

COMPARAÇÃO ENTRE OS PERFIS DE RADIAÇÃO SOLAR DENTRO DE AMBIENTE DE FLORESTA PARA DIAS COM DIFERENTES COBERTURAS DE NEBULOSIDADE

Rildo Gonçalves de Moura, rildo@cptec.inpe.br

Antônio Ocimar Manzi, manzi@cptec.inpe.br

Valner da Silva Nogueira, valner@met.inpe.br

David Mendes, david@cptec.inpe.br

Centro de Previsões e Estudos Climáticos CPTEC – INPE
Rodovia Presidente Dutra Km 40, Cachoeira Paulista – SP

ABSTRACT

During the micrometeorological experiment carried out during the WETAMC Campaign (from 26/01 to 10/03) measurements of solar radiation were made on a tropical forest environment, at Biological Reserve of Jaru, RO (10° 05' S; 61° 56' W). Short wave radiation flux were collected using Kipp & Zonen pyranometers and photosynthetically active radiation flux (PAR), using LICOR quantum sensors, on the top of a 60 m tower, and at 5 levels (35, 30, 25, 15, 10 and 5 meters) inside the canopy, by a set of 12 pyranometers and 12 quantum sensors, distributed on three sides (South, East and West) of the tower. The behaviors of incident short wave radiation and PAR were studied along the vertical profile for days with different cloud cover. Results showed that, on average, the solar radiation did not present substantial percentile differences from one level to another, when comparing days with different cloud cover. In other words, independently on day's cloudiness condition, the percentile profile of solar radiation inside the forest presented approximately the same percentile extinction coefficient.

INTRODUÇÃO

A interação existente entre a radiação solar e o sistema florestal reveste-se de grande importância para a compreensão dos processos de fisiologia vegetal, produtividade de biomassa e trocas turbulentas de energia e massa entre a floresta e a atmosfera. O estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, assim como em seu interior, ainda é um campo de estudo relativamente novo e complexo. O entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em uma área vegetada tem como ponto de partida uma boa caracterização da cobertura vegetal desta floresta, bem como de sua estrutura e distribuição de seus elementos vegetais como galhos e folhas (Marques Filho, 1997).

No ambiente de floresta a radiação solar ocupa um papel relevante, sendo de fundamental importância nos processos de fotossíntese, aquecimento do ar e superfície e evapotranspiração. Isto reforça o interesse mostrado nas últimas décadas, por parte da comunidade científica de estudar a Região Amazônica por meio de projetos experimentais, com o intuito de compreender melhor como ocorre a interação entre a floresta tropical e a atmosfera. Os resultados obtidos com estas pesquisas tem contribuído para avanços em várias áreas do conhecimento. Com o objetivo de melhor compreender como a radiação solar dentro de um ambiente de floresta influencia nos processos anteriormente citados, foi instalada uma torre micrometeorológica como parte do projeto LBA "The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia".

DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados os dados de radiação de onda curta e RFA a cada dez minutos, obtidos na campanha AMCWET/LBA, realizada de 26 de janeiro a 10 de março de 1999, em um sítio experimental de floresta tropical úmida, utilizando-se uma torre micrometeorológica com 60 metros de altura (Lat.:10°05'S; Long.: 61°56'W; Alt.:120m). O sítio de floresta está localizado na Reserva Biológica de Jaru (Rebio-Jaru), a Leste do Estado de Rondônia, possuindo uma vegetação com características de Terra-firme e Mata densa, com altura média do dossel de aproximadamente 35m com algumas árvores emergentes atingindo até 45m.

Dados utilizados

- i) Fluxo de radiação Solar Incidente ($K \downarrow$) para o período diurno das 06 as 18 Hora Local (HL), no topo da torre, como também em cinco níveis (35, 30, 25, 15 e 2,5 metros), dentro da floresta, obtidos por meio de um conjunto composto de doze piranômetros, distribuídos em três faces (Sul, Leste e Oeste) da torre micrometeorológica, conforme mostrado na figura 1.
- ii) Fluxo de RFA Incidente ($P \downarrow$) para o período diurno das 06 as 18 Hora Local (HL), no topo da torre, como também em cinco níveis (35, 30, 25, 15 e 2,5 metros), dentro da floresta, obtidos por meio de um conjunto composto de doze sensores quantum, distribuídos em três faces (Sul, Leste e Oeste) da torre micrometeorológica, conforme mostrado na figura 1.

