

A INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DE EUCALIPTOS

Epaminondas Sansigolo Barros Ferraz*

ABSTRACT - The aim of this study is to discuss the dependence of dry matter production of *Eucalyptus* to annual precipitation in State of S. Paulo, Brazil. The mean annual precipitation series of the region shows periodic variabilities, with 3 to 7 years cycles and the cut age, industrial average, is 4 to 8 years. In order to test this influence in 7 years tree productivity, samples of different species of eucalyptus growing in 1964/73, 1970/83 and 1982/91 were used. Annual ring identification and dry matter production was measured through gamma-ray attenuation densitometric method. Density profile, in pithe-bark direction was raised in three radii from one sample of each tree. The annual mass increment of each tree and the treatments average were calculated. With the results, models for each treatment were made and compared with local precipitation, which strowed that biomass production can vary with annual precipitation by the same order of magnitude.

RESUMO - O objetivo do trabalho é evidenciar a dependência entre disponibilidade de água e produção de madeira de eucaliptos na região centro-sul do Estado de São Paulo. A observação de uma série histórica de precipitação mostra uma variabilidade cíclica com períodos entre 3 a 7 anos. Como a idade de corte dos eucaliptos, média industrial, é entre 4 e 8 anos, procurou-se identificar a influência dessas flutuações climáticas, estudando a produção de biomassa em períodos dessa ordem, em três lotes de amostras de eucaliptos cultivados em épocas diferentes: de 1964 a 1973, de 1970 a 1983 e de 1982 a 1991. Para evidenciar apenas o fator clima procurou-se minimizar os fatores genéticos e edáficos, usando-se amostras de espécies diferentes (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. propinqua* e *E. alba*) e condições de cultivo, espaçamento e tratos culturais, diversas. Das árvores abatidas a uma altura correspondente a 1,30 m do solo (DAP), foram preparadas amostras em forma de disco com espessuras entre 18 e 20 mm, depois de aplainadas, lixadas e secas até a umidade de equilíbrio de 8% (peso seco). Pelo método densimétrico por atenuação de radiação gama de baixa energia, foram levantados os perfis de densidade no sentido medula-casca em três raios de cada amostra. Uma vez identificados os anéis anuais de crescimento, foram calculados a densidade média anual e os incrementos anuais em volume e massa seca. Os resultados serviram para elaboração de modelos, cada um representando um lote, os quais foram comparados com a variação da pluviosidade do local. Conclui-se que a produção de biomassa pode variar com a pluviosidade do período em igual ordem de grandeza.

INTRODUÇÃO

Na região centro-sul do Brasil as espécies *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* estão entre as mais utilizadas pelas indústrias de papel e celulose, de chapas de

* CENA/USP – Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Caixa Postal - 13400-970 – Piracicaba, SP

madeira e siderúrgicas ou seja, cerca de 80% da área plantada. Dependendo de uma série de fatores industriais, a idade de corte dessas árvores tem oscilado entre 4 e 8 anos, portanto ainda em fase juvenil.

Nesta fase a taxa de incorporação de biomassa é crescente, tendendo a se estabilizar em torno de um valor, quando a árvore atinge a fase adulta (RESENDE; FERRAZ & GUERRINI I 1990). Essa função da taxa de variação da matéria seca sintetizada com a idade é chamada de ritmo de crescimento e depende de fatores genéticos, espécie/variedade e edáficos, técnicas de cultivo, solo e clima (CONKEY, 1976). Como o clima local sofre variações periódicas e eventuais é importante que se conheça sua influência na produtividade, (POLGE, 1973) acompanhando anualmente o incremento de biomassa.

A maioria dos trabalhos de produtividade florestal é baseada nos resultados finais de massa total, volume final e densidade média, obtidos após o corte das árvores. Dessa forma julga-se apenas pelos dados finais perdendo-se os detalhes, ou seja, não é possível acompanhar o desempenho da árvore durante o período entre o plantio e o corte. Para os ensaios de competição entre variedades ou tratamentos culturais, espaçamentos por exemplo, é mais simples a comparação entre os produtos finais. Entretanto, uma anomalia climática que possa ter ocorrido durante o período em teste pode mascarar o resultado ou induzir a uma conclusão errônea.

Sabe-se que alguns desses detalhes ficam gravados nos anéis anuais de crescimento da árvore e é possível, dentro de certos limites, decodificá-los através da madeira da largura e da densidade desses anéis (SCHWEINGRUBER et alii, 1978). Uma das técnicas disponíveis para esse tipo de estudo é a densimetria por radiação gama que permite a identificação dos anéis anuais e a quantificação da densidade ponto a ponto. Obtida a largura do anel, calcula-se o incremento volumétrico e, multiplicando-se este pela densidade obtém-se o incremento anual de massa (IAM). O estudo da variação do incremento de massa com o tempo e ritmo de crescimento, pode contribuir com importantes informações para escolha do manejo e práticas culturais adequadas para cada situação, bem como sobre o comportamento de determinada espécie em função do clima e intempéries.

