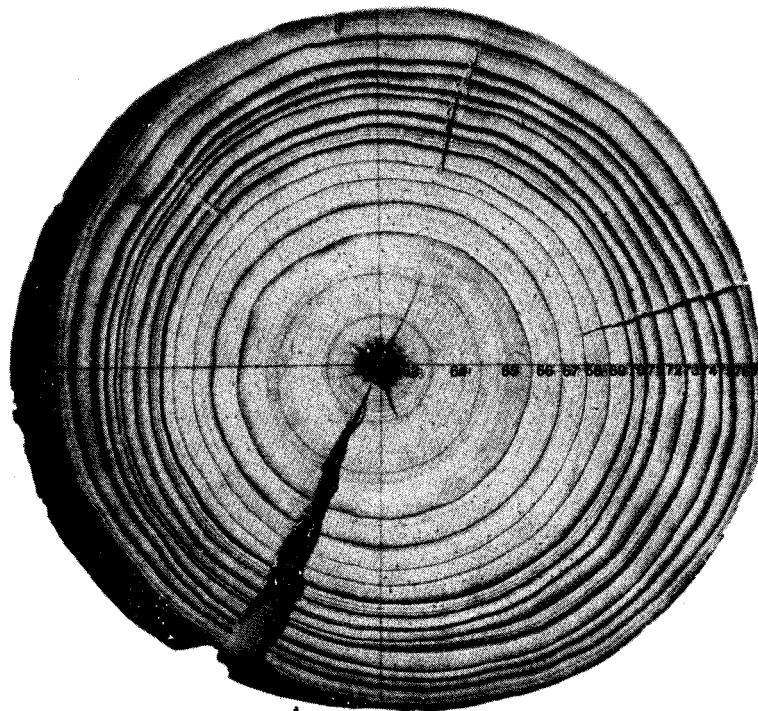
MATERIAL E METODO

O material utilizado foi de um povoamento de *Pinus oocarpa*, Schiede instalado em outubro de 1961, em espaçamento 2,0 x 2,0 metros, na Cafma - Companhia Agro-Florestal Monte Alegre município de Agudos -SP., a 48°50' de longitude e 22°50' de latitude sul. O solo é profundo, poroso e bem drenado, classificado como latossol vermelho amarelo fase arenosa. O clima, segundo o sistema Köppen, é o tipo CW A com médias anuais próximas a 1330 mm de precipitação e 21°C de temperatura.

No final do mês de setembro de 1978, as árvores foram abatidas e tinham em média 25 metros de altura e diâmetro (DAP) variável entre 17,5 e 29,5 cm. Normalmente, esse é o mês no qual iniciam-se as primeiras atividades meristemáticas da nova estação de crescimento. A amostragem foi conduzida através de classes de diâmetro para que o número de árvores amostradas representasse todo povoamento. As amostras foram constituídas de secções transversais (cilindros com 16 cm de altura).

Após uma prévia secagem, os discos foram torneados e lixados de forma a se assegurar o critério de faces planas e paralelas. As amostras então, padronizadas em 3,5 cm de espessura e características de superfícies homogeneamente planas e paralelas, foram climatizadas em laboratório com umidade relativa e temperatura constante de $55 \pm 5\%$ e 20 °C. Essa climatização é exigida porque a madeira é altamente hidrocópica e sua umidade de equilíbrio residual é facilmente alterada pelas variações ambientais, além de que as medidas de atenuação das radiações são fortemente afetadas pelo conteúdo de umidade nas fibras da madeira (FERRAZ, 1983).

FIGURA 1: Corte transversal de uma amostra de *Pinus oocarpa* (D.A.P.), apresentando a datação dos anéis e os raios marcados para avaliação da densidade, nas camadas de 1970, 1973 e 1977 podem ser observados alguns dos falsos anéis.



