

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR NO INTERIOR DE UMA MATADE Araucaria angustifolia EM RELAÇÃO AO TERRENO LIVRE.

Rudi Arno Seitz*

SUMMARY

Measurements of solar radiation were taken on grassland and at the understory level of an Araucaria angustifolia forest to study the influences of the forest canopy upon the daily solar radiation. Measurements were also made of the temperature and relative air humidity on the grassland, in an Araucaria forest and in a PINUS ELLIOTTI forest, to study the variation between the three environments. These observations were carried out at the Fazenda Experimental do Setor de Ciências Agrárias, da U. F. Pr., near Curitiba, Brasil, during May and June 1974.

Actinographs were used to measure the solar radiation and thermohygrographs were used to measure the temperature. The values were submitted to a linear regression analysis to establish the correlations.

This analysis showed that only 25% of the daily solar radiation reaches the understory of the Araucaria forest, and this type of forest has a higher temperature than the grassland. The mean daily temperature of the PINUS forest is lower than on the grassland, although the daily minimum temperature is higher. In both forests the relative air humidity is higher than on the grassland.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é o conhecimento da relação de dependência da temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar medidas dentro de uma mata de Araucaria, com a temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar medidas em uma estação meteorológica em terreno de vegetação campestre.

A motivação deste estudo parte da evidente diferença de radiação solar que atinge o sub-bosque de uma mata, embora os raios solares atinjam o solo por muito tempo às vezes, em relação à radiação solar que atinge a parte superior das copas. Em bosques densos de *Pinus spp.*, a radiação solar que atinge o solo é praticamente nula. Esta diferença de radiação que ocorre nos dois tipos de mata é evidenciada pela observação dos sub-bosques respectivos. Enquanto num bosque denso de *Pinus spp.* não existe sub-bosque, numa mata de Araucaria plantada com o mesmo espaçamento, existe um sub-bosque em pleno desenvolvimento. Em decorrência desta observação, a empresa Klabin do Paraná instalou um ensaio de adensamento de matas de Araucaria com espécies florestais exóticas, tais como *Eucalyptus alba*, *E. viminalis*, *Pinus caribea*, etc. Estas espécies bastante

heliófilas evidenciaram no entanto o fato, de que embora pareça que haja pouca redução da radiação solar pelas copas das Araucarias, estas em verdade interferem muito, reduzindo a intensidade da radiação solar em cerca de 80%. Esta redução no entanto é propícia ao desenvolvimento de várias espécies umbrófilas, dentre as quais se destacam espécies dos gêneros *Podocarpus*, *Ilex*, *Ocotea* e *Nectandra*.

Muitas determinações da interceptação da radiação solar e alteração de temperaturas em bosques já foram feitas. Segundo SPURR (1964), sob árvores decíduas sem folhas a iluminação relativa é de 50 a 60% da iluminação solar total; sob um povoamento aberto equiânio de *Pinus spp.*, 10 a 15% de redução representam uma faixa comum; sob espécies folhosas de zonas temperadas valores de 1 a 5% são comuns, enquanto sob a floresta pluvial tropical (CARTER-1934), a iluminação relativa pode ser tão baixa que chega a 0,25-2,0%. Em um estudo feito para *Pinus echinata* na Georgia, JACKSON & HARPER (1955) acharam uma forte correlação negativa entre o logaritmo da área basal do maciço e o logaritmo da iluminação relativa.

Dentro da floresta, uma pouca densidade de copas ou árvores sem folhas, como no caso de árvores decíduas durante

* Auxiliar de Ensino do Dep. de Silvicultura e Manejo da U.F.Pr.

a estação hiberna, provoca uma redução na movimentação do ar, enquanto a radiação solar penetra no dossel. Sob tais condições, a temperatura média diária tende a ser mais elevada dentro da floresta (SPURR, 1964), o que também pode-se constatar na mata de Araucária, que em sua estrutura se assemelha a este tipo de mata.

Quando as árvores estão completamente revestidas de folhas, as temperaturas extremas tendem a ser mais baixas dentro da mata, e a diminuição da radiação dentro da floresta pode ter como resultante uma temperatura média anual mais baixa (SPURR, 1964), semelhante ao que ocorre nas matas de *Pinus* do sul do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de estudo

Os dados do presente trabalho foram coletados na Fazenda Experimental do Setor de Ciências Agrárias da U.F.Pr., de 15 de maio a 15 de junho de 1974. Naquele local existem vários talhões de coníferas, sendo aproveitados para este estudo uma área de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze. próxima à Estação Meteorológica e uma área de *Pinus elliottii* um pouco mais afastada. A altitude do local é de aproximadamente 900 m, estando a Fazenda afastada cerca de 20 km de Curitiba, em direção NE.

