

VARIAÇÃO ESTACIONAL DA RADIAÇÃO SOLAR EM AMBIENTE EXTERNO E NO INTERIOR DE FLORESTA SEMIDECÍDUA¹

José Luiz Hernandez², Mário José Pedro Júnior^{2,3} e Ludmila Bardin²

RESUMO - Medições diárias de radiação solar global foram feitas, durante o período de junho de 2000 a janeiro de 2001, no interior de mata semidecídua e no ambiente exterior, tendo sido registrados valores médios de 1,1 e 19,3 MJ/m²/d, respectivamente. A transmissão de radiação solar para o interior da mata foi influenciada pela época do ano e variou de 3,3 a 8,2%, para o verão e o inverno. Equações de regressão, para estações do ano, foram desenvolvidas para estimar a radiação solar no interior da mata, em função de valores obtidos no ambiente externo.

Palavras-chave: Radiação solar, floresta, agrometeorologia, transmissão e microclima.

SEASONAL VARIATION OF SOLAR RADIATION AT AN OPEN SITE AND ON A SEMIDECIDUOUS FOREST UNDERSTORY

ABSTRACT - Daily solar radiation measurements were taken below the canopy of a semideciduous forest and at an open site. The mean values obtained during the period of measurements (June, 2000 to January, 2001), were 1.1 and 19.3 MJ/m²/d, respectively. The transmission of solar radiation to the forest understory was influenced by the season of the year and varied from 3.3% in the summer to 8.2% in the winter. Regression equations were developed taking into account the differences among the seasons to estimate the solar radiation inside the forest as a function of the open site values.

Key words: Solar radiation, forest, agro-meteorology, transmission and microclimate.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização das variáveis microclimáticas em bosques e florestas é essencial para avaliação de alternativas de manejo silvicultural (Chen et al., 1997), e as questões normalmente abordadas sobre o microclima de florestas têm sido basicamente a influência da floresta sobre as áreas vizinhas; as diferenças entre o interior e o exterior da floresta, bem como as relações entre o clima e o microclima interior, que influi no desenvolvimento de plântulas e árvores jovens em áreas reflorestadas (Yoshino, 1975; Pereira, 1997).

Um dos fatores mais importantes que influem no microclima é a atenuação da radiação solar pelo dossel das florestas naturais, por atuar diretamente no balanço

de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais. Em geral, 80% da radiação solar incidente é interceptada pelas copas das árvores e menos de 5% chega ao piso da floresta (Geiger, 1950; Yoshino, 1975).

Em revisão sobre o microclima de florestas, Kittredge (1948) mostrou que a porcentagem da radiação solar transmitida para o interior de uma floresta de pinheiros, ao norte de Minnesota (EUA), foi de 17 e 0,7 a 16% para nogueiras.

Vários autores, comparando medições de radiação solar no interior de florestas e em clareiras, obtiveram valores relativos de 15,6% no verão e 12,9% no inverno, para floresta de eucaliptos (Schumacher, 1992); 3,7 a 5,7%, em floresta de pinheiros (Chen et al., 1993); 18% em

¹ Recebido para publicação em 10.7.2002 e aceito para publicação em 30.4.2004.

² Instituto Agrônomo de Campinas – IAC-APTA-SAA, Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas-SP; ³ Bolsista do CNPq.

floresta de coníferas (Carlson & Groot, 1997); 6% para floresta decíduas (Morecroft et al., 1998); e 1,5% em floresta de pinheiros (Chen, 1999).

No Brasil, estudos de atenuação de radiação solar em florestas foram efetuados por Seitz (1976), em Curitiba (PR), tendo sido constatado que, em média, as copas das araucárias absorveram 75 a 80% da radiação solar global, permitindo que apenas 20 a 25% chegasse ao nível do solo. Cestaro (1988) também mostrou que, em Esmeralda (RS), a transmissão diária média no interior da mata de araucária foi de 6%, com valores oscilando entre um mínimo ocorrido no outono e um máximo no verão. Mostrou, ainda, uma elevação da luminosidade no interior da mata a partir de junho-julho, associando o fenômeno ao caráter semidecíduo apresentado pelo dossel nesta época do ano.