A descrição em detalhes dos instrumentos de radiação utilizados nas medições, sua aplicações, unidades de medida e modelos dos mesmos é mostrada na tabela abaixo.

Instrumentos	Medições (parâmetro)	Unidades	Modelos
Piranômetro	onda curta incidente e refletida	Wm^{-2}	Solarímetro CM11 (kipp & Zonen, Delf, Holanda)
Sensor quantum	RFA	Wm^{-2} ou $\mu molm^{-2}s^{-1}$	Sensores Quantum (Licor, Nebraska, USA)

Metodologia

Considerando que em cada nível instalaram-se instrumentos em faces diferentes, com a finalidade de medir o mesmo parâmetro, conforme a Figura 1, que mostra o diagrama esquemático ilustrando a altura e o posicionamento dos radiômetros montados na torre micrometeorológica. Primeiramente, determinar-se-á uma quantidade média de radiação para cada nível. Em seguida, com um único valor médio de radiação de onda curta e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) para cada nível, obter-se-á o perfil vertical das duas modalidades de radiação no interior da copa da vegetação.

Então de posse do valor médio para cada nível dos dados de radiação de onda curta e da RFA, obter-se-á o comportamento diurno médio de ambos os comprimentos de ondas citados, para cada um dos níveis (58, 35, 30, 25, 15, e 2,5 metros), para o período do experimento micrometeorológico realizado durante a campanha AMCWET/LBA.

Tendo em vista que as medidas foram realizadas durante a estação chuvosa da região, a cobertura de nuvens foi de difícil classificação. Mesmo assim, classificaram-se os dias quanto a nebulosidade, utilizando-se para este fim, um método similar ao proposto por Marques Filho (1997). No qual, para o período diurno, considera-se a curva horária de radiação máxima possível, obtida a partir dos valores máximos absolutos observados em cada instante durante todo o período do experimento, ou seja, de 26 de janeiro a 11 de março de 1999.

A curva horária de radiação máxima possível torna-se assim um referencial para separar e classificar os dias de dados de radiação, tomando-se a razão entre a radiação observada no topo da cobertura vegetal e a radiação máxima estimada para cada instante.

A partir da razão entre a curva da radiação média incidente de onda curta integrada para cada um dos 45 dias com a curva integrada da radiação máxima medida de onda curta, os dias que apresentaram-se com um valor maior que 70 % da integração da radiação no topo da torre, foram considerados dias de céu claro, com um valor menor que 40 % dias nublados e no intervalo entre 40 a 70 % dias parcialmente nublados. Seguindo o critério adotado acima para a separação dos dados, ou seja, dias de céu claro, nublado e parcialmente nublado, ficaram assim classificados:

céu claro: 29, 30, 32, 35, 36, 37, 40, 43, 44, 45, 46 e 63;

parcialmente nublado: 33, 41, 42, 47, 48, 49, 50, 56, 60, 62, 64, 65 e 66;

nublado: 26, 27, 28, 31, 34, 38, 39, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 67, 68, 69 e 70.

Finalmente, avaliar-se-á o comportamento percentual diurno em cada um dos níveis dentro da floresta em relação ao topo da torre para as duas modalidades de radiação e para representar cada um dos grupos de dias quanto a nebulosidade, escolheu-se, para as análises, um dia representativo de céu claro (43), um dia parcialmente nublado (33) e um dia nublado (57).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a Figura 2, que mostra o comportamento percentual diurno da radiação de onda curta e RFA em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente no topo da torre, para um período diurno representativo de céu claro. Analisando o comportamento diurno da radiação de onda curta e RFA no nível de 35 metros, observou-se que os valores em média durante praticamente todo o período teve a mesma magnitude que no nível de 58 metros, sendo que do início da manhã até aproximadamente as 8:00 horas o valor da radiação de onda curta e RFA apresentaram-se bem abaixo do restante dia, alcançando seu menor valor em torno das 7:00 horas, da ordem de menos de 40% e 30% do valor respectivo medido no topo da torre micrometeorológica.