METODOLOGIA

Para se testar o comportamento relativo entre a produtividade florestal do **Eucalyptus** em função do clima foram usados resultados de três lotes de amostras já analisadas para outros trabalhos, a saber:

Lote 1: Itupeva. Amostras de cinco árvores (**E. grandis**, **E. propinqua**, **E. saligna** e duas de **E. alba**), plantadas em 1964 e cortadas com 9 anos de idade de um experimento de competição em Itupeva, SP, latitude sul 23°8', longitude 47°3' e altitude 670m (FERRAZ, 1983).

Lote 2: Salto. São 46 amostras, em quatro classes de diâmetro, de **E. grandis** plantadas em 1970 com espaçamento 3,0 x 1,5m e cortadas em 1983, no município de Salto, SP, latitude sul 23°10', longitude 47°10' e altitude de 655m (RESENDE; FERRAZ & GUERRINI, 1990).

Lote 3 e 4: Angatuba. De um ensaio de competição espécie/espaçamento instalado em julho de 1982 na região de Angatuba, SP, latitude sul 23°17', longitude 48°26' e altitude 652m, foram cortadas 40 árvores após completarem o 9º. ano. O ensaio era constituído por 10 tratamentos sendo um fatorial de duas espécies, **E. grandis** e **E. saligna**, e cinco espaçamentos: 3,00 x 1,00m, 3,00 x 1,50m, 3,00 x 2,00m, 3,00 x 2,50m e 3,00 x 3,00m,

ocupando uma área total de 2.88 ha (FERRAZ; COUTO & ZEN, 1993). Este lote foi dividido em duas partes, **E. saligna** e **E. grandis**, com 20 árvores cada uma.

Embora analisadas em épocas diferentes todas as amostras tiveram o mesmo tratamento, ou seja, seguiram a mesma rotina de laboratório. Dos troncos das árvores abatidas foram retirados toretes de 20-30cm de uma região centralizada no DAP correspondente a altura média de 1.30m com referência ao solo.

As amostras foram primeiramente secas ao ar livre, retirando-se da parte central cilindros com 40-50mm de altura. Estes foram secos em estufa a 110°C por 24 horas, aplainados e lixados até atingirem a espessura de 18-20mm. Após acondicionamento em câmara climática por 4-7 dias e atingirem a umidade de equilíbrio de 8% (peso seco), as amostras foram levadas para análise densimétrica no sistema de atenuação de radiação gama.

O sistema de densimetria por atenuação de radiação gama de baixa energia permitiu o levantamento ponto a ponto do perfil radial de densidade com sensibilidade melhor do que 0.03 g/cm³. Os valores foram expressos em densidade aparente, ou seja, massa de madeira teoricamente seca dividida pelo volume aparente a 8% de umidade. Dessa forma, usando-se um sistema coerente de unidades, foi possível calcular a massa de matéria seca pela multiplicação da densidade pelo volume.

Primeiramente foram levantados os perfis de densidade ponto a ponto, passo de 1,0mm, em todas as amostras, 2 ou 3 raios para cada árvore. Admitindo-se uma geometria cilíndrica, isto é, que os anéis de crescimento formam cilindros perfeitos e concêntricos, calculou-se o incremento radial anual. Para uma altura hipotética desse cilindro igual a 10mm, calculou-se incremento volumétrico e a partir daí o incremento de massa, multiplicando-se pela densidade no ponto.

Pelo perfil de densidade foram identificados os anéis anuais. Como no eucalipto os anéis anuais não são bem distintos, essa separação foi difícil e trabalhosa. Foi considerado como um ano de vida da árvore, o período decorrente para a formação de dois picos consecutivos de alta densidade, final do lenho outonal.

Logo após o mês mais seco, com as primeiras chuvas, começou a ser formado o lenho primaveril, ou seja, iniciou-se para a árvore um novo ciclo. Por isso, adotou-se a data de 12 de setembro para início do ciclo anual, tanto para o cálculo da biomassa sintetizada como também para a totalização da precipitação. Dessa forma, o “ano” de 1964 neste trabalho, representou o período entre 12 de setembro de 1963 e 31 de agosto de 1964.

Determinado o incremento de massa ponto a ponto para cada amostra, foi calculado o incremento anual pela somatória dos pontos referentes àquele ano. A média das amostras representou o IAM de cada lote. Aos valores experimentais médios de IAM foi ajustada uma curva exponencial em função do tempo, para definir o padrão de crescimento de cada lote:

$$y = A - A/(exp Bx) \quad (1)$$

onde:

y = Incremento anual de massa esperado (IAMe).

x = Ano de vida da árvore.

A e B = parâmetros.

