

## **RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM ÁREAS DE FLORESTA E PASTAGEM NA AMAZÔNIA**

### **SOLAR RADIATION IN FOREST AND PASTURE AREAS IN THE AMAZONIA**

João Roberto Pinto Feitosa<sup>1</sup>, Rafael Ferreira da Costa<sup>1</sup>, Gilberto Fisch<sup>2</sup>, Solange Silva de Souza<sup>1</sup> e  
Carlos Afonso Nobre<sup>3</sup>

#### **RESUMO**

Estudou-se a variação média diária da radiação solar global ( $R_g$ ) em Rondônia em áreas de pastagem (NS) e floresta (RJ), durante as estações seca e chuvosa. Os dados analisados provêm das estações meteorológicas automáticas dos anos de 1992 a 1996. Os resultados encontrados mostram que, durante a estação seca, a  $R_g$  na área de pastagem é menor que na floresta, com  $17,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na pastagem e  $18,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na floresta. Durante a estação chuvosa  $R_g$  é ligeiramente menor que durante a estação seca, com  $16,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na pastagem e  $17,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na floresta. Observou-se também que a transmitância atmosférica durante a estação seca na área de pastagem é menor que na floresta, com valores de 0,58 para a pastagem e 0,66 para área de floresta, correspondendo a uma diminuição de  $2,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  de energia incidente na superfície. Para a estação chuvosa a transmitância é de 0,52 na pastagem e 0,50 na floresta.

**Palavras-chave:** radiação solar global, pastagem, floresta, estação seca, estação chuvosa, Amazônia.

#### **SUMMARY**

---

1-MSc em Meteorologia, Bolsista RHAÉ, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE), 12630-000, Cachoeira Paulista – SP: E-mail: rafael@cptec.inpe.br

2-Dr. em Meteorologia, Centro Técnico Aeroespacial (CTA-IAE-ACA). E-mail: gfisch@aca.iae.cta.br

3-Dr. em Meteorologia, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE). E-mail: nobre@cptec.inpe.br

The average daytime behavior of the global incident radiation ( $R_g$ ) over grassland (NS) and forest (RJ) in Rondonia State during dry and wet seasons were analyzed. The data set originated from the ABRACOS Project's automatic meteorological stations in years 1992 through 1996. Results showed that incident radiation is smaller in pasture than in forest ( $17.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  pasture versus  $18.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  forest) during the dry season. In the wet season, incident radiation is smaller than dry season, with  $16.9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  for pasture and  $17.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  for forest. Atmospheric transmittance in pasture was smaller than forest (0.58 versus 0.66) in the dry season. This difference is equivalent a reduction of  $2.8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  in the surface incident radiation. In the wet season the transmittances were 0.52 for the pasture and 0.50 for the forest.

**Key words:** incoming global radiation, grassland, forest, dry season, wet season, Amazonia.

## INTRODUÇÃO

É fato bastante conhecido o papel das florestas como fonte de recursos naturais e no desempenho da manutenção do equilíbrio dos diversos tipos de clima da terra. Em particular a floresta Amazônica, com característica tropical úmida e de grande extensão, tem sido objeto de estudos por vários cientistas envolvendo pesquisas em diversas áreas. Por outro lado, a acentuada atividade antropogênica na floresta, tais como o desmatamento de extensas áreas, despertou um interesse bem maior na comunidade científica, visto que põe-se em risco todo o ecossistema mundial. Apesar da grande divergência quanto à área e às taxas de desmatamento na Amazônia, pouco ainda se conhece sobre a influência do desmatamento no clima e nos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos.

Visando não apenas prever o impacto do desmatamento sobre o clima local e global, mas também estudar com mais profundidade as influências no microclima regional e no clima do planeta causadas pela intervenção humana no ecossistema, vem-se utilizando nos últimos anos de Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs), que simulam os fenômenos que ocorrem entre a superfície e a atmosfera. Dentre esses estudos numéricos, alguns tratam da substituição de floresta por pastagens (NOBRE et al., 1991; HENDERSON-SELLERS et al., 1993). Esses trabalhos, de modo geral, mostram que a substituição em larga escala de floresta por pastagem tem efeitos consideráveis no clima regional e do mundo como, por exemplo, os resultados encontrados por NOBRE et al. (1991) que observaram uma redução na evapotranspiração de 30%, um decréscimo de 20 a 30% na precipitação e um aumento de 1 a 3°C na temperatura do ar.

Avaliando-se a sensibilidade dos Modelos de Circulação Global nota-se que descrições realísticas da superfície são críticas nos resultados, como por exemplo, a influência do albedo, da rugosidade da superfície e das propriedades hidráulicas do solo. Estudos envolvendo a radiação solar são importantes por ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera e, em particular na floresta, sendo de fundamental importância para os processos de fotossíntese, de aquecimento da superfície e evapotranspiração.