Na Amazônia, em floresta tropical úmida, em medições de transmissão de radiação realizadas ao nível do solo, foram verificadas variações de 1,2%, em Manaus (Shuttleworth et al., 1984), a 4,7%, em Tucuruí (Januário et al., 1992). Pereira (1997), analisando o regime radiativo desse tipo de floresta, citou que menos de 10% da radiação solar que atinge o topo das florestas atinge a vegetação de sub-bosque.

Pezzopane (2001), avaliando o microclima de uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa (MG), verificou que a transmissividade média de radiação solar global foi de 12,3%, tendo demonstrado a influência dos estratos superiores na disponibilidade energética no sub-bosque da floresta.

Levando-se em consideração os diferentes resultados encontrados na literatura sobre a transmissão de radiação solar em função do tipo de floresta e da estação do ano, foi desenvolvido este trabalho, visando caracterizar a variação estacional da transmissão de radiação solar global no interior de floresta semidecídua e desenvolver equações de estimativa da radiação solar no interior da mata, em função de valores obtidos em posto meteorológico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área de mata semidecídua do Instituto Agrônomo de Campinas, localizada no município de Jundiá (latitude: 23°06' S, longitude: 46°55' W). O clima do local, segundo Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico de inverno seco. No local predominam os

relevo ondulado e fortemente ondulado, com altitudes variando entre 680 e 760 m, formando cinco elevações e dois vales. Apresenta declividade acentuada (acima de 12%) em 80% da área total (Melo & Lombardi, 1998).

A mata onde foi realizado o presente estudo é um fragmento de 35 ha, remanescente da floresta mesófila semidecídua, apresentando estágio secundário de sucessão, margeada por áreas de recuperação recente. Ocorre alta diversidade florística, predominando espécies das famílias vegetais *Caesalpiniaceae*, *Fabaceae*, *Mimosaceae* (*Leguminosae*), *Euphorbiaceae*, *Lauraceae*, *Lecythidaceae*, *Meliaceae* e *Myrtaceae* (Hernandes, 1996), sendo a altura média das árvores em torno de 20 m.

As medições do total diário de radiação solar global foram feitas no posto meteorológico e em um ponto no interior da mata, utilizando-se em cada local um sensor de radiação solar fabricado pela *DAVIS INSTRUMENTS CORP* (sensor do tipo fotodiodo de sílica na faixa de comprimento de onda de 300 a 1.100 nm), instalados a 2 m de altura e acoplados a estações meteorológicas automáticas *DAVIS INSTRUMENTS CORP*, no período de 8 de julho de 2000 a 31 de janeiro de 2001, época em que os equipamentos estavam disponíveis.

Para caracterização da variação estacional da transmissão da radiação solar para o interior da mata, foram calculadas as porcentagens médias diárias de radiação solar transmitida e analisadas as diferenças sazonais dos valores médios e máximos.

Visando estimar a radiação solar transmitida a partir de medidas realizadas no posto meteorológico a 2 m de altura, para o interior da mata foram realizadas análises de regressão linear entre os dados obtidos no posto meteorológico e no interior da mata, excetuando-se um conjunto de dados, que foi utilizado como independente para validação das estimativas.

O conjunto de dados independentes abrangeu dias caracterizados como nublados, ensolarados, de inverno, de primavera e de verão, e foram utilizados para validar as estimativas de radiação solar no interior da mata. A validade das equações de estimativa foi feita por comparação entre os dados observados e estimados por meio de análise de regressão linear. Para verificar a precisão e a significância das correlações foi utilizada a tabela de valores críticos de r a 5 e 1%, transcritos de Fischer em Conagin et al. (1999), e pelo índice de concordância de Willmott (índice d), descrito por Willmott et al. (1985),

para verificar a exatidão. O índice d foi obtido pela seguinte equação:

$$d = 1 - [\sum(P_i - O_i)^2 / \sum(|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2]$$

em que P_i = valor previsto; O_i = valor observado e O = média dos valores observados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos relativos à variação estacional da radiação solar global medida no ambiente externo e no interior da mata semidecídua, durante o período analisado, estão na Figura 1.

Pode-se notar que a radiação solar no ambiente externo apresentou valores mais baixos no período do inverno e primavera e mais elevados durante o verão. No interior da mata, ao contrário, os valores mais altos de radiação solar foram registrados no período do inverno e primavera, enquanto os mais baixos ocorreram no verão.