2.1.1. A estação meteorológica

A estação meteorológica situa-se sobre uma elevação quase no ponto mais elevado da Fazenda. É uma estação agrometeorológica de primeira classe, sendo nela feitas observações diárias para a rede de estações meteorológicas do Estado do Paraná, da qual é integrante. A vegetação que circunda a estação é do tipo campestre, permitindo a livre movimentação do ar. A temperatura média anual da região é de 16,5°C, sendo as médias de maio e junho 14,2 e 13,1°C respectivamente. A precipitação anual média é de 1.485 mm e as precipitações normais de maio e junho são 91 e 100 mm respectivamente.

2.1.2. A mata de Araucária

Na mesma elevação em que está localizada a estação meteorológica, aproximadamente 100 m mais a NO, inicia-se a área florestada de *Araucaria angustifolia*. Este reflorestamento foi feito em 1964 tendo portanto as árvores no momento da pesquisa 10 anos de idade. O espaçamento do plantio é de 2 x 2 m. As árvores tinham uma altura média de 7 metros, e um diâmetro médio de 10 cm. As copas não eram muito densas, permitindo a passagem dos raios solares até o sub-bosque. Este tinha uma altura média de aproximadamente 1,5 m, sendo as espécies predominantes principalmente *Podocarpus lambertii* e *Ilex spp.* A área possui uma ligeira declividade em direção norte.

2.1.3. A mata de Pinus

Aproximadamente 500 m em direção NE da estação meteorológica situa-se a área reflorestada com *Pinus elliottii*. Este plantio também foi executado em 1964, no espaçamento 2 x 2 m, não tendo sofrido desbaste até a época das medições. A densidade das copas era muito grande, impedindo a passagem dos raios solares até o sub-bosque. O solo estava coberto por uma camada de acículas de 3 a 5 cm de espessura, não ocorrendo nenhuma espécie vegetal no sub-bosque. No local onde foi instalado o abrigo meteorológico, o terreno é relativamente plano, com leve declividade para o sul. A diferença de nível entre o abrigo meteorológico e a estação meteorológica é de cerca de 20 m.

2.2. Medições dos elementos meteorológicos

2.2.1. A radiação solar

A radiação solar foi medida e registrada tanto na Estação Meteorológica como sob a mata de Araucária com um actinógrafo R.FUESS. O actinógrafo registra a radiação solar em cal. cm⁻². min⁻¹ em um diagrama, o qual posteriormente foi analisado.

Para a análise da diferença de radiação foram tomadas as radiações globais diárias nos dois locais, obtidas pela medição das áreas delimitadas pela curva

traçada pela pena do actinógrafo sobre os diagramas. Estas áreas foram medidas com um planímetro.

Na mata de Araucária, o actinógrafo foi instalado de tal modo, que sua cúpula de vidro estava aproximadamente a 0,5 m acima do solo.

2.2.2. Temperatura e umidade relativa do ar.

Na mata de Araucária e de Pinus foram instalados termohigrógrafos para a medição da temperatura e umidade relativa do ar. Estes aparelhos registram simultaneamente em um diagrama a temperatura e umidade relativa do ar que posteriormente poderão ser analisadas. Os aparelhos foram montados em abrigos meteorológicos a 1,5 m acima do solo.

Os diagramas obtidos nas duas áreas florestais e na estação meteorológica, permitiram a observação da oscilação diária da temperatura e umidade relativa do ar. Para efeitos de análise foram lidos nos diagramas os valores das temperaturas máximas e mínimas.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise das relações entre os elementos climáticos medidos na estação meteorológica montada em campo aberto

e as respectivas medições de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar dentro da mata de Araucária e temperatura e umidade relativa do ar dentro da mata de Pinus, foi efetuada através do cálculo dos coeficientes de correlação entre os diversos elementos medidos e posterior análise da regressão linear e cálculo dos respectivos R^2 . Para os cálculos das regressões lineares foi utilizado um computador HP 9830 A.

3.1. Radiação solar

Para o cálculo da relação entre a radiação solar medida dentro da mata de Araucária e em campo aberto, foram computados os valores das radiações globais diárias. A média destas foi de 265,6 e 53,1 cal . cm⁻² . min⁻¹, respectivamente para o campo aberto e a mata de Araucária, durante o período de observação, com um coeficiente de correlação de 0,8072. O gráfico da fig. 1 mostra esta relação. Constatou-se, que em média, as copas das Araucárias absorveram ou refletiram 80% da radiação solar global diária, permitindo que apenas 20% chegue ao sub-bosque.

Na análise de regressão linear, verificou-se que a curva que melhor expressa a relação entre as radiações medidas, é a representada pela equação:

$$\text{Rad.}_A = 0,4935 + 0,1490 \text{ Rad.}_E + 0,0002 \text{ Rad.}_E^2$$

onde

Rad._A = radiação solar dentro da mata de Araucária

Rad._E = radiação solar medida na estação meteorológica.

Para esta regressão, o R^2 tem um valor de 0,6545, o que demonstra, como também pode ser visto na fig. 1, a relativa dispersão dos pontos.