A datação dos anéis de crescimento foi realizada no sentido casca-medula, com as amostras apresentando quinze camadas anuais de crescimento visivelmente distintas, conforme mostra a Figura 1. Adotou-se como referencial para o processo de datação dos anéis, o ano correspondente a estação de crescimento a que eles pertenciam. Portanto conforme ilustra a Figura 1, o último lenho formado foi datado como lenho tardio de 1977, pois é resultante da camada de crescimento anual que se iniciou em 1977, apesar de ter sido formado no outono-inverno de 1978 pelo calendário civil.

Através da técnica de atenuação da radiação gama, S41AM, descrita por Ferraz (1976), foram obtidos os perfis radiais de densidade. Para cada disco as determinações de densidade foram feitas de milímetro em milímetro, em quatro raios previamente marcados. A Figura 2.A, mostra um exemplo do perfil radial de densidade. O trecho segmentado próximo à medula foi desprezado para todas as amostras, pois nessa região elas apresentavam uma estrutura parenquimatosa, não lignificada. Por esta razão a cronologia do perfil de densidade ficou considerada a partir da transição do lenho inicial para o tardio de 1963.

Uma vez que os perfis de densidade apresentaram uma tendência crescente com o aumento de idade das árvores, tornou-se necessário remover esta influência a fim de se poder relatar corretamente as flutuações de densidade em relação às variações climáticas. O procedimento capaz de estimar e remover as tendências associadas ao aumento de idade das árvores é chamado estandardização. O principal objetivo da estandardização é eliminar das séries os sinais não climáticos, sinais ligados as tendências biológicas do crescimento e outras. Isto foi realizado, pelo ajustamento computado de uma linha ou curva de regressão sobre a série de dados de cada raio, via polinômios ortogonais e o valor dos dados foi dividido pelo correspondente valor na curva ajustada, obtendo-se assim a série estandardizada ou índices de densidade, Figura 2.B. Os detalhes deste processo, suas vantagens, problemas e as diversas formas de ajuste de curvas foram bem situados por FRITTS (1976) e GRA YBILL (1982).

Das séries de índices de densidade estandardizadas pelo ajustamento linear (polinômios de 1º grau) , tirou-se a média aritmética dos respectivos valores de máxima e mínima densidade para se obter a cronologia média (média dos índices estandardizados), Figura 3. A média de todas as árvores proporciona uma melhor relação com o clima, porque a variação do crescimento que é associada com a variação climática, a qual é comum em todas as árvores, é preservada quando tais médias são feitas. Por outro lado, uma grande parte dos efeitos não climáticos, os quais diferem entre indivíduos e de um local para outro, é minimizado pelo, processo da média. Desta forma a relação sinal (fatores-climáticos) - ruído (fatores não climáticos) pode ser maximizada, FRITTS (1976).

FIGURA 2: A) Perfil de densidade de um dos raios, com a curva de crescimento ajustada
B) Índice de densidade estandardizados a 2.A, com a cronologia dos anéis de crescimento