Durante o período analisado a radiação solar global média diária no ambiente externo foi de 19,3 MJ/m²/d, enquanto no interior da mata não ultrapassou 1,1 MJ/m²/d. O valor máximo de radiação solar diária no ambiente externo foi de 30,9 MJ/m²/d e ocorreu em 7 de dezembro de 2000, enquanto no interior da mata o valor

máximo de radiação solar registrado foi de 2,4 MJ/m²/d, em 10 de setembro de 2000.

A porcentagem média de transmissão da radiação solar para o interior da mata, durante o período analisado, foi de 5,5%, tendo o maior valor ocorrido em 12 de setembro de 2000, atingindo 13,9%.

Sazonalmente, também foram registradas as diferenças entre os ambientes de exterior e interior da mata e a variação da transmissão da radiação solar para o interior da mata semidecídua (Figura 2).

Durante o inverno, a radiação solar média diária registrada no ambiente externo foi de 14,9 MJ/m²/d, enquanto na mata a média foi de 1,2 MJ/m²/d, com 8,2% de transmissão para o interior da mata. Neste período os valores máximos diários registrados foram 21,3 e 2,1 MJ/m²/d, fora e dentro da mata, respectivamente. Na primavera, no ambiente externo, foi registrada uma média diária de 22,5 MJ/m²/d e na mata de 1,4 MJ/m²/d, ou 6,4% de transmissão, enquanto os valores máximos registrados foram 28,5 MJ/m²/d no local aberto e 2,3 MJ/m²/d no interior da mata. No verão, a média diária de radiação solar no ambiente externo foi de 23,3 MJ/m²/d e no interior da mata de 0,8 MJ/m²/d, com transmissão de 3,3%. Os valores máximos diários registrados neste período foram de 30,7 MJ/m²/d no ambiente externo e 1,3 MJ/m²/d no interior da mata.

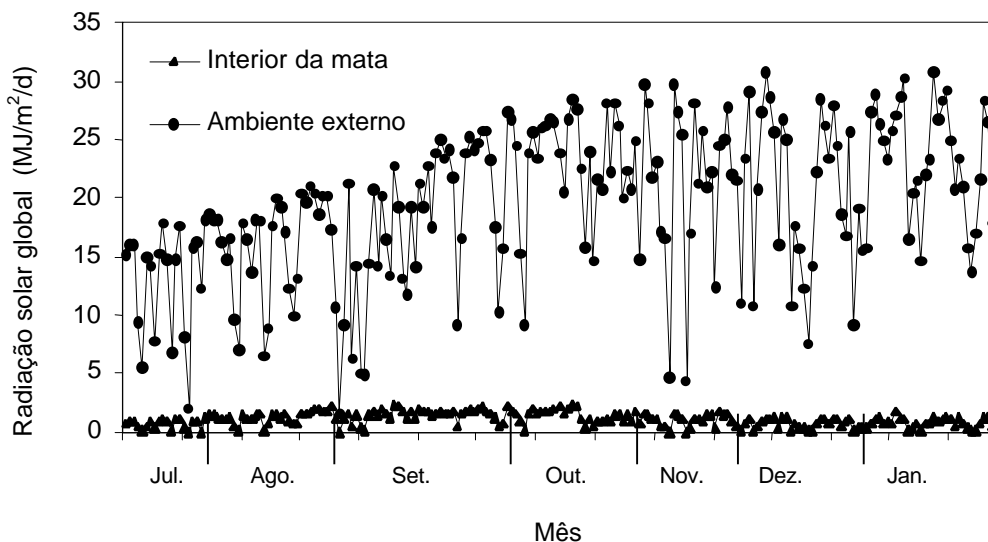


Figura 1 – Total diário da radiação solar global no interior da mata e em ambiente externo, no período de 8 de julho de 2000 a 31 de janeiro de 2001, em Jundiá, SP.

Figure 1 – Daily total solar radiation outside and inside the forest, from July 8, 2000 to January 31, 2001. Jundiá, São Paulo, Brazil.