Com a diferença entre os valores experimentais (IAM) e os esperados (IAME) determinados pelos modelos. Calcularam-se os desvios percentuais de massa ($\delta m\%$) ano a ano para os 4 lotes:

$$\delta m\% = 100 (IAM - IAME)/IAME \quad (2)$$

Os dados de precipitação utilizados foram obtidos a partir de planilhas de registros mensais obtidas junto a Seção de Climatologia Agrícola do IAC, em Campinas e Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP (TABELA 1).

TABELA 1 - Fonte dos registros mensais de precipitação.

LOCAL	PERÍODO	ESTAÇÃO
Itupeva	1963-72	Louveira, IAC Campinas
Salto	1970-82	Itu, Pirapitingui DAEE E4-023
Angatuba	1980-92	Faz. Aterradinho, DAEE E5-019
Campinas	1901-92	SCA/IAC, Campinas
Piracicaba	1917-91	DFM/ESALQ, Piracicaba

Os dados mensais de precipitação foram totalizados a partir do mês de setembro, ou seja, como já foi dito, em períodos compreendidos entre 12 de setembro do ano anterior até 31 de agosto. As séries de Itupeva, Salto e Angatuba foram comparadas com a série de Campinas para saber se essa última poderia ser usada como referencial. Na série de Campinas, foram calculados os desvios percentuais ($\delta p\%$) de precipitação anual (PPi) em tomo da média do período 1963 a 1992 (PPm):

$$\delta p\% = 100(PPi - PPm)/PPm \quad (3)$$

Finalmente, os desvios anuais percentuais de massa ($\delta m\%$) de cada lote foram comparados com os desvios percentuais de precipitação ($\delta p\%$) correspondentes.

RESULTADOS

Com a metodologia descrita foram calculados os incrementos anuais de massa (IAM) para os lotes 4 de amostras, ajustando-se a eles uma curva pela equação (1), para definir o padrão de crescimento de cada lote. Para o ajuste das curvas não foram usados os dados dos dois primeiros anos de vida das árvores para se evitar as influências do viveiro e do plantio. os parâmetros da análise estatística se encontram na TABELA 2.

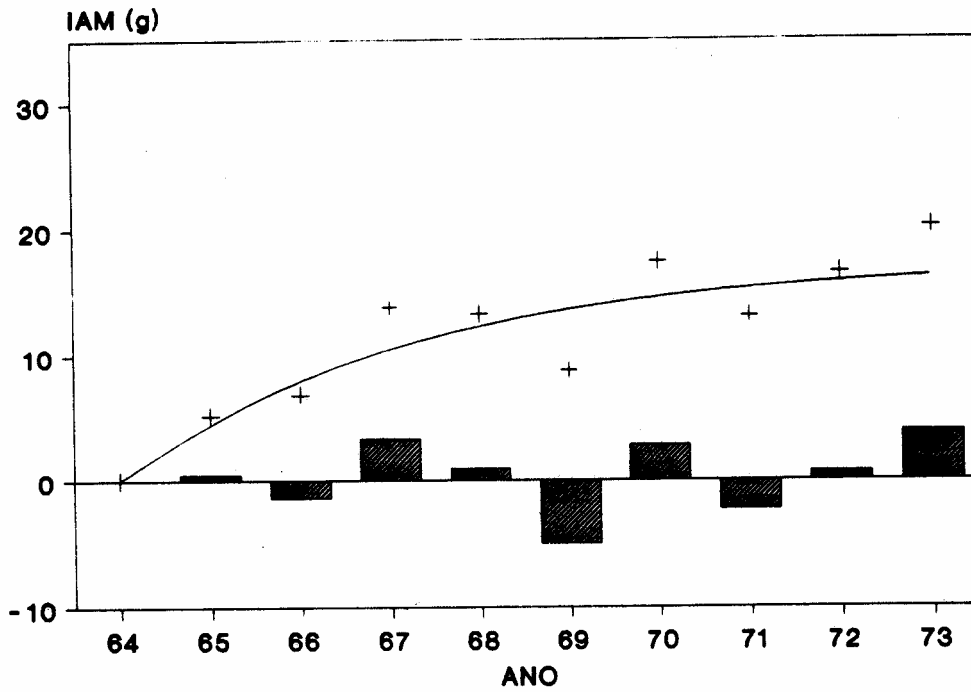
TABELA 2 - Parâmetros da análise estatística para determinação da curva do padrão de crescimento.