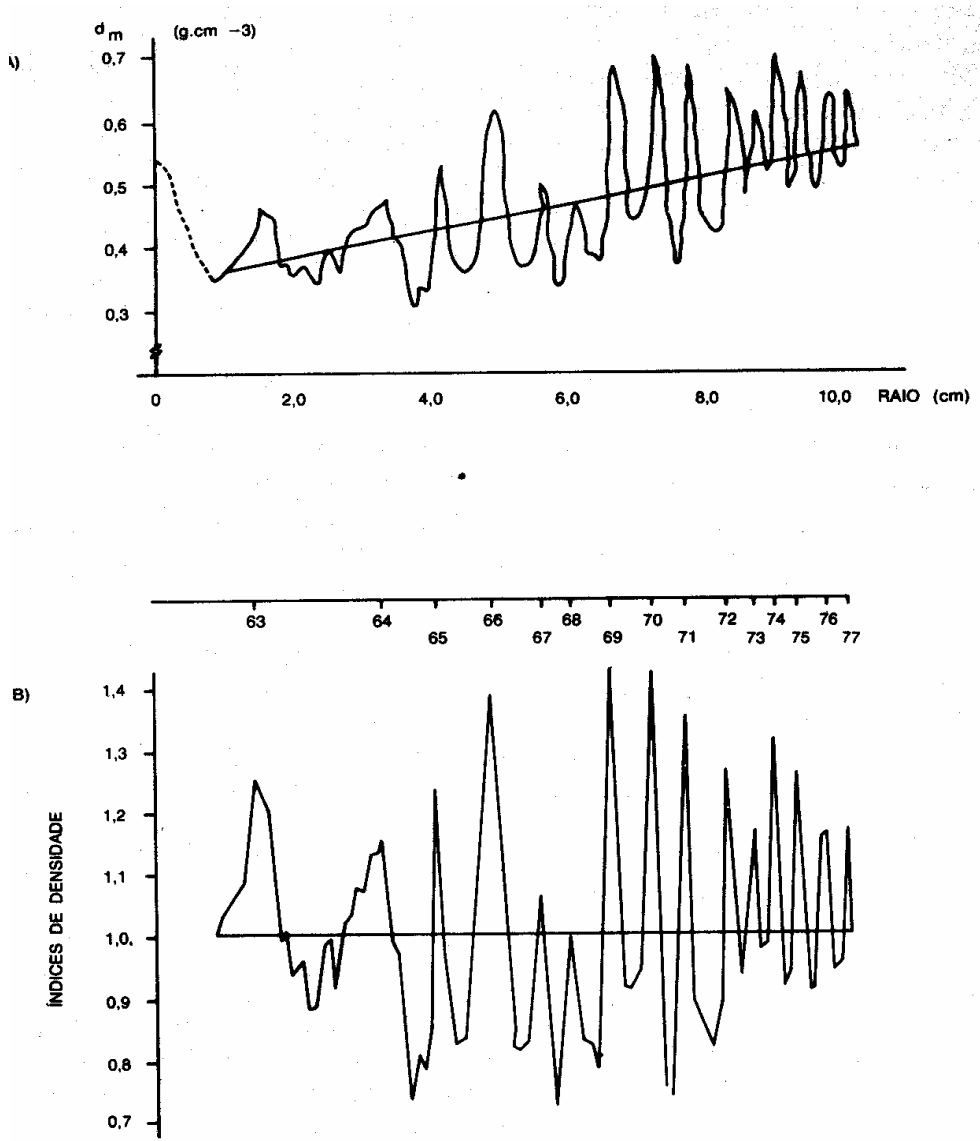
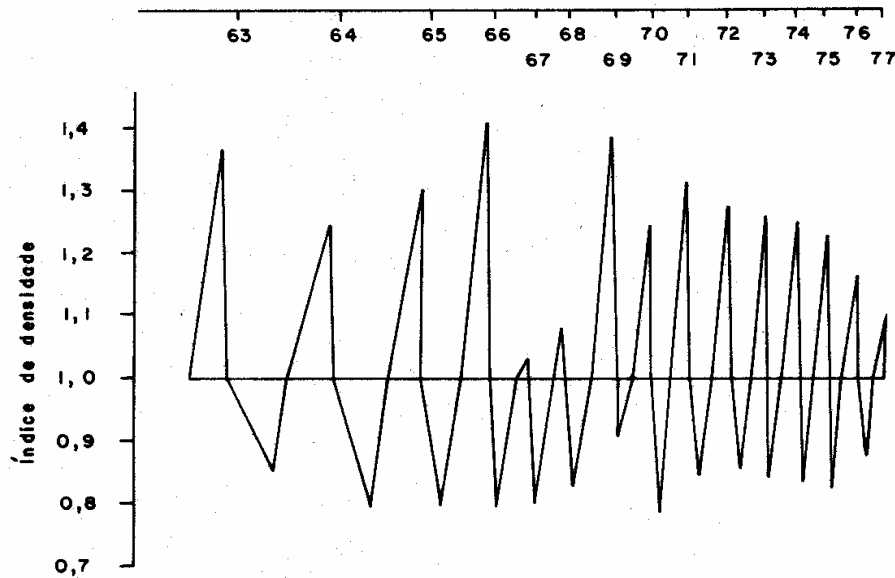


FIGURA 3: Cronologia média, obtida pela média aritmética dos índices de máxima e mínima densidade de todos os raios



O parâmetro densidade máxima, constituído pelos quinze índices de máxima densidade de cada anel anual da série da cronologia média, foi utilizado como a variável dependente em uma regressão linear múltipla, denominada Função de Resposta.

