

RADIAÇÃO SOLAR TOTAL DENTRO E FORA DE FLORESTA TROPICAL ÚMIDA DE TERRA FIRME (TUCURUÍ, PARÁ). (1)

Mauro Januário (2)

Y. Viswanadham (3)

Renato C. Senna (2)

**RESUMO**

Medidas de radiação solar global foram executadas dentro e fora de mata tropical úmida de terra firme durante o dia 07 de novembro de 1986, em Tucuruí, Pará. As intensidades de radiação solar incidentes em 3 sensores instalados aleatoriamente no chão da floresta e um sensor localizado em área aberta (sensor padrão) são avaliadas e intercomparadas. A radiação média que atinge o chão da floresta foi 4.7% da radiação incidente em área aberta adjacente à floresta. As diferenças entre as medidas dos sensores da mata e o padrão pode ser atribuída à distribuição espacial heterogênea da radiação solar que alcança o chão da floresta.

**INTRODUÇÃO**

Pesquisas sobre o papel da radiação solar no balanço energético das plantas em várias regiões do mundo, têm sido desenvolvidas. Um problema comum aos trabalhos é a medida de radiação penetrante em áreas vegetadas (culturas e matas homogêneas). Grande parte das pesquisas neste campo da ciência são executadas em áreas de florestas homogêneas, principalmente pinus e coníferas (Gay et al., 1971; Reifsnnyder et al., 1971; McCaughey, 1981). Estudos em regiões tropicais são escassos. Na região Amazônica destacam-se Shutteworth et al. (1984) e Goldman et al. (1985).

A partir de 1980, quando foi assinado convênio entre Centrais Elétricas do Norte (ELETRONORTE) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), para estudos ecológicos na área de inundação de reservatórios de médio e grande porte, oportunidades têm surgido para a realização de trabalhos, inéditos nesta região. No âmbito deste projeto as primeiras medidas de radiação solar penetrante foram realizadas em 1985 por Goldman et al. (1985).

O presente estudo desenvolveu medidas de radiação solar global, que alcança chão da floresta, na mesma área de estudo do trabalho referido acima, na época de transição da estação seca para a chuvosa, no mês de novembro. Limitado por dificuldades técnicas, o trabalho apresenta dados coletados, médias horárias e estima a atenuação exercida pela floresta.

---

<sup>1</sup> Convênio entre ELN/CNPq/INPA, projeto "Impacto Ambiental em áreas de Hidrelétricas na Amazônia".

<sup>2</sup> Meteorologista do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus - AM.

<sup>3</sup> Meteorologista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O sítio experimental foi fixado em área preservada (reserva ecológica) e com base de apoio permanente, designada "Base nº 4", cujas coordenadas são 0415'S e 4933'W, às margens do lago artificial da barragem da hidrelétrica de Tucuruí. A área florestada, sob a qual foram instalados 3 sensores, corresponde a mata densa, de porte alto e heterogênea, sobre relevo dissecado quase plano a partir de declives fortes e curtos de aproximadamente 50 metros, em relação às águas do reservatório (Revilla, 1984). O sensor padrão foi instalado no único local desmatado, no qual se encontra a parte física da base, aberto e amplo, sem interferências que obstruíssem a trajetória do feixe solar até o instrumento. A distância aproximada entre os sensores do interior da mata e o padrão era de 400 metros.

Os aparelhos utilizados foram piranômetros miniaturizados, marca LI-COR, lidos através de 2 radiômetros (LI-188B-Integrating/Quantum/Radiometer/Photometer e LI-185B-Quantum/Radiometer/Photometer). O radiômetro LI-188B (digital) mede sobre intervalos de tempo específicos (10s, 100s, 1000s) e a radiação acumulada é dividida pelo comprimento do intervalo. Nas medidas aqui representadas o intervalo de integração foi de 10s. A precisão deste medidor, para temperaturas entre 0C e 55C, é de +/-1% do fundo de escala e +/-1 dígito. O modelo LI-185B (analógico), cuja precisão é de 1% do fundo de escala, entre 0C e 55C, mede instantaneamente a radiação. Para nenhum dos modelos pode-se dispor de registradores.