Em pesquisas realizadas na Amazônia constatou-se que a substituição contínua da vegetação natural da floresta úmida por pastagens afeta substancialmente o balanço de radiação à superfície (BASTABLE et al., 1993). Em média os sítios experimentais de floresta absorvem 11% do saldo de radiação a mais do que as pastagens (CULF et al., 1996). Estes mesmos autores observaram que, na região de Jí-Paraná, existem diferenças sistemáticas na intensidade de fluxo de radiação solar incidente entre os sítios experimentais de floresta e pastagem durante a estação seca. Estas diferenças podem estar relacionadas com o aumento de nebulosidade sobre a pastagem (CUTRIM et al., 1995) ou então devido à influência de aerossóis na atmosfera (FISCH, 1996 e TARASOVA e NOBRE, 1997). A maioria das recentes pesquisas de microclima na Amazônia concentra-se nas áreas de mata densa e locais de clareira (BASTABLE et al., 1993; RIBEIRO, 1994; CULF et al., 1996; FEITOSA, 1996; FISCH, 1996 e RESCKE, 1996) objetivando principalmente associar desmatamento e queimadas, com possíveis impactos no clima, causados pelas modificações nos balanços de radiação e energia.

O objetivo deste trabalho foi analisar as variações do fluxo de radiação solar global durante as estações seca e chuvosa em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. Estas análises foram realizadas considerando a influência de diferentes padrões de nebulosidade devido à ocorrência da estação chuvosa e de quantidade de aerossóis (queimadas) em ambos os sítios experimentais. Este trabalho diferencia-se dos estudos citados anteriormente, pois analisa a influência dos aerossóis provenientes das queimadas e atenuação da radiação solar pelo vapor d'água, além de utilizar uma maior quantidade de anos com dados.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O conjunto de dados foi obtido do projeto ABRACOS (“Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study”) para os anos de 1992 a 1996 nos trimestres seco (Junho, Julho e Agosto) e chuvoso (Janeiro, Fevereiro e Março), na região de Jí-Paraná, Estado de Rondônia. Uma descrição detalhada sobre o projeto ABRACOS encontra-se em GASH e NOBRE (1997). A coleta de dados

foi realizada nos dois sítios experimentais do projeto ABRACOS, compostos por duas áreas distintas: uma com vegetação primária de grande porte (floresta) e outra com vegetação baixa (pastagem).

A área de floresta, localizada no município de Ji-Paraná, foi a Reserva Biológica do Jarú (10°05'S; 61°55'W; 120m) pertencente ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e compreende uma área de aproximadamente 268 mil hectares. Nesta floresta foi instalada uma torre de alumínio com 52 metros de altura, suficientes para ultrapassar o cume da vegetação que tinha altura média de 33 metros, com algumas espécies atingindo 45 metros, como a *Cedrella Odorata*, *Inga sp*, *Diocle cf bicolor*Bth., *Glycicarpa ruiz*, *Strychnos amazonicus*. No topo desta torre instalou-se uma estação automática de coleta de dados com Piranômetro (Kipp & Zonen, Delf, Holand). Como área de pastagem foi selecionada a Fazenda Nossa Senhora de Aparecida (10°45'S; 62°22W; 220m), no município de Ouro Preto D'Oeste, localizada à cerca de 47km à noroeste da cidade de Ji-Paraná. Nesta área instalou-se uma torre semelhante à da floresta, porém com apenas cinco metros de altura. A vegetação era a *Brachiaria Brizantha*, além de pequenas palmeiras dispersas. Uma descrição mais detalhada dos sítios experimentais encontra-se em GASH e NOBRE (1997). A coleta de informações das estações meteorológicas automáticas do projeto ABRACOS vem sendo realizada desde 1991, sendo que neste trabalho utilizaram-se as médias horárias de radiação solar registradas pelas estações meteorológicas automáticas durante os anos de 1992 à 1996, perfazendo um total de 900 dias de dados distribuídos entre os trimestres chuvoso (janeiro, fevereiro, março) e seco (junho, julho, agosto). Selecionou-se esses períodos seguindo a climatologia de FERREIRA DA COSTA et al. (1997), que consideraram o trimestre mais chuvoso para esta região os meses de janeiro, fevereiro e março, com precipitação média de 284mm. Por outro lado, os meses de junho, julho e agosto constituíram o trimestre mais seco, com precipitação média de apenas 20mm.

A fim de obter informações acerca da quantidade de radiação solar absorvida pelo vapor d'água, calculou-se a quantidade de água precipitável. Uma vez que não se possuía radiossondagem em Ji-Paraná durante o período de estudo, utilizou-se o perfil médio típico de temperatura e umidade da região de Vilhena, extraída da climatologia do local (OLIVEIRA et al., 1995) e distante cerca de 350km de Ji-Paraná.