O método utilizado para o cálculo da Função de Resposta foi baseado no modelo fundamental descrito por FRITTS et alii (1971) e objetivou examinar a força e a natureza do sinal climático presente na cronologia média. Os dados meteorológicos, médias mensais da precipitação e temperatura foram independentemente transformados em autovetores e usados para estimar os elementos da cronologia dos anéis de crescimento da seguinte forma:

$$(1) \mathbf{1}P_n = \mathbf{1}R_p \mathbf{E}_m \mathbf{F}_n$$

onde $\mathbf{1}P_n$ é um vetor coluna de estimativas dos índices de máxima densidade dos anéis de crescimento, $\mathbf{p}E'_m$ a matriz transporta dos autovetores dos dados meteorológicos, $\mathbf{m}F_n$ a matriz original dos dados meteorológicos sendo $m = 12$ o número de variáveis meteorológicas (meses), $n = 15$ o número de observações (anos) e $\mathbf{1}R_p$ o vetor coluna dos p significantes coeficientes de uma regressão múltipla (Stepwise) entre os índices de máxima densidade e os autovetores dos dados meteorológicos. Um vetor coluna $\mathbf{1}T_m$, ou a Função de Resposta, pode ser obtida:

$$(2) \mathbf{1}T_m = \mathbf{1}R_p \mathbf{E}'_m$$

com seus m elementos representando a magnitude da resposta dos índices de máxima densidade para cada variável meteorológica. A manipulação com as matrizes descritas acima envolvendo os autovetores tem a vantagem que as variáveis tornam-se ortogonais ou não correlacionadas. Essa ortogonalidade torna eficiente o uso da técnica de regressão múltipla passo a passo na obtenção dos coeficientes de ${}_1R_p$ e, portanto, da Função de Resposta ${}_1T_M$.

Os intervalos de confiança da Função de Resposta foram obtidos a partir dos erros padrão dos coeficientes R da regressão múltipla, conforme a transformação proposta por FRITTS et alii (1971).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As árvores de *Pinus oocarpa* estudadas exibem anéis de crescimento visivelmente distintos. Visto que estas árvores tinham idade conhecida, pode-se constatar pela cronologia desenvolvida 1963 a 1977 (Figura I) que elas produzem apenas uma camada anual de crescimento. Cabe salientar que os anéis dos anos de 1961 e 1962 não se fizeram totalmente presentes na Figura 1 porque ela representa uma amostra tomada na altura do DAP. Entretanto, através de um exame de amostras da base do tronco esses dois primeiros anéis no tronco são aproximados à uma série justaposta com superfícies cônicas superpostas, podendo em certos casos ser descrito por um cilindro parabolóide ou neilóide.

A presença de alguns falsos anéis, extremamente finos, com coloração mais branda, com uma localização geometricamente desapropriada dentro do crescimento anual e com periodicidade em quase todas as amostras, eram tão inconfundíveis que auxiliavam o processo de datação. Na realidade, estes falsos anéis em virtude de suas características, poderiam ser chamados de variações intra-anuais de densidade, termo proposto por SCHWEINGRUBER (1980), para denominar os falsos anéis perceptíveis em certas zonas da Europa. Segundo BROWN (1918), freqüentemente coníferas jovens crescendo em solos arenosos e profundos podem apresentar numerosos falsos anéis na madeira juvenil, correspondendo a períodos intermitentes de seca e chuva durante uma única estação de crescimento.

Pela cronologia média (Figura 3) verifica-se a ocorrência de marcantes flutuações nos índices de densidade no período 1966-1971. Especialmente interessantes são as características dos lenhos tardios de 1967 e 1968, pois além de estreitos apresentam densidade substancialmente mais baixa em relação aos outros lenhos tardios. Aliado a este fato, observa-se pelos dados meteorológicos que esses dois particulares anos foram caracterizados por períodos de intensa seca, com as médias anuais de precipitação em tomo de 50% abaixo da média.