A dificuldade em se ter uma função mais precisa advém da irregularidade do fechamento das copas das Araucárias. Se, durante o dia ocorrerem poucos momentos de pleno sol, e quando isto ocorrer o sol estiver justamente numa posição tal que os raios penetrem livremente entre os ramos para atingir o elemento sensível do actinógrafo, ter-se-á então ao final do dia, quando comparados os dois diagramas, do campo aberto e da mata, quase nenhuma diferença na radiação global. Por isso, estudos dessa natureza, devem ser efetuados em dias totalmente sem nuvens, para se poder chegar a dados conclusivos mais reais.

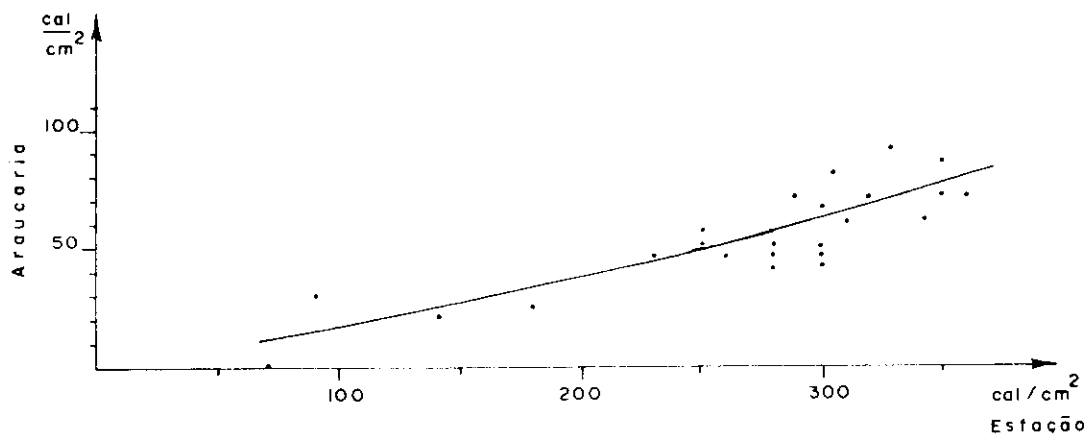


Fig. 1 — Relação entre a radiação solar diária no campo e no sub-bosque da mata de Araucária, em maio e junho de 1974.

3.2. Temperatura média, mínima e máxima

A observação dos valores das temperaturas médias, mínimas e máximas durante o período de observação, mostrou que existe uma variação constante entre as temperaturas dos três ambientes, causada pelas diferenças na estrutura da cobertura vegetal. No quadro I estão as equações que exprimem a relação entre as temperaturas médias, máximas e mínimas medidas na estação meteorológica e as respectivas medições no interior da mata de Araucária e Pinus.

Quadro I

Equações para as diversas temperaturas dentro de uma mata de Araucária e de Pinus, em função das temperaturas medidas na estação meteorológica. Curitiba, junho de 1974.

Equações	Coef. correl.	R ²
$T.min_A = 2,3324 + 0,9301 T.min_E$	0,9926	0,9852
$T.min_P = 1,2809 + 0,9622 T.min_E$	0,9938	0,9876
$T.med_A = 2,5396 + 0,9191 T.med_E$	0,9865	0,9731
$T.med_P = -0,4323 + 0,9955 T.med_E$	0,9882	0,9765
$T.max_A = 2,3347 + 0,9395 T.max_E$	0,9722	0,9451
$T.max_P = -0,9451 + 0,9506 T.max_E$	0,9577	0,9172