A localização geográfica dos pontos de coletas de dados do Projeto ABRACOS é mostrada na Figura 1.

Analizou-se a consistência dos dados de radiação solar global através da visualização e eliminação dos pontos aberrantes e a seguir calculou-se as médias horárias, bem como os desvios

padrões. Para o cálculo da radiação solar incidente no topo da atmosfera ( $I_0$ ) em  $W m^{-2}$  utilizou-se a equação (1), proposta por IQBAL (1983):

$$I_0 = I_{on} \cos \theta_z \quad (1)$$

onde  $I_{on}$  é a taxa de energia numa superfície normal aos raios solares, representado por  $I_{on} = I_{sc} E_0$ , sendo  $I_{sc}$  a constante solar ( $S = 1367 W m^{-2}$ ) e  $E_0$  o fator de correção de excentricidade da órbita da Terra (valores tabelados em função da estação do ano).

A posição do sol (ângulo zenital  $Z$ ) foi definida para o horário central de cada intervalo, avaliando-se o  $\cos \theta_z$  segundo a expressão:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (2)$$

onde os ângulos  $\delta$  (tabelado),  $\phi$  e  $\omega$  representam a declinação solar, latitude do local e o ângulo horário central, respectivamente. Portanto, a equação 1 pode ser escrita da seguinte forma:

$$I_0 = I_{sc} E_0 (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega) \quad (3)$$

Para o cálculo de  $I_0$  utilizaram-se os dias 15 de fevereiro e 15 de julho, que representam o meio do trimestre das estações chuvosa (janeiro, fevereiro e março) e seca (junho, julho e agosto), respectivamente.

A transmitância foi obtida como a razão entre a radiação solar medida à superfície e a radiação solar calculada no topo da atmosfera. A quantidade de água precipitável  $W$  (em  $g cm^{-2}$ ) foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_0}^P q dp \quad (4)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade,  $q$  a umidade específica (adimensional) e  $dp$  a variação da pressão atmosférica (hPa). A partir da equação (4) determinou-se a pressão média ponderada de acordo com a distribuição vertical de vapor d'água na coluna atmosférica, a saber:

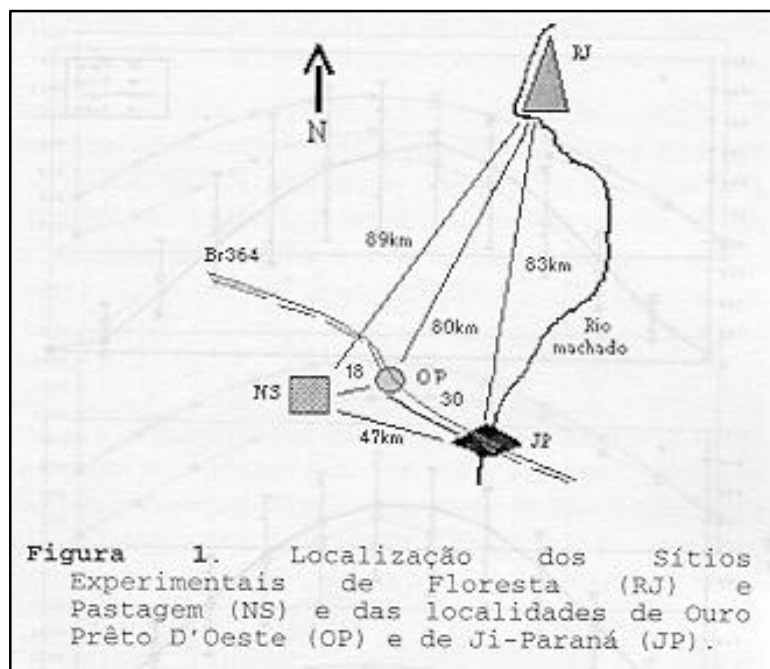
$$\bar{P} = \frac{0,622}{Wg} \int_{p_0}^P e dp \quad (5)$$

onde  $\bar{P}$  é a pressão média ponderada expressa em porcentagem;  $e$  é a pressão de vapor d'água (hPa), calculada a partir da temperatura do ponto de orvalho ( $e = 6,1078 * 10^{(7,5 * T_d / 237,3 + T_d)}$ ), sendo  $T_d$  a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}C$ ). Após a determinação de  $W$  e de  $\bar{P}$ , utilizou-se

uma parametrização proposta por CEBALLOS et al. (1992) para estimar a banda de absorção da radiação solar absorvida pelo vapor d'água ( $\delta s(i)$ ) da seguinte forma:

$$\delta s(i) = a_1 + a_2 W^{*1/2} + a_3 \log_{10}(W^*) + a_4 \quad (6)$$

Os coeficientes  $a_1, a_2, a_3, a_4$  dependem da pressão média ponderada e da água precipitável, já o  $W^*$  representa o caminho óptico (massa atravessada por unidade de área), dado por  $W^* = W(\cos\theta_z)^{-1}$ .