Em termos de largura dos lenhos essas evidências estão perfeitamente de acordo com a literatura. Muitos estudos dendroclimáticos (FRITTS 1962 a, b) , (JOHNSON e RISSER 1973) , (SCHWEINGRUBER et alii 1979), (CONKEY 1979) , (BERGER et alii 1979) e outros mostraram que os anos secos são marcados por anéis estreitos, no entanto, em termos de densidade dos lenhos tardios essas evidências são conflitantes. De uma forma geral, a literatura mostra que as altas densidades estão correlacionadas com os períodos secos ou deficiências hídricas no solo (POLGE, 1973; HUBER, 1976; SCHWEINGRUBER et alii 1978; CONKEY, 1979; FERRAZ, 1980).

As figuras 4 e 5 mostram os gráficos das Funções de Resposta da precipitação e temperatura respectivamente, decorrentes dos autovetores mais significativos relacionados

pela regressão múltipla passo a passo. São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança ao nível de 95% usados no teste de significância das variáveis. Os elementos significantes são aqueles cujos intervalos de confiança não atingem a linha de zero.

FIGURA 4: Funções de respostas obtidas pelos seis primeiros passos da regressão, sobre os autovetores da precipitação. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%. (Valores das ordenadas são índices estandardizados).

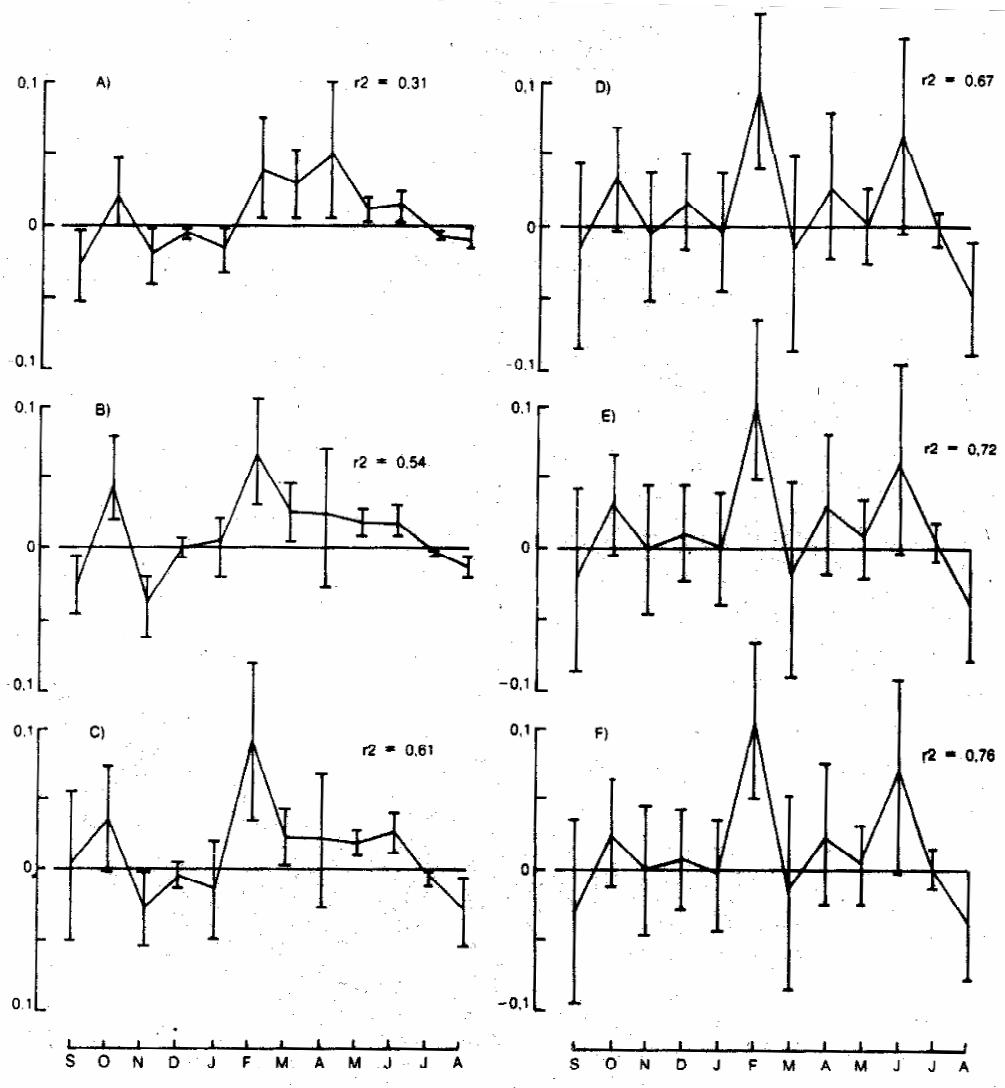
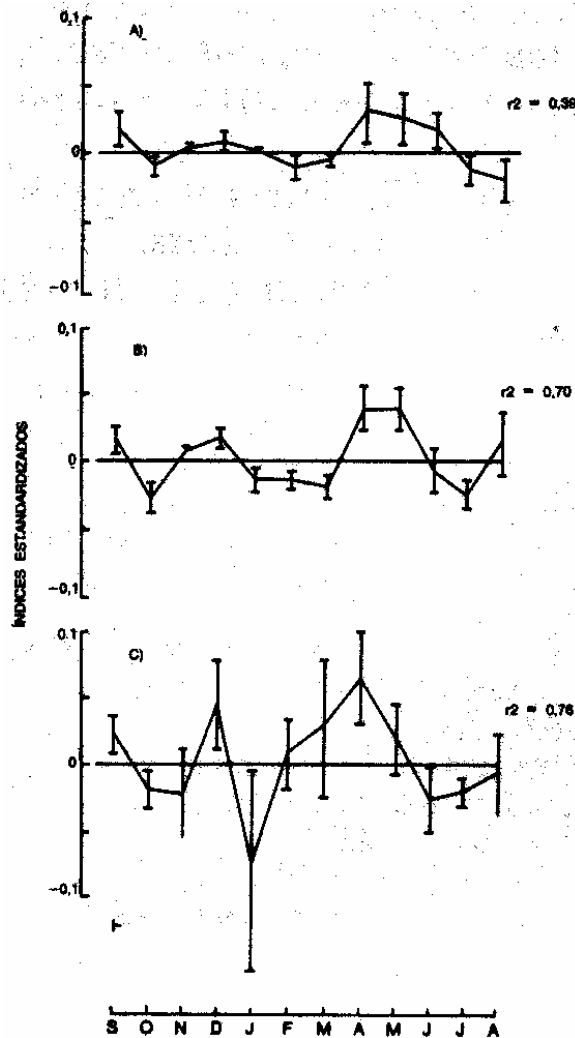


FIGURA 5: Funções de respostas obtidas pelos três primeiros passos de regressão sobre autovetores de temperatura média. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%.



A interpretação dos resultados da função de resposta em termos estatísticos é simples. Um valor positivo da função de resposta para um dado mês, indica uma relação direta (quanto maior a variável climática, maior a densidade); um valor negativo indica uma relação inversa (um pequeno valor da variável, um grande da densidade). Porém, além da interpretação estatística é igualmente importante, a análise do ponto de vista biológico.

ZANHER (1968) e GLERUM (1970) apresentam e descrevem algumas evidências do crescimento suportados na hipótese que o conteúdo de umidade do câmbio pode ser um fator limitante direto. Esta evidência inclui numerosas medidas e contagens de células que tem repetidamente demonstrado que, uma redução na taxa de divisão e alarguemento celular ocorre quando o câmbio é vítima de um «stress» de água interno.