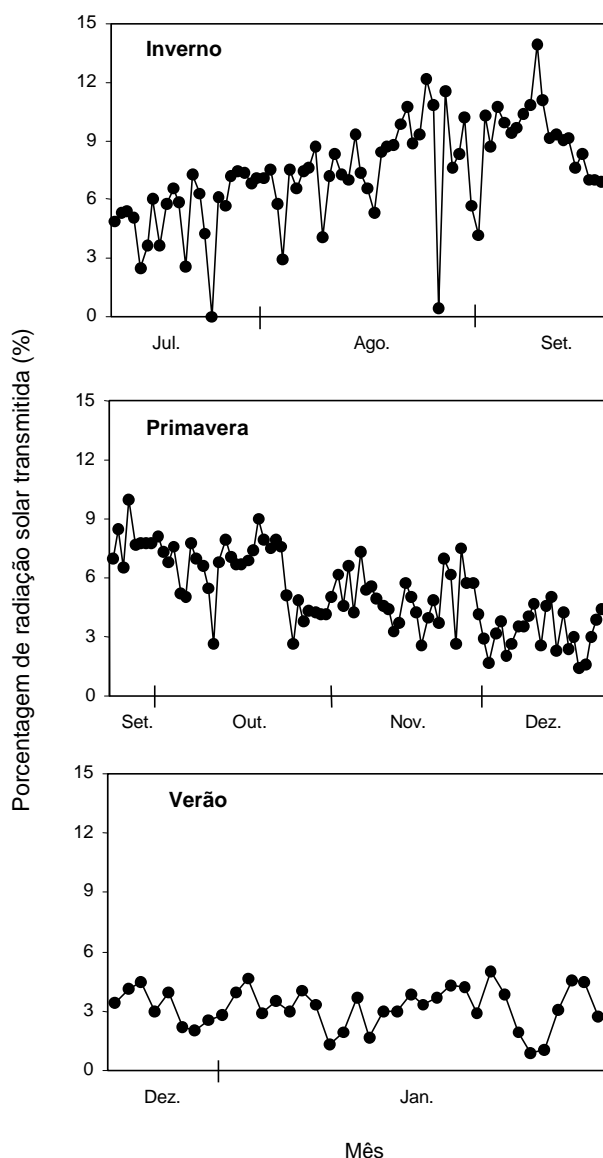


Figura 2 – Transmissão de radiação solar no interior de floresta semidecídua em diferentes estações do ano.
Figure 2 – Transmission of solar radiation inside a semideciduous forest for different seasons.

A comparação dos dados obtidos neste estudo e os relatados na literatura mostram que a mata semidecídua do Planalto Paulista intercepta maior quantidade de radiação solar que outros tipos de cobertura, como plantios de eucaliptos (Schumacher, 1992) ou de nogueiras (Kittredge, 1948; Geiger, 1950), por exemplo. No entanto, é menos eficiente que plantios densos e bem desenvolvidos de pinheiros (Kittredge, 1948), equivalendo, no

entanto, a matas de araucárias (Cestaro, 1988; Seitz, 1976). Esta relação, entretanto, é dependente da estação do ano, em virtude do estágio fenológico característico de cada tipo de vegetação, principalmente quando se trata de plantas decíduas. A maior transmissão de radiação solar durante o inverno e início da primavera apresentada pelo ambiente de mata, neste estudo, provavelmente está relacionada, ao comportamento semidecíduo da vegetação arbórea, cuja perda de parte das folhas no período mais seco e mais frio do ano diminui sensivelmente a cobertura proporcionada pelo dossel, permitindo que uma maior quantidade de radiação solar penetre no interior da mata. Este fato também foi notado por Geiger (1950), Schumacher (1992) e Cestaro (1988), que detectaram uma elevação da luminosidade no interior da mata, a partir do início do inverno, associando o fenômeno ao caráter semidecíduo apresentado pelo dossel nessa época do ano.

Na Figura 3 estão apresentadas as relações entre a radiação solar global no interior da mata e o ambiente externo, bem como as equações de regressão com os respectivos coeficientes de determinação (R^2). Os coeficientes angulares da reta de regressão aumentaram de 0,065 para 0,093, respectivamente, para o verão e o inverno, indicando maior transmissão da radiação solar durante o inverno, como observado, também, por Schumacher (1992) e Cestaro (1988).