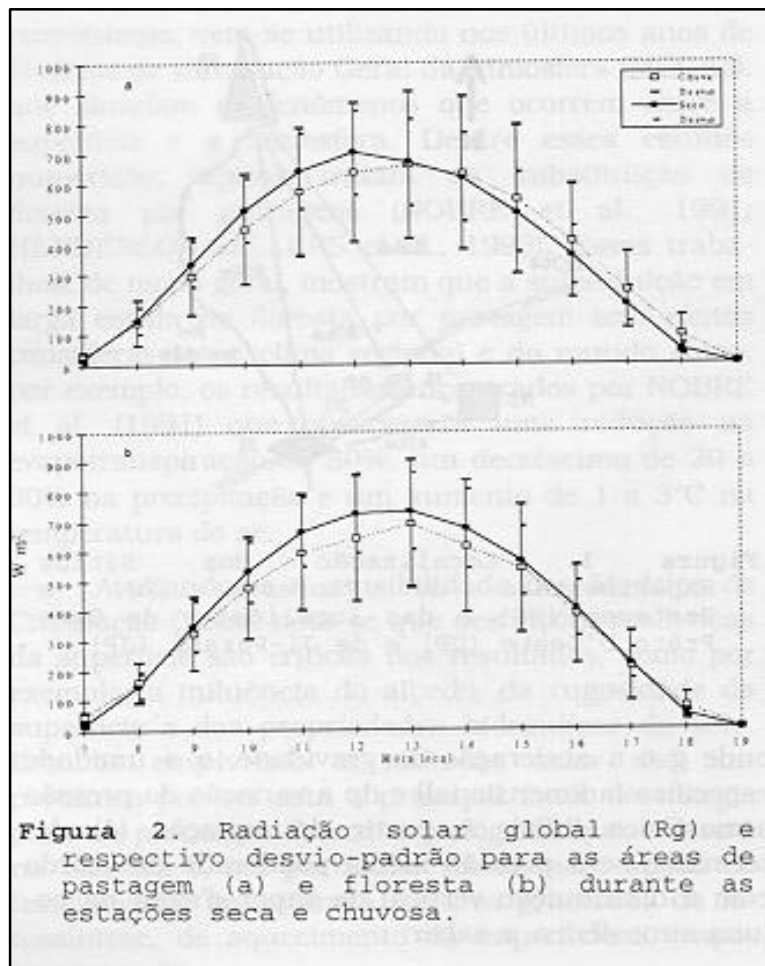


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o comportamento médio diário da radiação solar global para as áreas de pastagem (2a) e floresta (2b) durante as estações seca e chuvosa. De um modo geral, as curvas de  $R_g$  atingem os máximos entre 12 e 13 horas. Os máximos de  $R_g$  foram de  $721 \text{ W m}^{-2}$  na floresta e de  $690 \text{ W m}^{-2}$  na pastagem, ambos na estação seca. Durante a estação chuvosa, os valores foram de  $680 \text{ W m}^{-2}$  na floresta e  $650 \text{ W m}^{-2}$  na pastagem.

A menor incidência da  $R_g$  na pastagem durante a estação seca deve-se provavelmente às queimadas, que normalmente são utilizadas como método de desmatamento de áreas florestadas para prática de atividade agropecuária. Este procedimento causa um aumento na concentração de aerossóis na atmosfera, aumentando a espessura óptica da atmosfera e resulta em uma maior atenuação do fluxo da  $R_g$  medido à superfície. SOUZA (1997) estudando as diferenças entre as componentes do balanço de radiação decorrentes da substituição de floresta natural por pastagem

em Rondônia durante a estação seca no ano de 1994, para um período de 10 dias, encontrou um valor máximo de  $R_g$  na área de floresta de  $775 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que na área de pastagem este valor foi de apenas  $554 \text{ W m}^{-2}$ . FISCH (1996) encontrou resultados similares aos encontrados por SOUZA (1997), inclusive quantificando a atividade de queimadas pelo número de focos observados por satélites. Comparando-se o trabalho desses autores com os obtidos neste trabalho, observa-se um acréscimo de  $54 \text{ W m}^{-2}$  no valor da  $R_g$  máxima da área de floresta e uma diminuição de  $136 \text{ W m}^{-2}$  na  $R_g$  máxima da área de pastagem, que em termos percentuais representam um aumento de 7% na  $R_g$  máxima da floresta e um decréscimo de cerca de 20% na  $R_g$  máxima da pastagem. RIBEIRO (1994) estudando as diferenças entre a  $R_g$  da floresta e da pastagem em Marabá (PA), leste da Amazônia, durante a estação seca, encontrou um valor máximo de  $702 \text{ W m}^{-2}$  para floresta e  $650 \text{ W m}^{-2}$  para pastagem. Durante a estação chuvosa os máximos foram aproximadamente similares: valores de  $580 \text{ W m}^{-2}$  na floresta e de  $560 \text{ W m}^{-2}$  na pastagem.