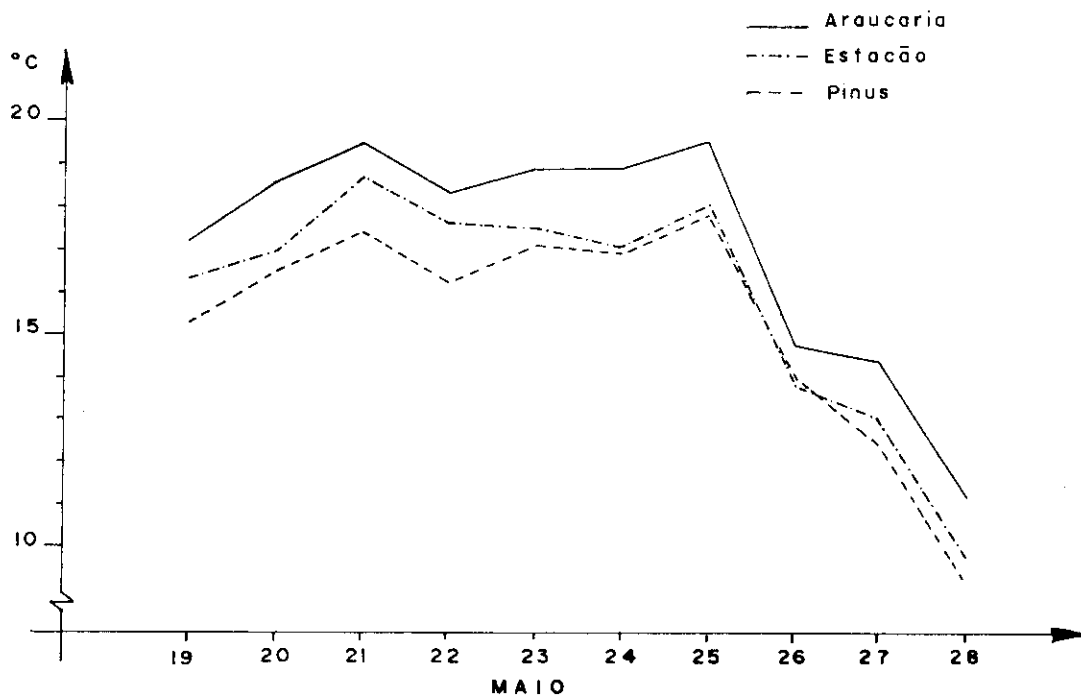


Fig. 2 — Variação da temperatura média diária em uma mata de Araucária, uma mata de Pinus e na Estação Meteorológica. Maio de 1974.

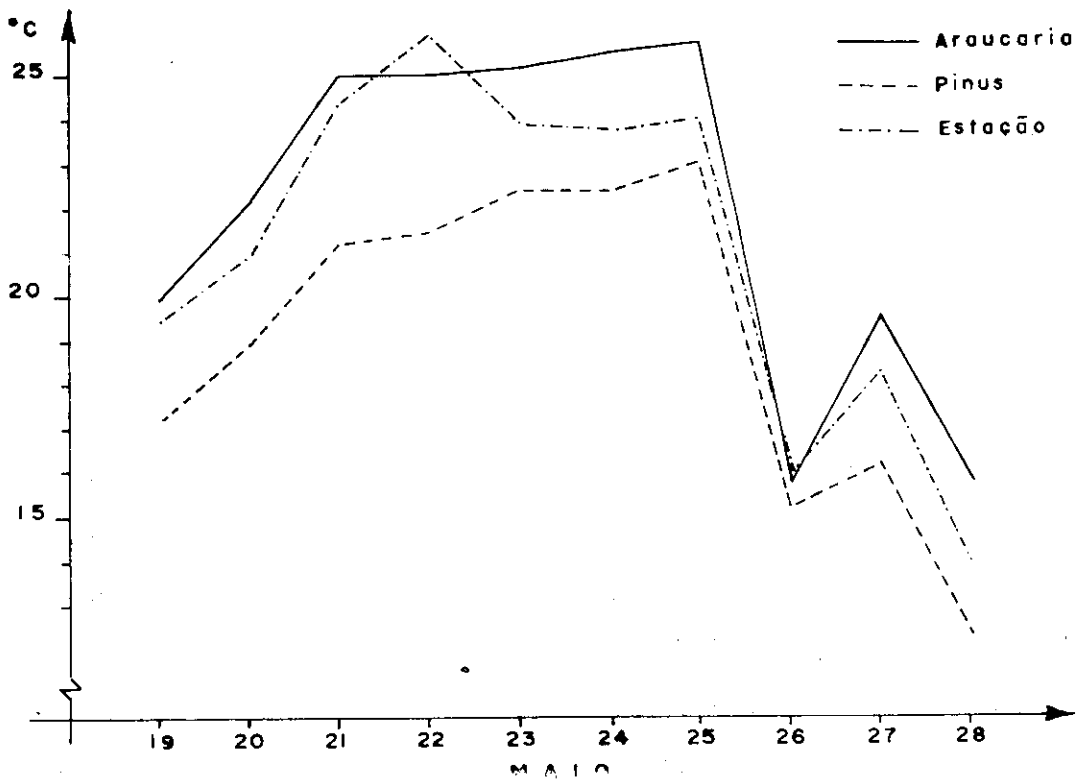


Fig. 3 — Variação da temperatura máxima diária em uma mata de Araucária, uma mata de Pinus e na Estação Meteorológica. Maio de 1974.