LOTE	PARÂMETRO A	PARÂMETRO B
Itupeva	17.4 ± 2.2	0.316 ± 0.109
Salto	24.9 ± 0.7	0.417 ± 0.036
Saligna /Angatuba	37.7 ± 3.2	0.094 ± 0.013
Grandis /Angatuba	55.2 ± 4.5	0.065 ± 0.007

Os resultados experimentais de IAM em função do tempo para os lotes estudados encontram-se nos gráficos da FIGURA 1 (a, b, c e d). Nos mesmos gráficos aparecem também as curvas exponenciais ajustadas pela equação (1) bem como as diferenças entre os valores experimentais e os calculados. O gráfico de Itupeva mostra uma maior disparidade entre os valores observados e o modelo ajustado, enquanto que os de Salto mostram maior concordância. Isso é comprovado pelos erros dos coeficientes A e B, bem maiores para Itupeva do que para Salto (coeficiente de variação de 12.7% e 34.5% para Itupeva e 2.7% e 8.6% para Salto, respectivamente). Isso se deve, principalmente, ao fato de que o lote Itupeva é formado por somente cinco amostras de quatro espécies diferentes, enquanto que o de Salto é constituído por 46 amostras de mesma espécie. Além disso, as flutuações climáticas foram muito mais intensas no primeiro do que no segundo caso.

Os totais de precipitação em Itupeva, Salto e Angatuba, nos períodos em estudo, foram comparados com a série de Campinas e o resultado da análise de regressão linear está na TABELA 3. Pelo gráfico da FIGURA 2 pode-se observar essa correspondência, que já era esperada devido à proximidade dos locais porém, é de se estranhar a discordância com os dados de Angatuba nos anos de 1988 a 1989 e que proporcionaram um baixo valor para o coeficiente R. Os parâmetros da regressão mostram a dependência entre as séries e permitiram o uso da série de Campinas como referencial para o estudo das oscilações de precipitação da região.

ITUPEVA - SP



SALTO - SP

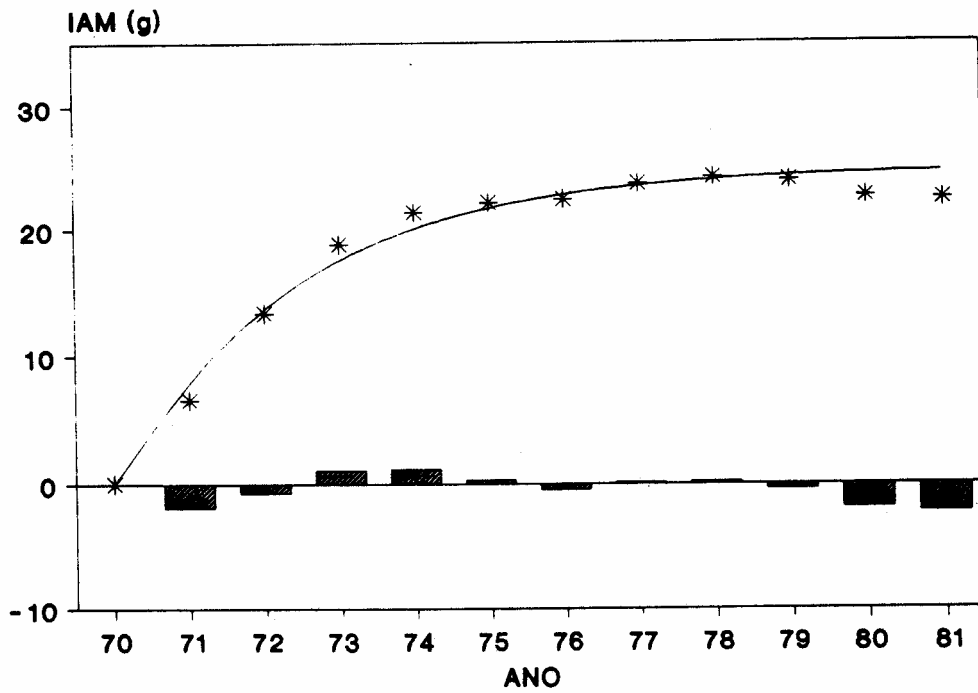
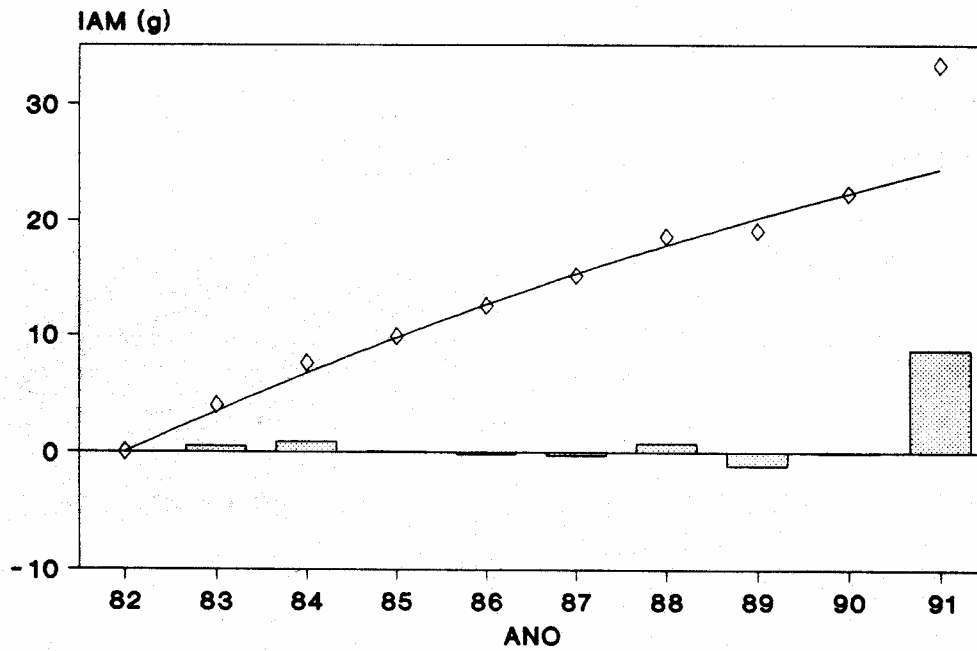