Na Tabela 1 são apresentados os valores de  $R_g$  integrados ao longo do dia para as áreas de floresta e de pastagem e para as estações chuvosa e seca. Observa-se nesta tabela que a  $R_g$  na área de floresta durante a estação seca foi de  $18,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que na estação chuvosa foi de

17,1MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, o que representa uma diferença de 1,2 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Para a área de pastagem esses valores foram de 17,1MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> na época seca e 16,9MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> na época chuvosa, ou seja, uma diferença de somente 0,2MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Analisando-se em termos percentuais a Rg entre áreas, observa-se que durante a estação seca a Rg na área de floresta foi 6,5% maior que a Rg da pastagem, ao passo que no período chuvoso os fluxos integrados foram praticamente iguais, com diferença de apenas 1%. A semelhança entre os valores de Rg nas duas áreas, durante a estação chuvosa, indica que existe aproximadamente a mesma cobertura de nuvens nos dois sítios. Por outro lado, durante a estação seca, a Rg da pastagem sofre maior influência da queima do pasto, provocando aumento de aerossóis na atmosfera e a conseqüente diminuição da Rg à superfície. TARASOVA e NOBRE (1997) afirmam que o impacto sofrido nas medidas da Rg à superfície na região de Rondônia nos meses secos é causado fundamentalmente pelos aerossóis proveniente das queimadas. Estes mesmos autores encontraram um decréscimo na média mensal da Rg de aproximadamente 2MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e estimaram uma atenuação máxima de até 200W m<sup>-2</sup> em alguns horários. FISCH (1996) analisando o efeito das queimadas durante o experimento RBLE 3, calculou que uma diminuição da transmissividade atmosférica de 0,1 representa um valor integrado diário menor de 3,0MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> ou de 70W m<sup>-2</sup> no fluxo instantâneo da radiação solar.

**Tabela 1.** Valores médios da radiação solar global integrada ao longo do dia durante as estações chuvosa e seca para as áreas de floresta e pastagem (MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>).

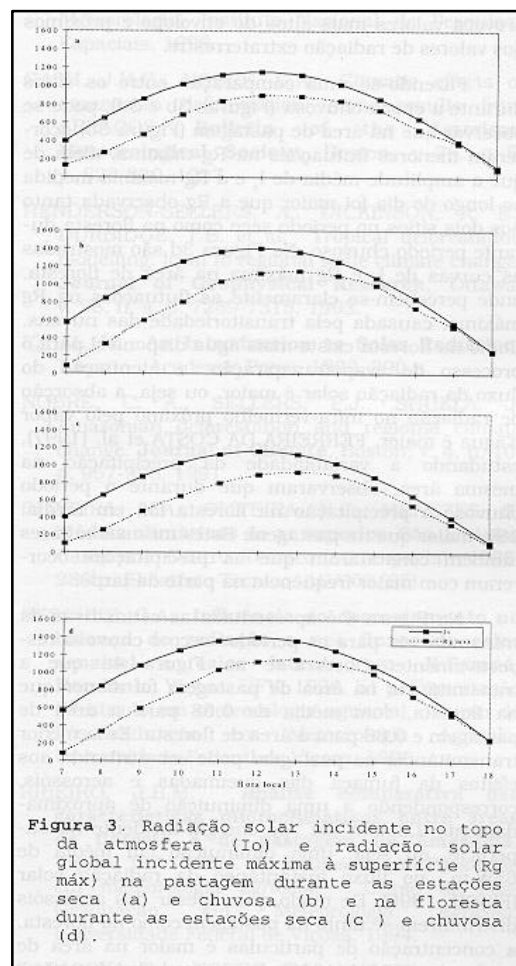
Área	Estação chuvosa	Estação seca
Floresta	17,1	18,3
Pastagem	16,9	17,1

A quantidade de água precipitável na coluna atmosférica (até 500hPa), durante a estação seca na área de floresta foi de 3,5g cm<sup>-2</sup>, o que representa cerca de 185W m<sup>-2</sup> em termos de fluxo absorvido pelo vapor água, ao passo que na pastagem a absorção encontrada foi de 174W m<sup>-2</sup>. Já para o período chuvoso a absorção pelo vapor d'água foi de 200W m<sup>-2</sup> para a área de pastagem e de 210W m<sup>-2</sup> para área de floresta, sendo que para esta época a água precipitável alcançou 4,9g cm<sup>-2</sup>, ou seja, a água precipitável da estação chuvosa foi 42% maior que da estação seca. A absorção de radiação pelo vapor d'água na floresta durante o período seco foi 26W m<sup>-2</sup> menor que durante o período chuvoso. Vale ressaltar que a água precipitável foi calculada com os valores climatológicos de OLIVEIRA et al. (1995), para a região de Vilhena, em área de floresta. Entretanto, os dados