Observou-se também que a RFA no nível de 35 metros apresentou-se praticamente constante, porém sempre abaixo do valor no topo da torre. No entanto, o valor da radiação de onda curta no nível de 35 metros, em alguns horários, foi maior que aquele medido no nível de 58 metros, este fato deve estar associado à contribuição da radiação refletida pela vegetação adjacente ao ponto onde o instrumento estava localizado.

Analisando os níveis de 30, 25 e 15 metros, observou-se que o comportamento tanto da radiação de onda curta como da RFA é bastante complexo, uma vez que, principalmente no início da manhã, em alguns horários, os níveis mais baixos apresentam valores percentuais de radiação maiores que os níveis mais altos, isto acontece provavelmente pelo sombreamento de alguns sensores proporcionado pelo movimento aparente do sol, e também pela presença de algumas falhas existentes na vegetação. No nível próximo ao chão da floresta tanto a radiação de onda curta como a RFA apresentaram-se um comportamento semelhante entre si, ou seja, valores percentuais em torno de 3,7 e 2,6% da respectiva radiação incidente no topo.

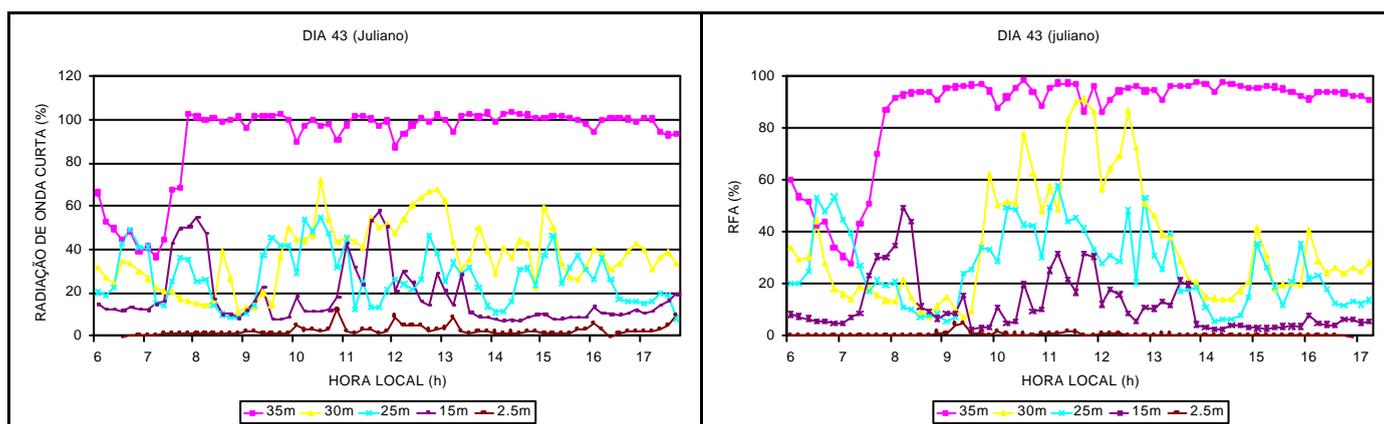


Fig. 2- Comportamento percentual diurno da radiação de onda curta (esquerda) e RFA (direita) em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente e RFA, respectivamente, no topo da torre, para um período diurno representativo de céu claro.

Conforme a Figura 3, que mostra o comportamento percentual diurno da radiação de onda curta e RFA em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente no topo da torre, para um período diurno representativo de céu parcialmente nublado. Analisando o comportamento diurno da radiação de onda curta no nível de 35 metros, observou-se que os valores em média durante praticamente o período teve a mesma magnitude que no nível de 58 metros, sendo em média entre 95 e 98% da radiação incidente no topo durante praticamente todo período diurno exceto no intervalo das 11:00 as 14:00 onde percentual excedeu os 100%. Enquanto que a RFA variou entre 80 e 95% em relação ao topo no período diurno, alcançando valores percentuais em torno de 99% próximo ao horário das 13:00 horas.