FIGURA 1 - Resultados experimentais de IAM em função do tempo para os lotes estudados.

ANGATUBA - SP
E. grandis



ANGATUBA - SP
E. saligna

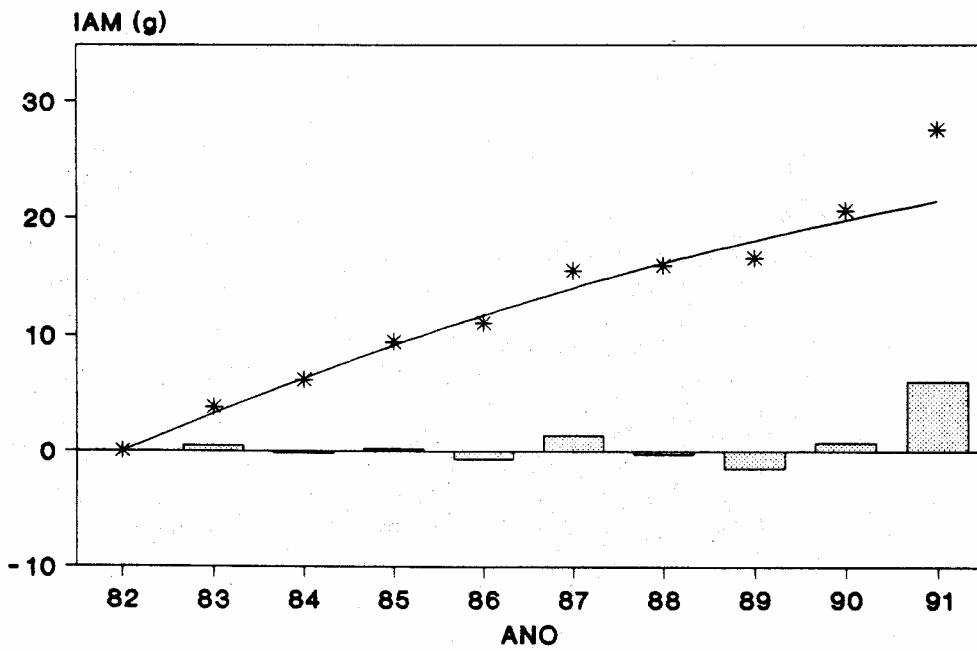
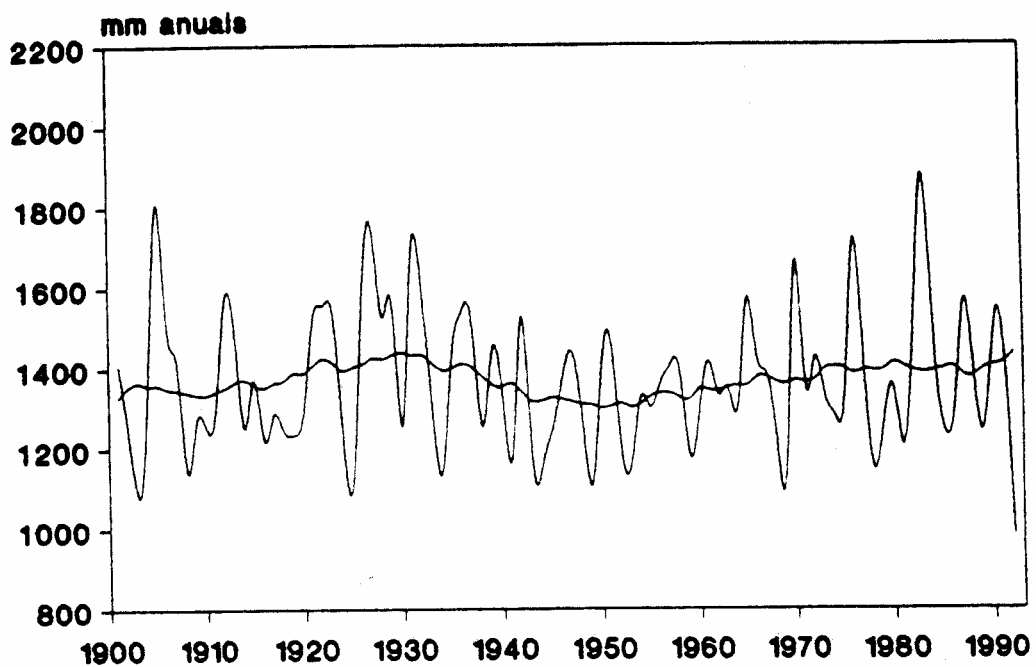