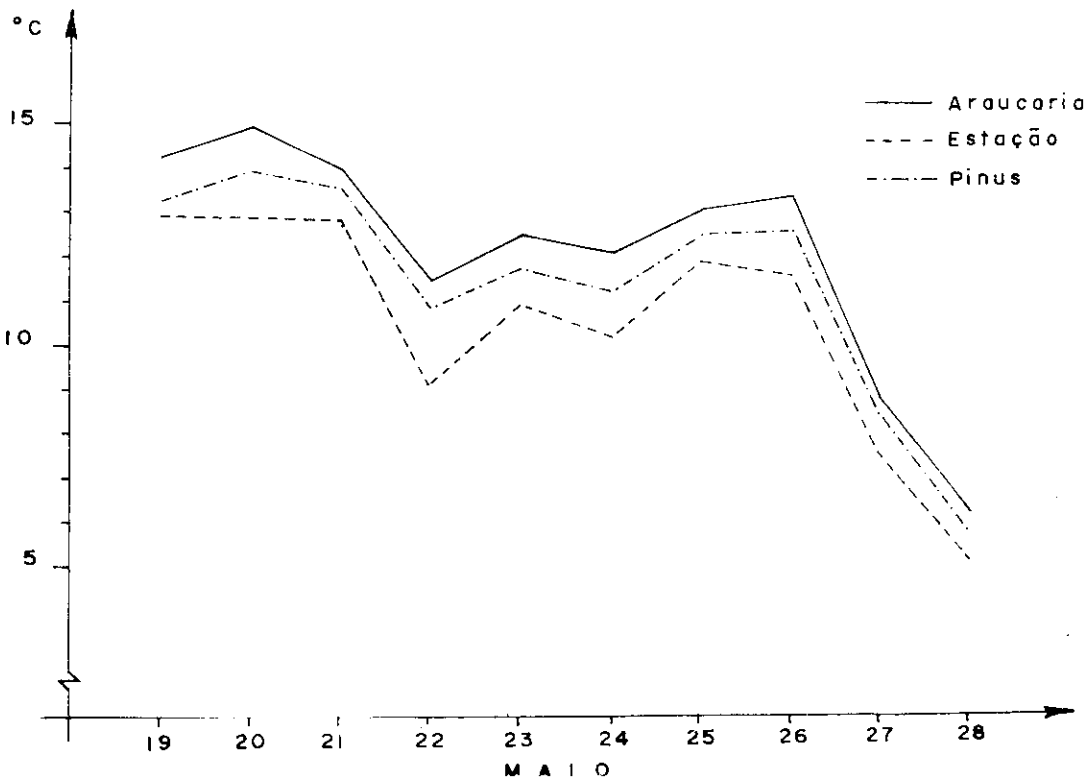


Fig. 4 — Variação da temperatura mínima diária em uma mata de Araucária, uma mata de Pinus e na Estação Meteorológica. Maio de 1974.

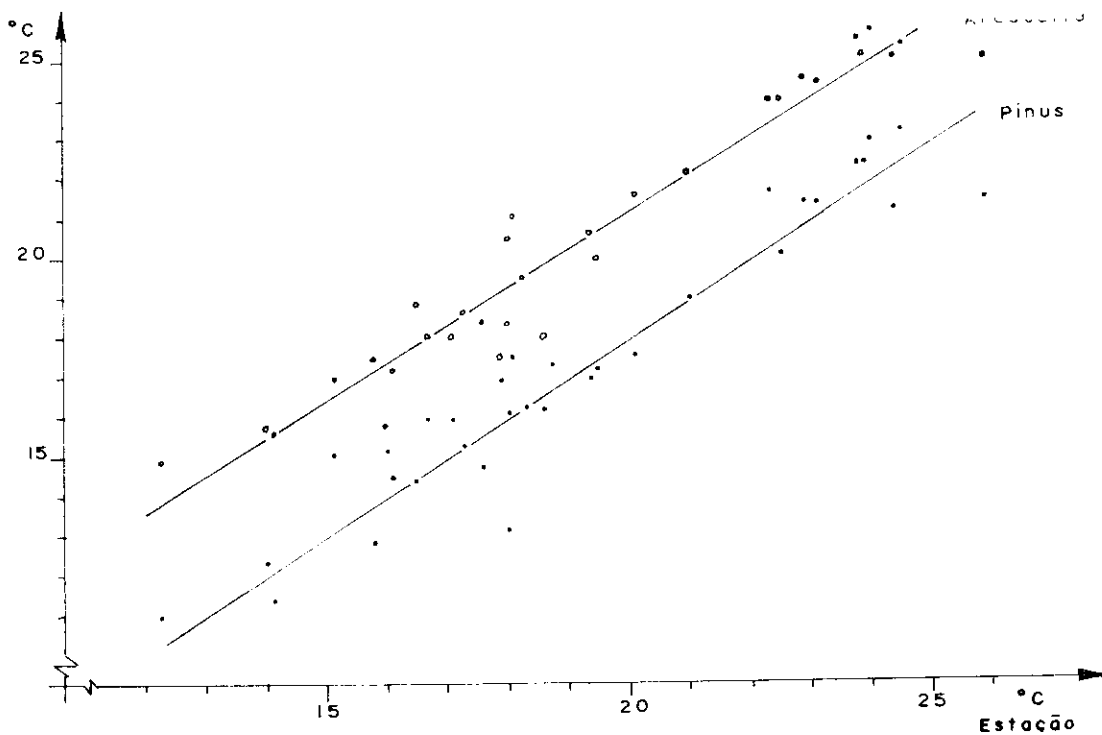


Fig. 5 — Correlação entre a temperatura máxima diária medida na Estação Meteorológica e a temperatura máxima diária, medida na mata de Araucária e na mata de Pinus.