Os coeficientes de determinação obtidos para o inverno, primavera e verão foram, respectivamente, 0,75, 0,54 e 0,83. Durante a primavera observou-se o menor valor do coeficiente de determinação ($R^2=0,54$), provavelmente por ser uma estação intermediária entre as fases fenológicas correspondentes à época de menor e maior enfolhamento da mata semidecídua.

O teste da validade das estimativas da radiação solar global no interior da mata para diferentes estações do ano, obtidas através das equações de regressão aplicadas sobre um conjunto de dados independentes, ao longo do período estudado, feito por meio de correlação entre valores estimados e observados, permitiu a obtenção de coeficientes R^2 , de determinação, índices “d” de concordância, de Willmott, além dos erros aleatórios médios (Eam), cujos valores estão no Quadro 1 e na Figura 3.

Pode-se verificar que o teste de validação das estimativas apresentou, para as diferentes estações do ano, coeficientes de determinação (R^2) e índice de concordância (d) superiores a 0,9, indicando que a estimativa da

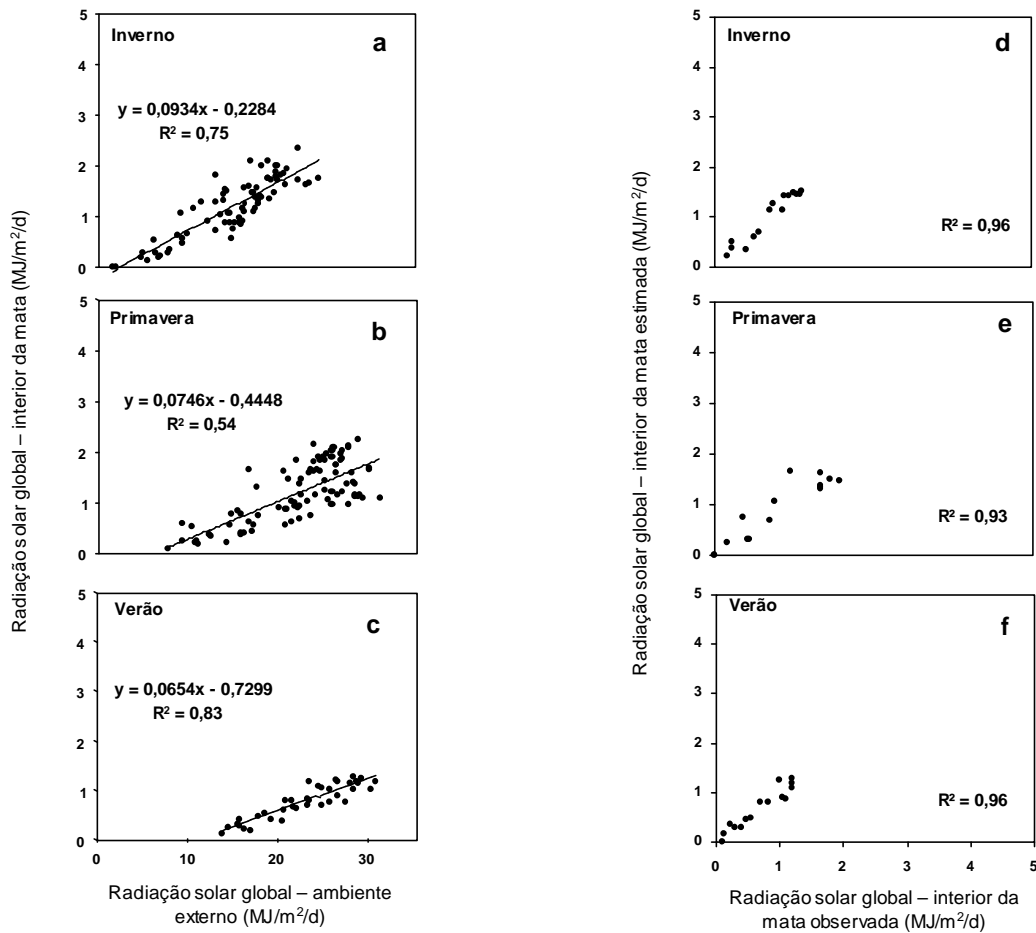


Figura 3 – Relações entre a radiação solar global em ambiente externo e no interior da mata semidecídua (a, b, c) e comparação entre valores estimados e observados de radiação solar global (d, e, f) para diferentes estações do ano.
Figure 3 – Outside and inside global solar radiation relationships for a semideciduous forest (a, b, c) and comparison of observed and estimated global solar radiation values (d, e, f) for different seasons.