FIGURA 1 - Resultados experimentais de IAM em função do tempo para os lotes estudados.

PRECIPITAÇÃO EM CAMPINAS TOTAIS ANUAIS SET-AGO



PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO TOTAIS ANUAIS

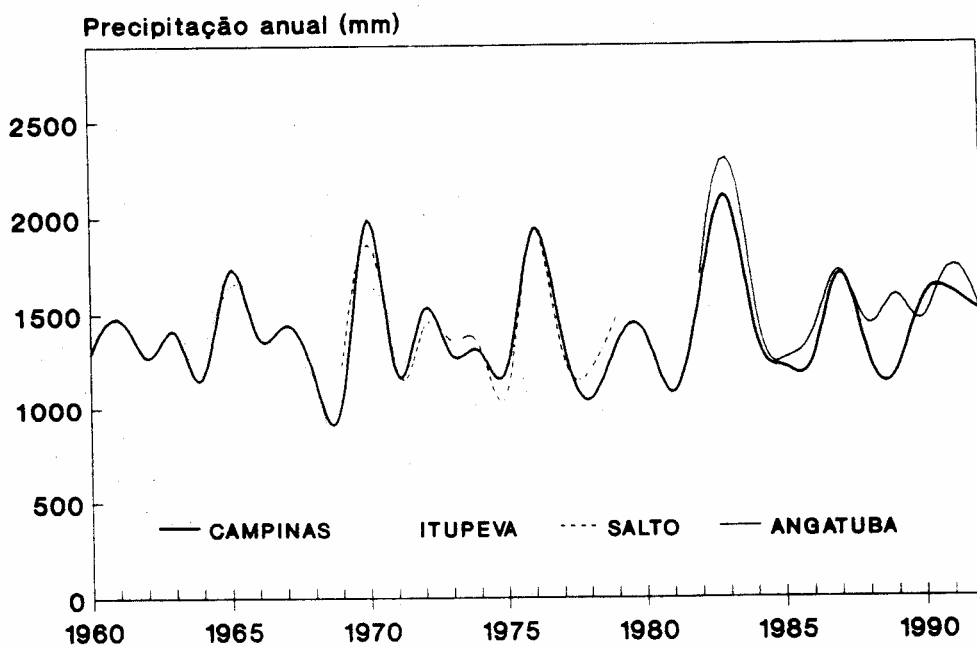


FIGURA 2 – Totais anuais de precipitação em Itupeva, Salto e Angatuba, nos períodos em estudo, foram comparados com a série de Campinas.

TABELA 3 – Parâmetros da análise de regressão linear entre Campinas e os demais locais

Correlação com Campinas	Itupeva	Salto	Angatuba
Coef. de regressão (R)	0.878	0.858	0.669
Coef. Linear de reta	22.3	16.7	51.1
Coef. angular	0.773	0.810	0.604
Média (mm/ano)	1340	1324	1452

Usando a série de precipitação pluviométrica de Campinas, de 1963 a 1992, como referencial para as três regiões, foram calculados os desvios percentuais ($\delta p\%$), ano a ano, em torno da média, conforme a equação (3). Esses valores foram comparados com os desvios percentuais dos incrementos anuais de massa ($\delta m\%$) calculados conforme a relação (2). O resultado dessa comparação está ilustrado no gráfico da FIGURA 3. Pela figura percebe-se a tendência de aumento na biomassa produzida como resposta a um aumento no índice pluviométrico e vice-versa, indicando uma correlação positiva:

$$(\delta m\%) = 0.0170 + 0.348(\delta p\%)$$

O coeficiente de correlação calculado, $R = 0.493$, pode parecer baixo mas é aceitável pelas condições de trabalho, pois só foi analisada a influência do índice pluviométrico. Além de fatores como fertilização, tratamentos culturais, eventos acidentais etc, que podem ter ocorrido nos diferentes lotes, tem-se que lembrar também os próprios elementos de clima como radiação solar e temperatura e o efeito da chuva no transporte de nutrientes. Individualmente pode-se notar que três lotes mostram essa tendência geral, o que não ocorre de maneira clara com o lote de Salto. Já com os dois lotes Angatuba, percebe-se que a correlação poderia ser melhor se não houvesse essa discordância com os dados de chuva de 1988 e 1989 coletados na região.