Três piranômetros, que medem no intervalo de comprimento de onda de 400 a 1100 nm, foram distribuídos aleatoriamente no chão da floresta dentro de uma área restrita (30 m<sup>2</sup>), permitindo uma movimentação necessária para a leitura no radiômetro LI-188B, dos 3 aparelhos. Para a leitura do piranômetro instalado em área descoberta utilizou-se o LI-185B. Para os sensores, sob condições naturais da luz do dia, o erro absoluto típico é de +/-3% e sua sensibilidade é de 80uA por 1000Wm<sup>-2</sup>.

O período de medidas foi compreendido entre 07:40h e 17:40h, no dia 07 de novembro de 1986. Durante 10 minutos mediou-se ininterrupta e simultaneamente a radiação solar global nos 2 conjuntos de sensores (dentro e fora da floresta), iniciadas 5 minutos antes e finalizadas 5 minutos depois de horários pré-estabelecidos, que somam 29. Para cada série foi calculada a radiação incidente média sobre 10 minutos nos 4 piranômetros utilizados.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em regiões cobertas com vegetação densa, especificamente florestas tropicais, somente uma pequena fração da radiação do sol e do céu chega ao solo, sendo variável no espaço e tempo. A vegetação é o fator que controla o fluxo de energia através de efeitos combinados da distribuição da biomassa, geometria e características ópticas, que dependem da fenologia da mata (Hutchison, 1977). Sutton (1953), analisando o aspecto da pequena parcela de energia que chega ao chão de área vegetada, infere que a energia disponível, para realizar os processos físicos, é obtida pelo fluxo de calor para baixo causado por condução e mistura turbulenta.

A radiação que atinge a superfície da Terra (radiação total ou global) é dividida em 2 frações: direta do sol e difusa, relativa à passagem pela atmosfera. A penetração do feixe direto é muito variável, pois depende da densidade de fluxo incidente, do tipo, tamanho, número e distribuição espacial de "sunflecks" (Miller, 1971). Os fatores que governam a passagem da radiação difusa (distribuição do brilho do céu, características ópticas e geometria da biomassa) não são de variabilidade grande. Portanto ela é mais uniforme no espaço e tempo (Hutchison, 1977).

A Figura 1 apresenta a distribuição temporal da irradiância para os 3 piranômetros colocados dentro da floresta (Figuras 1a, 1b, 1c) e a irradiância média destes sensores juntamente com a variação temporal da radiação no padrão (Figura 1d). Nos horários de 08:40h e 09:00h, para os sensores de dentro da mata, e 09:20h e 12:00h, para o padrão, não foi possível realizar as medidas por razões de ordem técnica.