Quadro 1 – Índice de concordância de Willmot, erro absoluto médio e coeficiente de determinação, para diferentes estações do ano, do teste de validade das equações de estimativa da radiação solar global no interior da mata

Table 1 – Willmot index of agreement, mean absolute error and determination coefficient of the regression equation's ability to estimate solar radiation inside the forest for different seasons

Estação do Ano	d	Eam	R²
		(MJ/m²/d)	
Inverno	0,949	0,163	0,962**
Primavera	0,959	0,201	0,930**
Verão	0,977	0,098	0,957**

(d) = índice de concordância de Willmott; (Eam) = erro absoluto médio; (R²) = coeficiente de determinação; e ** = significativo a 1%.

radiação solar global no interior da mata, a partir de dados obtidos em ambiente externo (posto meteorológico), pode ser feita com boa precisão e exatidão, com erros aleatórios médios variando entre 0,098 e 0,201 MJ/m²/d, em função da estação do ano.

4. CONCLUSÃO

A radiação solar global transmitida para o interior da mata semidecídua a 2 m de altura foi, em média, 5,5% da radiação solar medida em ambiente externo, tendo variado de 3,3% para o verão, 6,4% para a primavera e 8,2% para o inverno. As estimativas de radiação solar no interior da mata, em função da radiação solar obtida em



posto meteorológico, por meio de equações de regressão simples e para cada estação do ano, apresentaram elevada precisão e exatidão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARLSON, D. W.; GROOT, A. Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 87, p. 313-329, 1997.

CESTARO, L. A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracuri, Esmeralda, RS. **Revista Árvore**, v. 12, n. 1, p. 41-57, 1988.

CHEN, J.; FRANKLIN, J. F.; SPIES, T. A. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 63, p. 219-237, 1993.

CHEN, J. Q.; FRANKLIN, J. F. Growing season microclimate variability within an old-growth Douglas-fir forest. **Climate Research**, v. 8, n. 1, p. 21-34, 1997.

CHEN, J. Q. et al. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. **Bioscience**, v. 49, n. 4, p. 288-297, 1999.

CONAGIN, A.; NAGAI, V.; AMBRÓSIO, L. A. Princípios de técnica experimental e análise estatística de experimentos. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. (Apostila do curso de pós-graduação – Mestrado)

GEIGER, R. The climate near the ground. 2.ed. Cambridge: Harvard University Printing Office, 1950. 482 p.

HERNANDES, J. L. Caracterização da vegetação arbórea nativa da Estação Experimental de Jundiaí. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 11., 1996, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: SBSP, 1996. p. 85.

JANUÁRIO, M.; VISWANADHAM, Y.; SENNA, R. C. Radiação solar total dentro e fora da floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazônica**, v. 22, p. 335-340, 1992.

KITTREDGE, J. Forest influence: the effects of wood vegetation on climate, water and soil, with applications to the conservation of water and control of floods and erosion. New York: MacGraw-Hill, 1948. 394 p.

MELO, A. R.; LOMBARDI NETO, F. Planejamento agroambiental da Estação Experimental de Jundiaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA/UFLA 1998. p. 389-391.

MORECROFT, M. D.; TAYLOR, M. E.; OLIVER, H. R. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 90, n. 1/2, p. 141-156, 1998.

PEREIRA, A. Radiation regime of a tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 2, p. i-viii, 1997.

PEZZOPANE, J. E. M. **Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG.** 2001. 225 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. torelliana* F. Muell.** 1992. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

SEITZ, R. A. Estudo da variação da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma mata de *Araucaria angustifolia* em relação ao terreno livre. **Floresta**, n. 7, p. 36-45, 1976.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal R. Meteorology Society**, v. 110, p. 1163-1169, 1984

YOSHINO, M. M. Climate in a small area: an introduction to local meteorology. Tokio: University of Tokio Press, 1975. 549 p.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, n. 90, p. 8995-9005, 1985.