Finalmente foram estudadas as séries de Campinas e Piracicaba, as mais longas da região. Os totais mensais de precipitação foram somados de 7 em 7 anos, a partir de setembro, para se conhecer as flutuações a que estiveram sujeitas as árvores nesses períodos (TABELA 4).

TABELA 4 - Dados estatísticos das séries de Campinas e Piracicaba.

LOCAL	Campinas	Campinas	Piracicaba	Piracicaba
Série	1901-92	1963-92	1917-91	1963-91
Média	9598.4	9764.6	8785.3	8731.8
Desv. padrão	464.3	315.4	533.6	515.8
Máxima	11166.3	10483.1	10043.2	9893.8
(período)	1926-32	1982-88	1926-32	1982-88
Mínima	8545.3	9242.4	7663.9	7990.3
(período)	1943-49	1963-69	1919-25	1963-69

O gráfico da FIGURA 4 mostra essas oscilações em torno da média e no intervalo de um desvio padrão para a série de Campinas de 1963 a 1986 (a data assinalada nas

colunas do gráfico se refere ao início do período de 7 anos). Nos últimos 30 anos, o máximo registrado foi em 1982/88 (7.4% acima da média) enquanto que em 1963/69 ocorreu o mínimo computado (5.6% inferior a média). No mesmo período a série de Piracicaba registra uma amplitude de variação maior com a máxima 13.3% acima e mínima 9.3% abaixo da média. Nas séries mais longas, Campinas registra máxima 16.3% acima e mínima de 12.3% abaixo da média, enquanto que Piracicaba registra, respectivamente, 14.3% e 14.6%.

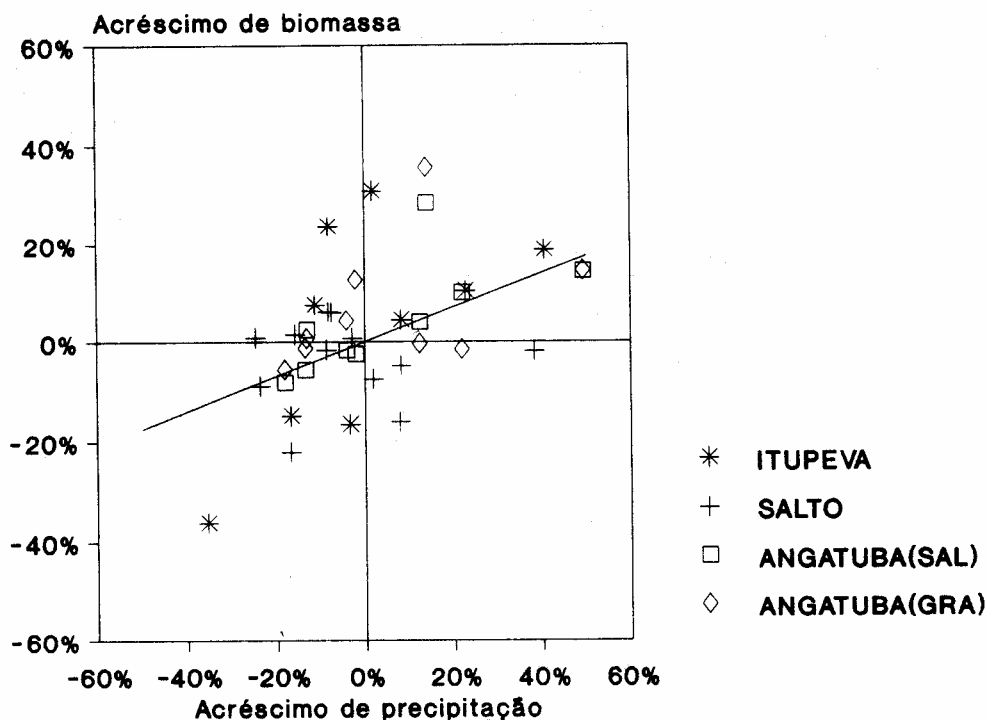


FIGURA 3 – Comparação entre os incrementos anuais de massa ($\delta m\%$) e os desvios percentuais de precipitação ($\delta p\%$).

CONCLUSÕES

A dependência da precipitação com a produção de matéria seca em eucaliptos fica evidenciada pela técnica utilizada. Embora isso possa parecer evidente só assim fica para o eucalipto, já que para **Pinus** existem vários trabalhos, inclusive no Brasil (TROVATI & FERRAZ, 1984).