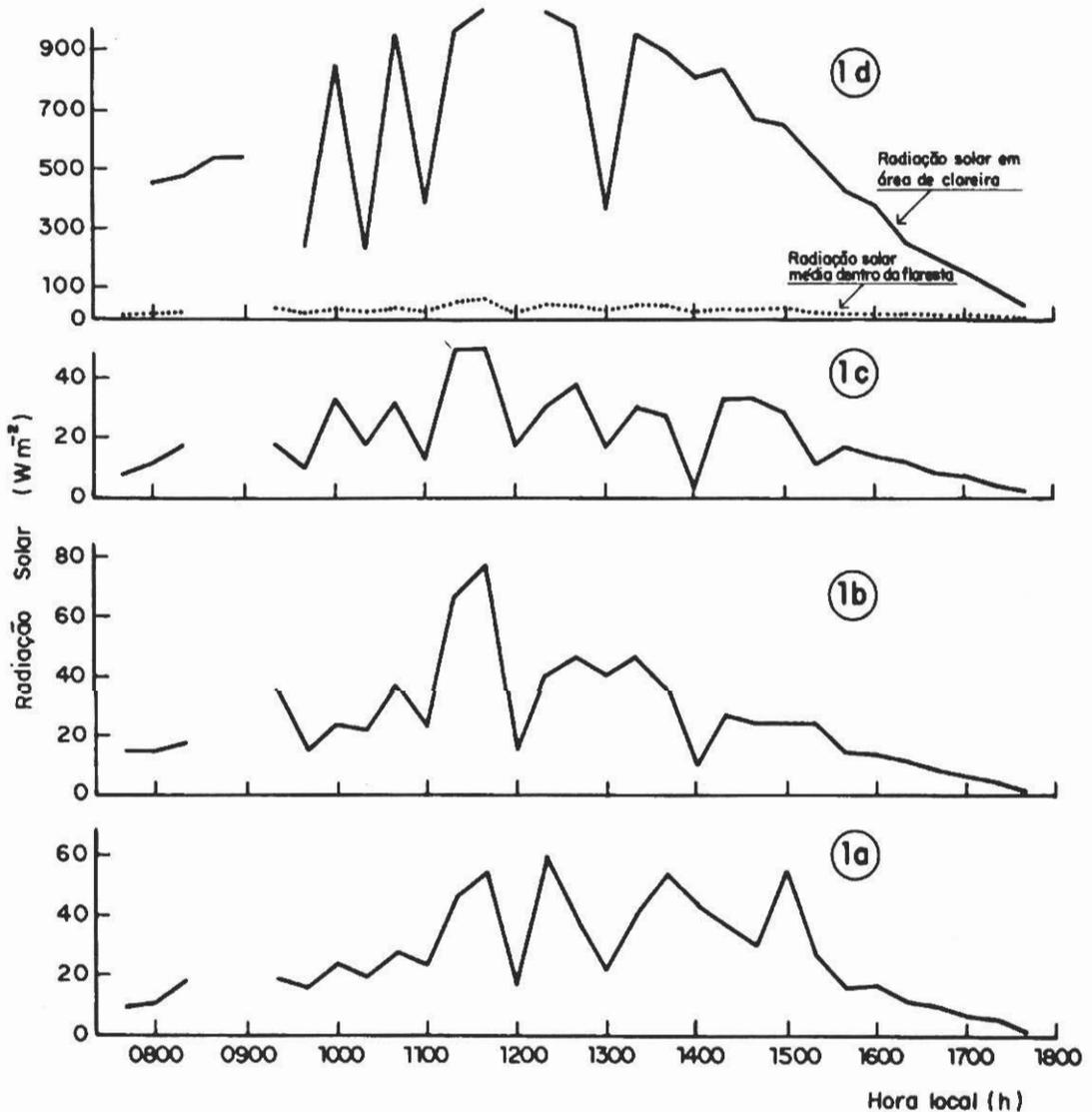


Fig. 1. Distribuição da radiação solar em função da hora local para 3 piranômetros instalados dentro da floresta (1a, 1b., 1c) e um situado em área aberta (1d). A radiação média para os 3 sensores da mata é apresentado em 1d. Medidas feitas em 07.11.86 em Tucuruí/PA.

A Figura 2 é um diagrama entre a radiação global média incidente nos 3 sensores e a radiação incidente no padrão.