Analisando o nível de 30 metros, observou-se que ambos os comportamentos tanto da radiação de onda curta como da RFA foram praticamente constante em torno de 45 e 40% da respectiva radiação incidente no topo. Isto também ocorreu para os níveis de 25, 15 e 2,5 metros, sendo que no nível de 30 metros os valores percentuais da radiação e onda curta e RFA foram em média de 28 e 27%, respectivamente. Para o nível de 15 metros os valores percentuais da radiação e onda curta e RFA foram em média da ordem de 19 e 12% do valor incidente no topo, respectivamente. No nível próximo ao chão da floresta a radiação de onda curta apresentou um valor percentual médio em torno de 3,5, valor comparável ao valor obtido para um dia de céu claro, o mesmo não aconteceu com o valor de RFA que foi da ordem de 1,2% da RFA incidente no topo.

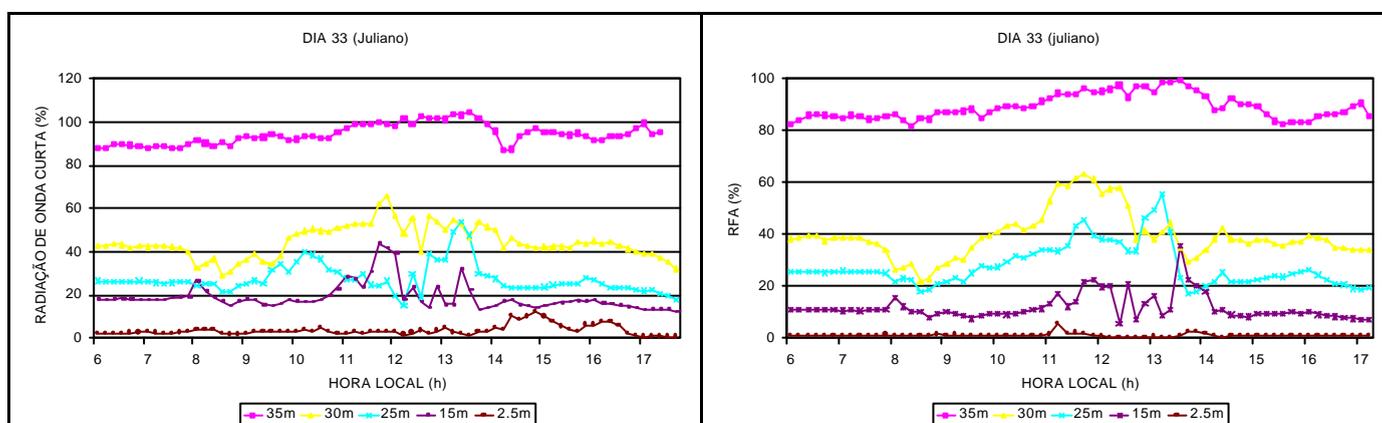


Fig. 3- Comportamento percentual diurno da radiação de onda curta (esquerda) e RFA (direita) em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente e RFA, respectivamente, no topo da torre, para um período diurno representativo de céu parcialmente nublado.

Conforme a Figura 4, que mostra o comportamento percentual diurno da radiação de onda curta e RFA em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente no topo da torre, para um período diurno representativo de céu nublado. Analisando o comportamento diurno da radiação de onda curta e RFA para todos os níveis 35, 30, 25, 15 e 2,5 metros, observou-se que os valores em média durante todo o período matutino para as duas modalidades de radiação, permaneceram praticamente constantes com valores da ordem de 92% e 88% (35 metros); 42 e 35% (30 metros); 25 e 22% (25 metros); 15 e 10% (15 metros); 2,8 e 1,0% (2,5 metros), dos respectivos valores de radiação medidos no topo da torre micrometeorológica. No entanto a partir da 13:00 horas no nível de 30 metros a radiação de onda curta e RFA apresentaram um decaimento em seu valor médio percentual que foi acompanhado apenas pelos níveis mais baixos e ainda mais