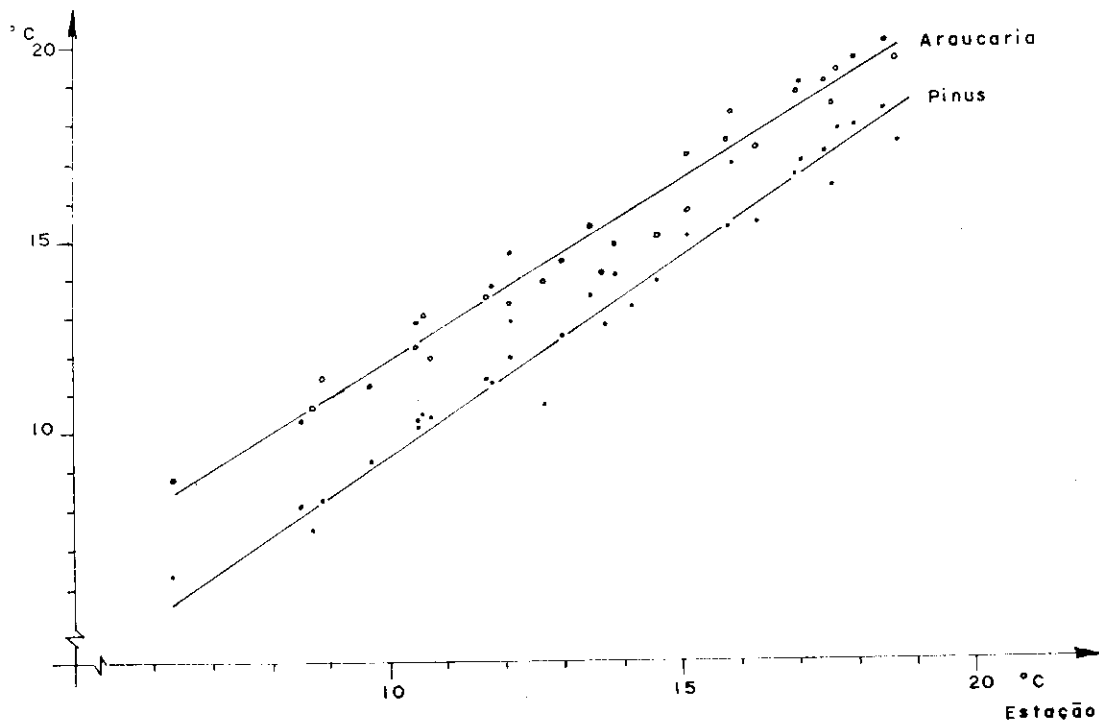


Fig. 6 — Correlação entre a temperatura média diária da Estação Meteorológica e a temperatura média diária medida na mata de Araucária e na mata de Pinus.

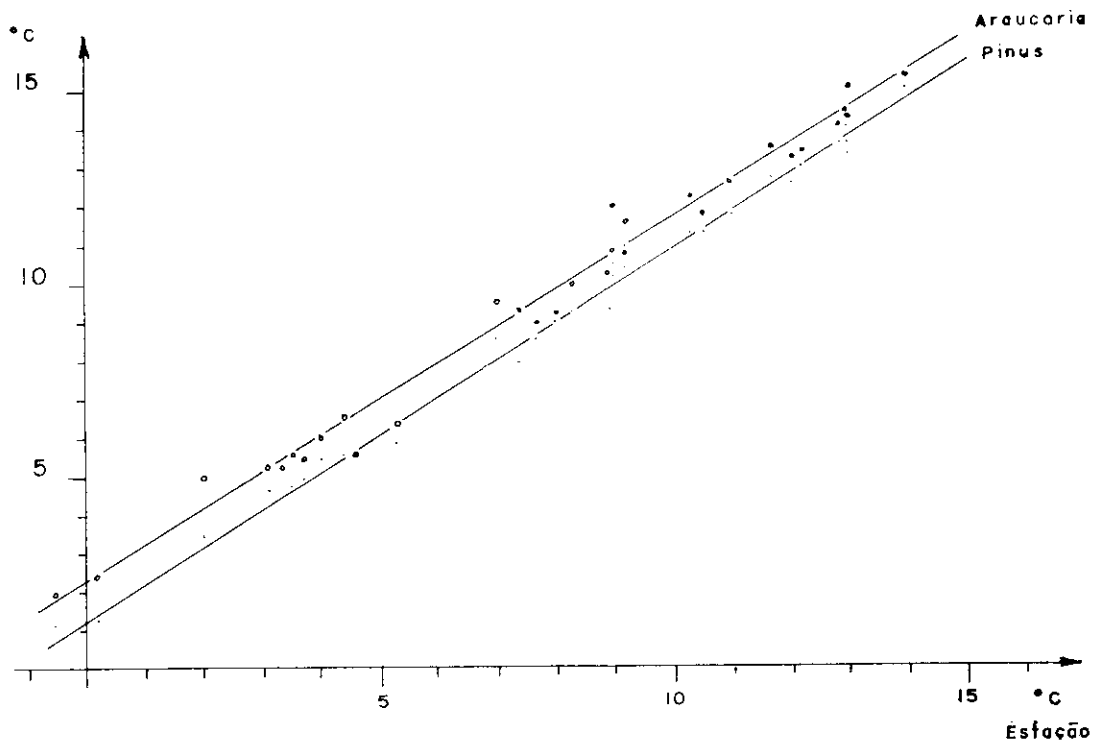


Fig. 7 — Correlação entre a temperatura mínima diária medida na Estação Meteorológica e a temperatura mínima diária medida na mata de Araucária e mata de Pinus.