A formação de lenhos tardios estreitos e de baixa densidade produzidos nos anos de seca de 1967 e 1968, encontra forte respaldo literário em ZANHER (1968) e provavelmente

comprovam suas evidências. Segundo ele o déficit hídrico pode causar uma redução no tamanho das células ou uma mudança na espessura da parede celular, porém se a estiagem persistir por períodos longos, a densidade do lenho tardio poderá ser marcadamente mais baixa que a de um lenho formado sob condições normais. FRITTS (1976) , também propõe que uma seca prolongada pode induzir a dormência e o mesmo efeito poderá ocorrer.

Quanto ao efeito negativo da temperatura na densidade, é razoável supor que as temperaturas elevadas do verão causam uma rápida evapotranspiração, a qual reduz drasticamente o armazenamento de água no solo e leva a árvore à condição de »stress«, limitando o crescimento. É interessante notar que em abril a precipitação não é um fator limitante. porém a temperatura tem um efeito positivo marcante em abril e maio. Isto sugere que, neste período a temperatura governa as reações fisiológicas de formação das células densas do lenho tardio. Um modelo provável para formação dos lenhos de alta densidade seria, temperaturas amenas no verão para as árvores terem um balanço fotossintético favorável e acumular reservas de alimentos. No outono, quando se inicia a formação das células densas, as temperaturas precisam ser altas para promover a difusão dos compostos metabolizados.

CONCLUSÕES

- A amostragem através de discos mostrou-se importante na caracterização das variações intra-anuais de densidade (falsos anéis) e auxiliou o desenvolvimento da cronologia.
- Em virtude das características especiais apresentadas pelos falsos anéis, pode-se afirmar que as árvores estudadas produzem uma única distinta camada anual de crescimento que pode ser precisamente datada.
- A densidade máxima dos lenhos tardios é governada principalmente pelas condições ambientais do verão-Outono. A precipitação de fevereiro e as temperaturas de dezembro e abril são os fatores mais limitantes. Pode-se inferir que um suprimento de água não favorável e temperaturas elevadas, decorrentes das altas taxas de energia, no final do verão e no início do outono induzem a formação de um lenho tardio estreito e de baixa densidade.
- Recomendam-se estudos de relações clima-falsos anéis, pois podem resultar num satisfatório entendimento dos fatores limitantes ao crescimento das árvores.
- Como muito pouco se conhece acerca dos padrões de atividade cambial e taxas de crescimento de árvores tropicais, e em vista do potencial da dendrocronologia, é necessário um grande trabalho dos botânicos em investigações de marcação de câmbio ou outras, objetivando definir espécies e regiões aptas ao desenvolvimento de cronologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGER, A. L. et alii. Tree-rings and climate in Marroco. *Tree-ring bulletin*, Tucson, 39: 61-75, 1979.
- BROWN, C. L. The physiological role water in tree growth and development. In: BALMER, W. E. *Soil moisture site productivity*. Atlanta, USDA, 1978. p. 22-9.
- CONKEY, L. E. Response of tree-ring density to climate in Maine. *Tree-ring bulletin*, Tucson, 39: 29-38, 1979.

FERRAZ, E. S. B. Determinação de densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. *IPEF*, Piracicaba (12): 61-8, 1976.

FERRAZ, E. S. B. Gamma-ray attenuation to measure water contents and/ or bulk densities of porous materials. In: ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES, 1983. Wien, AIEA, 1983. P.449-60

FERRAZ, E. S. B. Growth rings and climate in *Eucalyptus*. In: SIMPOSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO, Águas de São Pedro, 25-30 agosto 1980. 7p.

FRITTS, H. C. An approach to dendroclimatology: screening by means of multiple regression techniques. *Journal of geophysical research*. Washington, 67(4): 1413-20, 1962 (a).

FRITTS, H. C. The relation of growth ring widths in American beach and white oak to variation in climate. *Free-ring bulletin*, Tucson, 25(1/2): 2-10, 1962 (b).

FRITTS, H. C. *Tree-rings and climate*. London, Academic Press, 1976. 567p.

FRITTS, H. C. et alii. Multivariate techniques for specifying tree growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. *Journal of applied meteorology*, Lancaster, 10(5): 845-64, 1971.

GLERUM, C. Drought ring formation in conifers. *Forest Science*, Washington, 16(2).