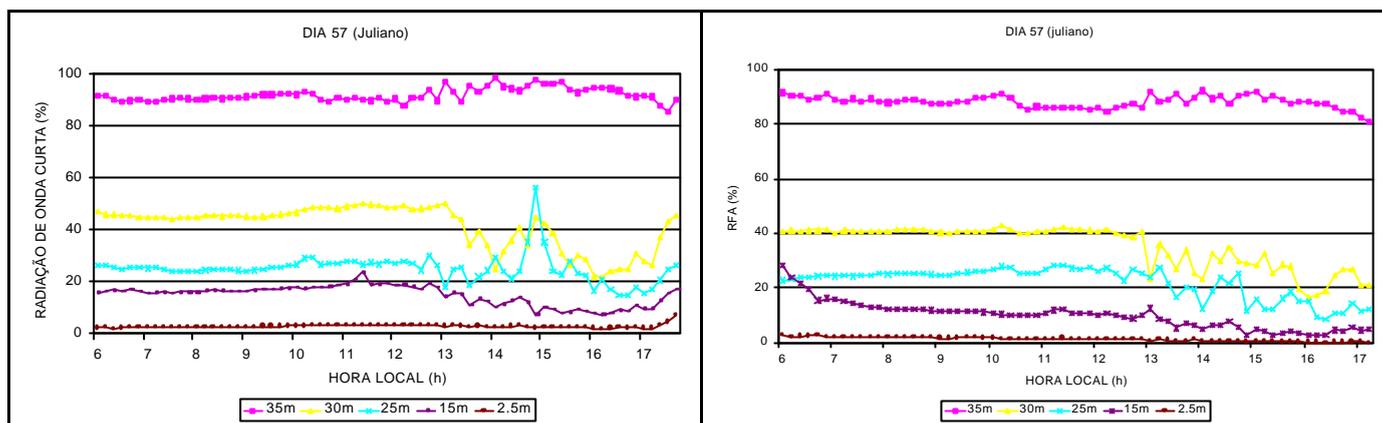


Fig. 4- Comportamento percentual diurno da radiação de onda curta (esquerda) e RFA (direita) em cada um dos cinco níveis dentro da floresta em relação a radiação de onda curta incidente e RFA, respectivamente, no topo da torre, para um período diurno representativo de céu nublado.

CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento do perfil de radiação solar e RFA dentro de ambiente de floresta da Região Amazônica.

Estudou-se os casos em que os dias foram classificados como céu claro, parcialmente nublado e nublado, por meio de perfis de radiação dentro da vegetação.

Tomando como base os resultados obtidos e as discussões levantadas neste trabalho e comparando os perfis médios de radiação de onda curta e RFA, concluiu-se que de um modo geral, utilizando-se a distribuição espacial de radiômetros apresentada neste trabalho não existem diferenças significativas no valor percentual da atenuação da radiação de onda curta e RFA dentro do ambiente de floresta no que diz respeito as diferentes coberturas de nuvens. Existe um rápido decréscimo na intensidade da radiação, a partir da faixa entre 35 e 30 metros, para as três condições de nebulosidade, sugerindo a existência de um comportamento próximo a lei de Beer, (Manzi, 2000). Tanto para os dias de céu claro quanto para os dias de céu parcialmente nublado a quantidade de radiação de onda curta que alcançou o chão da floresta foi de aproximadamente 3,6% em relação a radiação de onda curta que atingiu o topo da torre, no entanto, para o dia de céu nublado o valor em média foi da ordem de 2,8%, estes valores de radiação que alcançaram o chão da floresta, tem a mesma ordem de grandeza daqueles apresentados por Leitão (1994), que foi da ordem de 3,2% para mata densa, obtido para a Reserva Florestal Ducke. Para confirmação das afirmações aqui apresentadas seria necessário que outras configurações e novas distribuições de sensores de radiação na vertical dentro da floresta, fossem implementadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos aqueles que estiveram envolvidos direta e indiretamente nas atividades que culminaram na elaboração deste trabalho, inclusive aos colegas responsáveis pelas coletas de campo da campanha WETAMC como parte do Projeto LBA.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Leitão, M. M. V. B. R. **Balço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa**. São José dos Campos. 135p.(INPE-5587-TDI/549). (Tese de Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.

Manzi, A. O.; Moura, R. G.; Sá, L. D. A.; Alvalá, R.C. S. Measurements of solar and terrestrial radiation above and inside the Rebio-Jaru Amazonian Forest during the LBA wet season campaign. **15th Conference on Hydrology, 80th AMS Annual Meeting**, Long Beach – Ca, Jan 9-14, 2000, p. 311-314.

Marques Filho, A. O. Regime de radiação solar e características da vegetação – Modelos de inversão. **Acta Amazônica**, v. 27, n. 2, p. 119-134, 1997.