calculados para a estação seca ( $3,5\text{g cm}^{-2}$ ) foram comparáveis com os obtidos por FISCH (1996) para os sítios de floresta e pastagem na área de Jí-Paraná, durante o ano de 1994. CULF et al. (1996) analisando a  $R_g$  média anual, nas mesmas áreas, durante o período de novembro de 1991 à dezembro de 1993, concluíram que a  $R_g$  da floresta foi 3,3% maior de que na pastagem. Estes mesmos autores incluíram nas análises da  $R_g$  as médias mensais para o trimestres seco e chuvoso nas áreas de pastagem e floresta e notaram que a  $R_g$  na floresta durante o período chuvoso foi 0,4% maior que na pastagem, ao passo que na estação seca esse acréscimo foi de 7,3%.

Analisando-se os desvio padrão ao longo do dia (Figura 2), nota-se claramente que os maiores desvios concentraram-se entre 12 e 14 horas, tanto na área de pastagem como de floresta. No entanto, na área de pastagem ocorreram os valores extremos, com  $254\text{W m}^{-2}$  na época chuvosa e  $148\text{W m}^{-2}$  na época seca. Já na floresta, esses foram  $222\text{W m}^{-2}$  na época chuvosa e  $132\text{W m}^{-2}$  na época seca. Os maiores desvios da estação chuvosa devem-se provavelmente às mudanças rápidas e transitórias da nebulosidade, com as maiores flutuações nos horários de maior atividade convectiva (entre 11 e 15 horas). É interessante notar que os máximos de  $R_g$  na pastagem durante as épocas seca e chuvosa (Figura 2a) ocorreram com 1 hora de diferença. Após às 14 horas na pastagem, os valores de  $R_g$  foram sempre maiores para o período chuvoso, devido as reflexões múltiplas dos raios solares em virtude da presença de nebulosidade. Este comportamento não foi observado na floresta.