3.3. Umidade relativa do ar

Na fig. 8 pode-se ver a variação da umidade relativa do ar nos três ambientes, antes e após uma precipitação pluviométrica de 33 mm, ocorrida nos dias 6 e 7 de junho. A precipitação foi medida apenas na estação meteorológica.

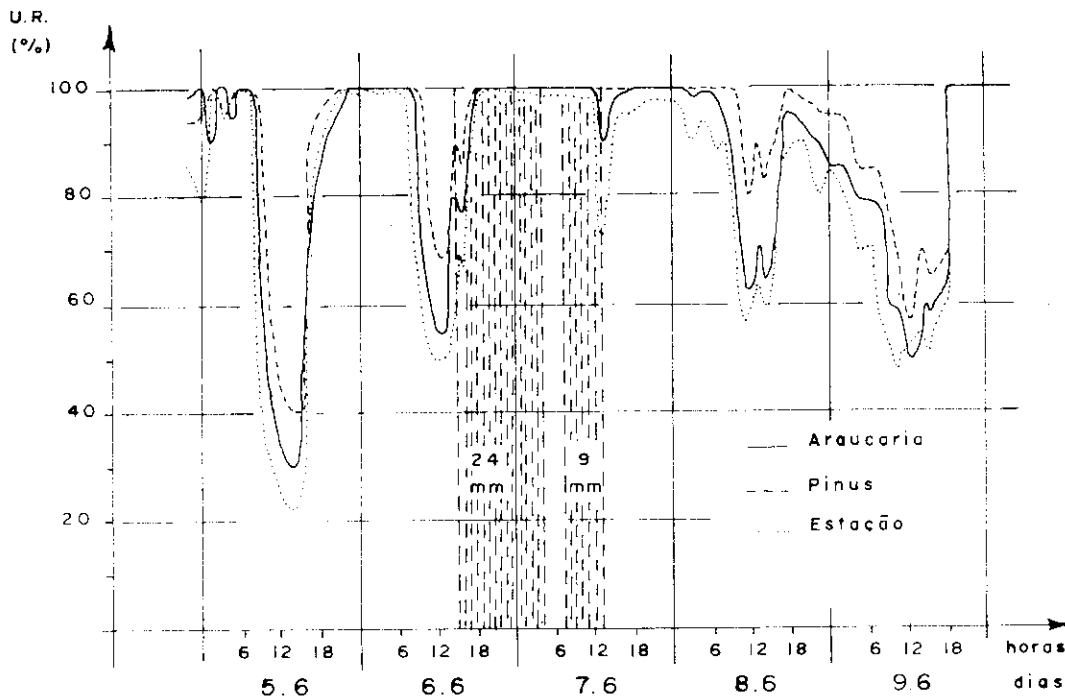


Fig. 8 — Variação da umidade relativa do ar na Estação Meteorológica, na mata de Araucária e na mata de Pinus, antes e após uma precipitação pluviométrica de 34 mm. Junho de 1974.

4. Discussão dos resultados

4.1. Radiação solar

As copas das Araucárias absorvem ou refletem cerca de 77% da radiação solar global incidente sobre as mesmas. Em consequência, as plantas que crescem no sub-bosque devem ser umbrófilas para que se desenvolvam satisfatoriamente. Plantas primordialmente heliófilas não têm condições de se desenvolver adequadamente. Caso sejam mesmo assim introduzidas, seu desenvolvimento será muito retardado.

Embora a radiação global seja tão reduzida, ocorrem momentos em que a radiação dentro da mata se aproxima muito da radiação acima das copas. Este fato se deve à abertura das copas das

Araucárias, permitindo que os raios solares penetrem até o sub-bosque. E é destes raios solares de que se aproveitam as plantas ali situadas para realizarem a fotossíntese vital.

4.2. Temperaturas mínimas, médias e máximas

As temperaturas mínimas, médias e máximas são mais altas dentro da mata de Araucária em relação às respectivas temperaturas em campo aberto. A explicação para este fato é que devido à penetração de parte da radiação solar até o solo da mata de Araucária, há um aquecimento do ar dentro da mata. Como as árvores impedem a movimentação do ar, esta massa de ar permanece estática, perdendo muito pouco calor. Como as copas

das árvores impedem uma perda de calor para a atmosfera durante as noites (efeito de estufa), tal qual uma camada de nuvens, a massa de ar dentro da mata não se resfria tanto durante as noites. No campo aberto, onde a movimentação do ar é livre, além da perda de calor da massa por irradiação, há a perda devida às misturas das massas de ar com diferentes temperaturas, por convecção e advecção.