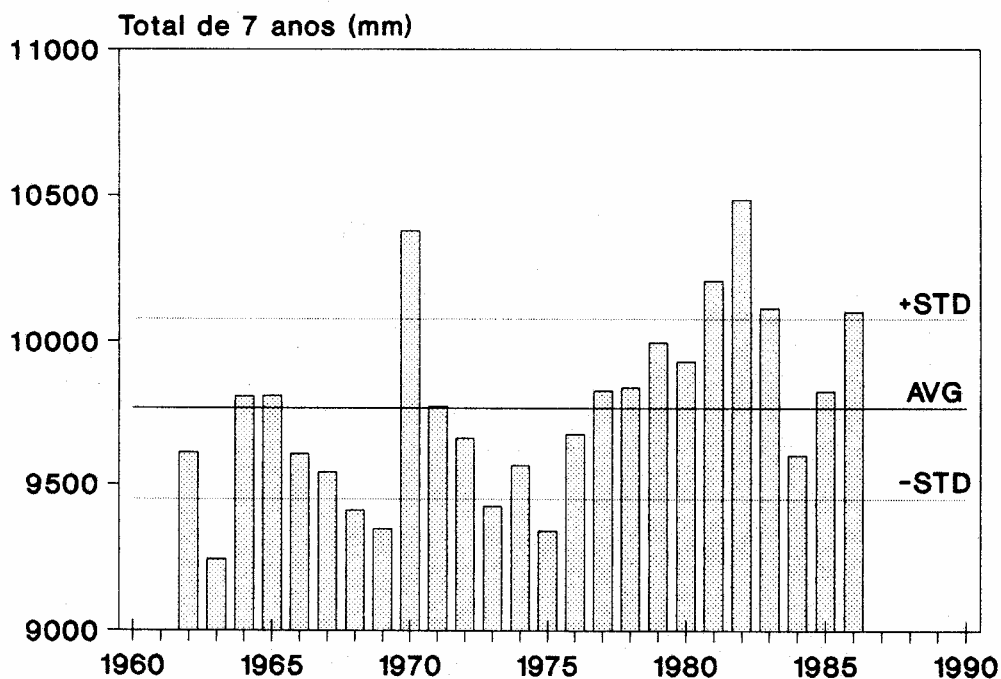
Observando-se individualmente os três lotes, percebe-se que nas amostras de Itupeva a seca de 1969 comprometeu seriamente a produção e que aquelas de Angatuba foram favorecidas por um período de elevados índices pluviométricos, enquanto que as árvores de Salto se desenvolveram num período cujos índices se mantiveram próximos da média e por isso tiveram um crescimento mais próximo do esperado.

Considerando-se que seja perfeitamente viável na região a ocorrência de períodos de 7 anos com totais que atinjam mais que 10% acima ou abaixo da média, e ainda que essa

variação será maior se o período considerado for menor, 6 ou mesmo 5 anos, pode-se prever uma variação considerável na produção de matéria seca.

Por outro lado deve-se considerar que regiões bem próximas de Campinas, Piracicaba por exemplo, podem ter regimes pluviométricos com flutuações de maior amplitude. Assim, aquele coeficiente angular calculado pela equação 3 ($f = 0.348$) deve ser encarado apenas como um indicativo de que existe uma dependência entre chuva e produção de matéria seca na mesma ordem de grandeza. O valor correto desse fator dependerá de condições locais, da espécie e de cultivo.

PRECIPITAÇÃO EM CAMPINAS



Obs: O ano refere-se ao início da série

FIGURA 4 – Oscilações em torno da média e no intervalo de um desvio padrão para a série de Campinas de 1963 a 1986 (a data assinalada nas colunas do gráfico se refere ao início do período de 7 anos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONKEY, L.E. Response of tree-ring to climate in Maine, **Tree-ring bulletin**, Tucson, 39: 29-38, 1976.

FERRAZ, E.S.B. Growth ring and climate in **Eucalyptus**. **Silvicultura**, São Paulo (32): 821-2, set./out., 1983.

- FERRAZ, E.S.B.; COUTO, H.T.Z. & ZEN, S. Productivity of **Eucalyptus grandis** and **Eucalyptus saligna** in five different spacing. **Canadian journal of forest research**. Ottawa, 1993. (no prelo).
- POLGE, H. Facteurs ecologiques et qualité des bois. **Annales des sciences forestieres**, Paris, 30(2): 307-28, 1973.
- REZENDE, M.A.; FERRAZ, E.S.B. & GUERRINI, I.A. Incrementos anuais. massa específica e energia do **Eucalyptus grandis** pela técnica de atenuação gama. **Científica** (Esp.), São Paulo, 18 (1): 43-53, 1990.
- SCHWEINGRUBER, F.H. et alii. The X-ray technique as applied to dendroclimatology. **Tree-ring bulletin**, Tucson, 38: 61-91, 1978.
- TROVATI, L.R. & FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de **Pinus oocarpa**. **IPEF**, Piracicaba, (26): 31-6. abr. 1984.