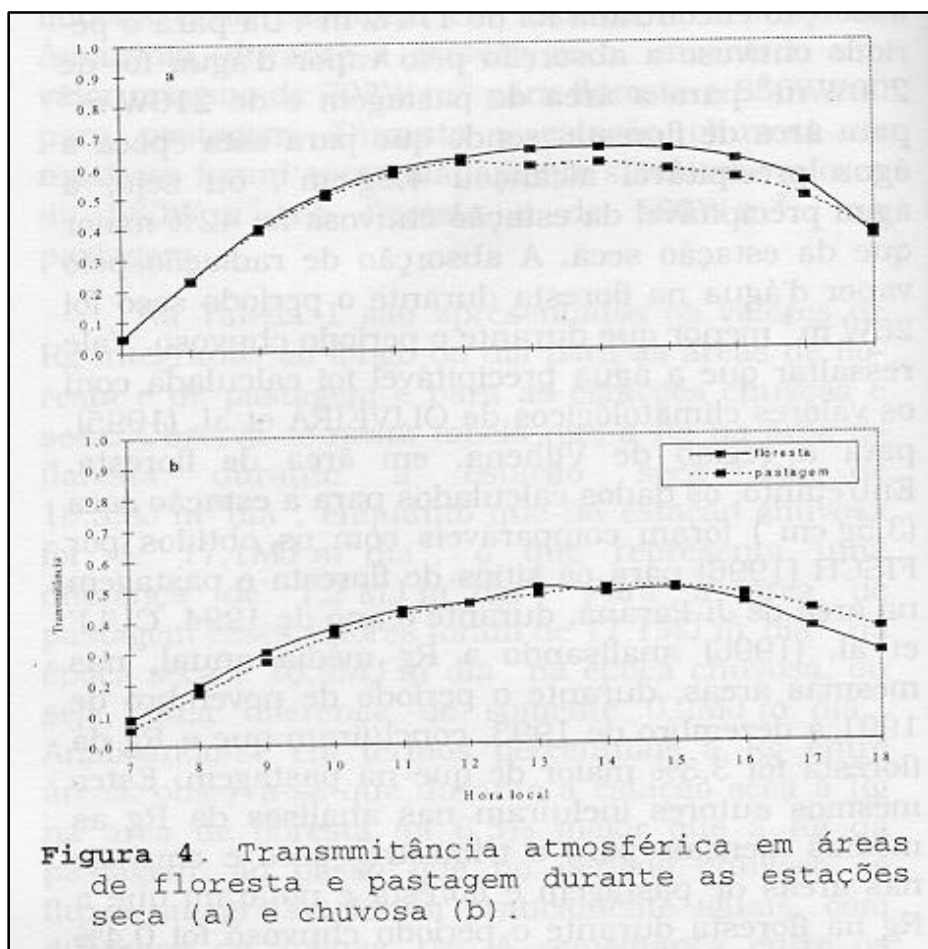


Apresentam-se na Figura 3 as curvas da radiação incidente do topo da atmosfera ( $I_0$ ) e o envelope de  $R_g$  máximo para as áreas de pastagem (3a e 3b) e floresta (3c e 3d). Este envelope de  $R_g$  máximo foi calculado considerando o maior valor de  $R_g$  que ocorreu em um horário particular, para as duas estações estudadas. Observa-se que, para ambas as estações, o comportamento entre as curvas das Figuras 3a e 3c das áreas de floresta e pastagem apresentaram uma diferença praticamente constante, ou seja, o  $I_0$  e a  $R_g$  máxima diferiram nos horários de 7 às 13 horas de aproximadamente  $220\text{W m}^{-2}$ . No entanto, nota-se que no período da tarde (14 às 18 horas), a  $R_g$  máxima aproximou-se da curva  $I_0$ , atingindo cerca de  $40\text{W m}^{-2}$  às 18 horas na pastagem e  $25\text{W m}^{-2}$ , neste mesmo horário e na área de floresta. Este comportamento pode ser explicado pelo desenvolvimento da camada limite convectiva (CLC), principalmente para a estação seca. No início da manhã, a CLC ainda é pouco desenvolvida, com uma altura entre 500 e 800m (FISCH, 1996), os aerossóis oriundos das queimadas concentram-se em uma espessura menor, aumentando o caminho ótico da atmosfera e, conseqüentemente a absorção do fluxo de radiação solar pela atmosfera. À tarde, como a CLC já está bem desenvolvida e com uma espessura entre 1200 e 2000m, a concentração de aerossóis diluem-se pela atmosfera, o caminho ótico é menor e ocorre uma menor absorção da radiação solar. Este fato provoca valores mais altos do envelope e próximos dos valores de radiação extraterrestre.

Fazendo-se uma comparação entre os sítios durante a época chuvosa (Figuras 3b e 3d), pode-se observar que na área de pastagem (Figura 3b) ocorreram menores flutuações na  $R_g$  máxima, além de que a amplitude média de  $I_0$  e a  $R_g$  máxima medida ao longo do dia foi maior que a  $R_g$  observada tanto nos dois sítios no período seco como na floresta durante período chuvoso. Na Figura 3d são mostradas as curvas de  $I_0$  e  $R_g$  máxima na área de floresta, onde percebem-se claramente as flutuações na  $R_g$  máxima, causada pela transitoriedade das nuvens. Como na floresta existe mais água disponível para o processo de evapotranspiração, a atenuação do fluxo da radiação solar é maior, ou seja, a absorção de radiação no infra-vermelho próximo pelo vapor d'água é maior. FERREIRA DA COSTA et al. (1997), estudando a variabilidade da precipitação na mesma área, observaram que durante o período chuvoso a precipitação na floresta foi, em média, 28% maior que na pastagem. Estes mesmos autores também constataram que as precipitações ocorreram com maior frequência na parte da tarde.

Na Figura 4 é apresentada as estimativas da transmitância para os períodos seco e chuvoso respectivamente. Observa-se na Figura 4a que a transmitância na área de pastagem foi menor que na floresta, com média de 0,58 para a área de pastagem e 0,66 para a área de floresta. Essa menor transmitância na pastagem pode ser atribuída aos efeitos da fumaça das queimadas e aerossóis, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente  $2,8\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  de energia incidente na su-

perfície, ou seja, uma diminuição em média de  $65\text{W m}^{-2}$  no fluxo instantâneo da radiação solar (FISCH, 1996). De modo que, apesar dos aerossóis distribuírem-se tanto na pastagem como na floresta, a concentração de partículas é maior na área de pastagem (FISCH, 1996). Por outro lado, durante o período chuvoso (Figura 4b) a transmitância média foi de 0,52 na pastagem e 0,50 na floresta. FISCH (1996), estudando os efeitos das queimadas na pastagem, encontrou a transmitância média de 0,66 no mês julho de 1993, ao passo que este valor diminuiu para 0,56 em agosto de 1994. Estes aspectos foram confirmados por TARASOVA e NOBRE (1997), na área de Ji-Paraná, observando uma transmitância de 0,56 para mês de agosto. Posteriormente este valor diminuiu para 0,50 no mês setembro, devido ao aumento do número de pontos de queimada na região.