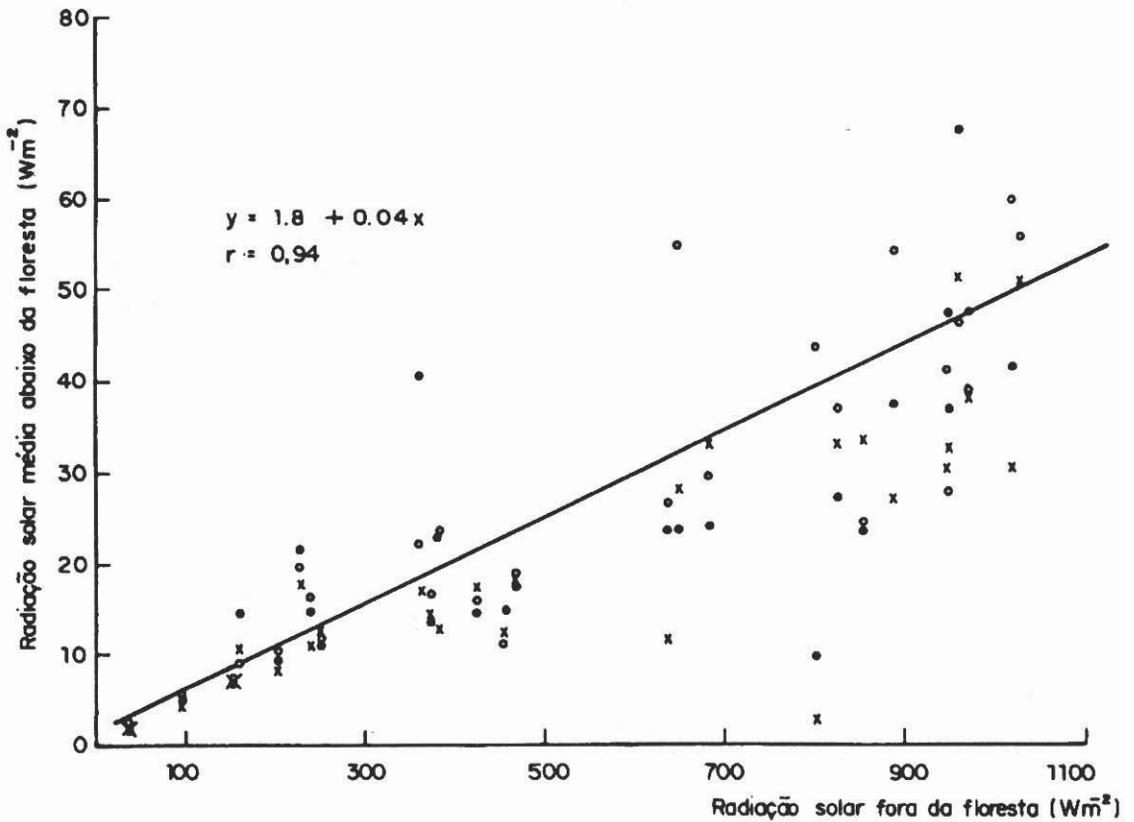


Fig. 2. Relação entre o fluxo de radiação solar incidente na clareira e o fluxo médio para 3 pontos amostrais no chão da floresta amazônica em Tucuruí, Pará. A reta é a melhor aproximação encontrada por mínimos quadrados entre a radiação solar média, alcançando o chão da floresta, e a radiação solar fora da floresta.

Equação da reta de regressão:  $Y = 1,8 + 0,04 X$

Y radiação solar na clareira; X radiação solar dentro da floresta (índice dos três sensores);

Coefficiente de correlação:  $r = 0,94$ .

As bruscas variações do fluxo de energia solar (Figuras 1a, 1b, 1c) entre 11:00h e 15:00h significam períodos de nebulosidade. Para horários nos quais não ocorre interferência de nuvens (15:00h às 17:40h), a radiação medida no chão tem comportamento similar à curva de radiação medida na área de clareira. A atenuação da mata é constatada para o horário de 14:00 para 2 sensores, cujas curvas médias estão nas Figuras 1c e 1b, posto que no mesmo horário a incidência no outro sensor (Figura 1a) chega a ser aproximadamente 4 vezes maior. A variação apresentada na Figura 1c, horário de 15:20h, não seguindo a curva padrão, demonstra também que, para este ponto amostral, a atenuação da floresta é maior do que em relação aos outros sensores (Figuras 1a, 1b).

A porcentagem média das frações da energia incidente nos sensores de dentro da floresta, em relação ao padrão, para o período de integração (07:40h às 17:40h), foi de 4.7%. Este valor indica que grande parte da energia que chega na floresta é atenuada pela biomassa.

O resultado encontrado é maior do que o valor avaliado por Shuttleworth et al. (1984) para a região de Manaus (floresta amazônica), para a qual apenas 1.2% da radiação incidente na copa atinge o chão da floresta, utilizando-se um ponto amostral e período de 203 horas de integração. Os mesmos autores citam um percentual de 4% em medidas semelhantes na floresta da Guatemala. Gay et al. (1971) encontraram 18% para floresta de pinus.