Já dentro da mata de Pinus tal não sucede. Como este tipo de mata tem uma estrutura de copas mais compacta, no caso em estudo não havia quase penetração da radiação solar até o sub-bosque, o aquecimento do ar das camadas inferiores era menor, e conseqüentemente, as temperaturas médias e máximas foram mais baixas que as da estação meteorológica. As temperaturas mínimas são mais elevadas dentro da mata, porque as copas diminuem as perdas de calor para a atmosfera e por outro lado, impedem a circulação do ar, não ocorrendo também perdas acentuadas por convecção ou advecção.

Conseqüência imediata das temperaturas mais baixas dentro da mata é a menor atividade microbiana, cujo efeito se pode medir pela espessa camada de acículas indecompostas que cobre o solo.

Estas diferenças de temperatura associadas ao tipo de mata devem ser observadas no planejamento de parques, onde com a correta escolha das espécies arbóreas que serão plantadas será possível influenciar decisivamente o ambiente, permitindo um bem-estar da população que neles procura descanso, tanto no inverno como no verão. Pela correta mistura de espécies vegetais arbóreas podem ser criados ambientes que no verão são mais amenos e no inverno mais quentes que as áreas livres adjacentes.

4.3. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é um pouco mais elevada dentro da mata de Araucária que em campo aberto, e muito mais elevada dentro da mata de Pinus (Fig. 8). As menores umidades em campo livre são devidas principalmente à grande movimentação do ar. Na mata de Araucária, as umidades relativas mínimas foram

mais elevadas, porque a movimentação do ar sendo menor, permite uma saturação mais rápida da atmosfera, o que também sucede na mata de Pinus, porém em maior intensidade ainda. Nestas, as temperaturas mais baixas favorecem a saturação do ar com menores teores de vapor d'água.

5. CONCLUSÕES

Do presente trabalho conclui-se que uma mata de Araucária com regular densidade de copas absorve ou reflete 75% da radiação solar incidente sobre suas copas, chegando ao sub-bosque apenas 25% da mesma.

A temperatura dentro da mata de Araucária é mais elevada que a temperatura do campo aberto, principalmente pelo fato de que parte da radiação solar pode penetrar até as camadas inferiores da mata e aquecer o ar, e como não há movimentação do ar, este permanece com uma temperatura mais elevada. As copas impedem a perda de calor por irradiação noturna.

A mata de Pinus é mais fria que o campo, porque a radiação solar não pode chegar às camadas inferiores da mata devido à alta densidade das copas. É também muito úmida, ocorrendo dias em que o ar permanece saturado durante as 24 horas.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho somente foi possível graças ao empenho do Prof. Mauro Holzmann do Departamento de Fitotecnia da U.F.Pr., para conseguir as condições mínimas para executar os trabalhos de campo exigidos. Meus sinceros agradecimentos se estendem também aos meteorologistas da estação meteorológica, responsáveis pelas medições.

7. RESUMO

Com o objetivo de verificar a variação da radiação solar no campo e dentro de uma mata de Araucária e para definir as variações de temperatura no campo, nesta mesma mata, e numa mata de Pinus, foram medidas durante 32 dias a radiação solar, a temperatura e a umi-

dade relativa do ar destes ambientes. Para as medições foi escolhida uma mata de Araucária e uma mata de Pinus próximas à estação meteorológica da Fazenda Experimental do Setor de Ciências Agrárias da U.F.P., próximo à Curitiba.

As medições foram feitas entre 14 de maio e 16 de junho de 1974, utilizando-se para tal actinógrafos e termohigrógrafos. Os valores medidos foram submetidos à análise de regressão linear.

De posse das equações de regressão, pode-se dizer que 25% da radiação solar incidente sobre as copas das Araucárias penetra até o sub-bosque, e que esta mata é mais quente que o campo. A mata de Pinus é mais fria que o campo, e ambas as matas têm um sub-bosque mais úmido do que o campo. Estes dados são válidos para os meses e as condições meteorológicas de outono e inverno.

8. LITERATURA CITADA

1. CARTER, G.S. Reports of the Cambridge Expedition to British Guiana, 1933. Illumination in the rain forest at the ground level. *J.Linn. Soc. Zool.*, 38: 579-589, 1934.
2. JACKSON, L.W.R. & HARPER, R.S. Relation of light intensity to basal area of Shortleaf pine (*Pinus echinata*) stands in Georgia. *Ecology*, 36(1): 158-159, 1953.
3. SPURR, S.H. **Forest ecology**. New York, Ronald Press Company, 1964. 352 p.
4. WEBER, E. **Grundriss der Biologischen Statistik**. Stuttgart, G.Fischer, 1967. 674 p.