## CONCLUSÕES

Com base nas análises de dados coletados pelo Projeto ABRACOS (1992-1996) em Ji-Paraná (RO) na Amazônia em áreas de floresta e de pastagem, conclui-se que os diferentes tipos de vegetação alteram as características da radiação solar global incidente, tendo em vista a influência do tipo de superfície na cobertura de nuvens e, principalmente, na liberação de aerossóis para a

atmosfera. Existe também uma variabilidade temporal em relação às épocas seca e chuvosa. Os resultados obtidos mostram que a radiação solar global (Rg) durante a estação seca atinge os máximos entre 12 e 13 horas local, com valores de  $721\text{W m}^{-2}$  na floresta e de  $690\text{W m}^{-2}$  na pastagem. Na estação chuvosa os valores são de  $680\text{W m}^{-2}$  na floresta e  $650\text{W m}^{-2}$  na pastagem. A Rg integrada ao longo do dia na área de floresta durante a época seca é de  $18,3\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em média, enquanto que na estação chuvosa diminui para  $17,1\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ . Para a área de pastagem esses valores são de  $17,1\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  na estação seca e  $16,9\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  na estação chuvosa. O efeito da atenuação de Rg pelos aerossóis foi em  $200\text{W m}^{-2}$  para o fluxo instantâneo e de  $2,0\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  para o total integrado. A absorção da Rg pelo vapor d'água durante a estação seca na área de floresta de  $185\text{W m}^{-2}$ , ao passo que na pastagem a absorção é de  $174\text{W m}^{-2}$ . Para o período chuvoso esses valores de absorção são de  $210\text{W m}^{-2}$  para a área de floresta e de  $200\text{W m}^{-2}$  para pastagem. Ocorre também uma transmitância de 0,66 para floresta e 0,58 para pastagem, durante a estação chuvosa, sendo que estes valores decresceram na estação seca para 0,50 e 0,52 para floresta e pastagem, respectivamente.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos aqueles colegas que estiveram envolvidos nas coletas de campo do Projeto ABRACOS e também ao suporte financeiro do CNPq através das Bolsas RHAE: 381.286-97/5 (Rafael Costa); 360.527/96-5 (João Feitosa) e 360.144/97-7 (Solange Souza). Os Drs. G. Fisch e C.A. Nobre agradecem também ao CNPq pelo apoio financeiro de bolsa de produtividade em pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTABLE, H.G., SHUTTLEWORTH, W.J., DALLAROSA, R.L.G., et al. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 13, n. 7, p. 783-796, 1993.
- CEBALLOS, J.C., MOURA, G.B.A., BEZERRA, V.F., et al. Desempenho de heliógrafos e actinógrafo na estimativa de insolação e fluxo direcional. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 563-581, 1992.
- CULF, A.D., ESTEVES, J.L. MARQUES FILHO, A. DE O., et al. **Radiation, Temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia**. In : Gash, J. H.C., Nobre, C. A., Roberts, J.

- M., Victoria, R. L., eds. **Amazonia deforestation and climate**. Chicester, UK : John Wiley & Sons, 1996. p. 175-191.
- CUTRIM, E., MARTIN, D.W., RABIN, R. Enhancements of cumulus cloud cover over deforested lands in Amazonia. **Bulletin of American Meteorological Society**, Boston, v. 76, n. 10, p. 1801-1805, 1995.
- FEITOSA, J.R.P. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas de pastagem e floresta densa na Amazônia Central**. Campina Grande: UFPB, 1996. 95 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós Graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, 1996.
- FERREIRA DA COSTA, R., FEITOSA, J.R.P., FISCH, G., et al. Variabilidade diurna de precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, (no prelo).
- FISCH, G. **Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. São José dos Campos: INPE, 1995. 171 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- GASH, J.H.C., NOBRE, C.A Climatic effects of amazonian deforestation: some results from ABRACOS. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 78, n. 5, p. 823-830, 1997.
- HENDERSON-SELLERS, A., DICKINSON, R. E., DURBIDGE, T.B. et al. Tropical deforestation modelling: local to regional scale climate change. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 98, n. 4, p. 7289-7315, 1993.
- IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. Toronto : Academic Press, 1983. 390 p.
- NOBRE, C. A., SELLERS, P.J., SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, Boston, v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991.
- OLIVEIRA, M.A., OLIVEIRA, N.C., MENEZES, R. **Médias climáticas do ar superior**. São José dos Campos : Centro Técnico Aeroespacial, 1995. 280 p. (Relatório Técnico. ACA 03/95)
- RESCHKE, G.A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Jí-Paraná, Rondônia**. Viçosa: UFV, 1996. 51 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 1996.

RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia.** Viçosa: UFV, 1994. 67 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 1994.

TARASOVA, T.A., NOBRE, C.A. Assessment of the water vapor, aerosol and cloudiness impact on the surface insolation, air temperature and atmospheric transmission measured at Amazonian observational sites **Journal of Geophysical Research**, (no prelo).

SOUZA, S.S. **A Substituição da floresta amazônica por pastagem e sua repercussão ao nível da termodinâmica da camada limite atmosférica.** Campina-Grande: UFPB, 1997. 110 p. (Dissertação de Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, 1997.