Apesar do percentual encontrado ser compatível com os dados de literatura, existem fatores que podem ter contribuído para as discrepâncias. São eles: número de pontos amostrais pequeno; período de medidas curto; falta de sistema de aquisição contínuo de dados; diferenças entre medidas através dos medidores analógicos (dados instantâneos) e digital (dados integrados); grande distância entre os 2 conjuntos de sensores.

## CONCLUSÃO

Radiação global de onda curta (400-1100nm) foi medida abaixo e fora da floresta tropical úmida (Amazônia). A atenuação da radiação pela biomassa foi analisada através de medidas simultâneas de 2 conjuntos de piranômetros. A fração da radiação total média penetrante, calculada para 3 sensores de dentro da mata, foi de 4.7% da radiação incidente na clareira.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do Setor de Ciências do Ambiente do INPA, Sra. Maria Solange e Sr. Sérgio Magno pelo tratamento estatístico dos dados e também ao pesquisador Sr. Ari de O. Marques pelas sugestões apresentadas.

## SUMMARY

Measurements of global solar radiation within and outside the tropical forest were made on 7th november 1986 in the area of the Tucuruí, Para. The intensities of solar radiation at 3 sensors distributed randomly on the forest floor and one sensor located in an open area (standar sensor) are evaluated and intercompared. The average solar radiation which reachead the forest was 4.7% of the incident radiation over an open area. The diferences among the measurements of sensors and the standar sensorwas atributed to heterogeneous spatial distribution of sunlight penetration into the forest floor.

## Referências bibliográficas

- Gay, L. W.; Knoerr, K. R.; Braaten, M. O. - 1971. Solar radiation variability on the floor of a fine plantation. **Agricultural Meteorology**, 8:39-50.
- Goldman, G. H.; Fattori, A. P.; Januário, M. - 1985. Variação espacial e temporal da irradiância solar e da razão entre vermelho e vermelho extremo, que chegam ao solo em diferentes micro-habitats na região de Tucuruí/PA. [no prelo].

- Hutchison, B. A. - 1977. The distribution of solar radiation within a deciduous forest. **Ecological Monographs**, 42(2):185-207.
- Martsolf, J. D.; Decker, W. L. - 1970. Microclimate modification by manipulation of net radiation. **Agricultural Meteorology**, 7:197-216.
- McCaughey, J. H. - 1981. Impact of clearcutting of coniferous forest on the surface radiation balance. **Journal of Applied Ecology**, 18:815-826.
- Miller, E. E.; Norman, J. M. - 1971. A sunfleck theory for plant canopies. I. Lengths of sunlit segments along a transect. **Agronomy Journal**, 63:735-738.
- Reifsnyder, W. E.; Furnival, G. M.; Horowitz, J. L. - 1971. Spatial and temporal distribution of solar radiation beneath forest canopies. **Agricultural Meteorology**, 9:21-37.
- Revilla, J. D. - 1984. Estimativa da fitomassa no reservatório da UHE-Tucuruí. **Relatório setorial de "Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na região do reservatório da UHE-Tucuruí"**. 1º semestre. Convênio ELETRONORTE/CNPq/INPA. 16 p.
- Shuttleworth, W. J.; Gasch, J. H. C.; Lloyd, C. R.; Moore, C. J.; Roberts, J.; Marques, A. de O.; Fisch, G. F.; Silva V. de P.; Ribeiro, M. de N. G.; Molion, L. B. C.; Sà, L. D.; Nobre, J. C. A.; Cabral, O. M. R.; Patel, S. R.; Moraes, J. C. - 1984. Observations of radiation exchange above and below Amazonian Forest. **Quart. J. R. Met. Soc.**, 110:1163-1169.
- Sutton, O. G. - 1953. **Radiation, Micrometeorology**. McGraw-Hill. New York. p. 158-190.

(Aceito para publicação em 09.08.1991)