

ANÁLISES DA RADIAÇÃO DE ONDA CURTA E ONDA LONGA NA AMAZÔNIA

ANALYSIS OF RADIATION WAVE LONG AND SHORT WAVE IN THE AMAZON

Ailton Marcolino Liberato¹; Fernando Luiz Cardoso²

¹Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande. Avenida Aprígio Veloso, 882. CEP 58109-970. Campina Grande, PB. Endereço eletrônico: ailton@dca.ufcg.edu.br

²Doutorando em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Avenida André Araújo, 2936. CEP 69060-001. Manaus, AM. Endereço eletrônico: cardoso@unir.br

Artigo recebido em 28/11/2010 e aceito em 30/11/2010

RESUMO

Este trabalho mostra as variações dos componentes do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem na região Amazônica (estação seca e chuvosa). Os dados foram coletados durante a execução do Projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, cuja base experimental foi a Fazenda Nossa Senhora Aparecida (10° 45'S; 62° 22'W) área de pastagem e Reserva Biológica do Jaru (10°11'S; 61°52'W) área de floresta no Estado de Rondônia. A radiação de onda curta, onda longa e saldo de radiação foram medidos através de piranômetros CM21, pirgômetros CG1 (Kipp & Zonen, Delft, Holland) e saldo radiômetro (REBS, Seattle, EUA), respectivamente. Os resultados mostram que substituição de áreas de floresta por pastagem reduz o saldo de radiação à superfície. Durante a estação chuvosa, a radiação de onda curta incidente é maior, e durante a estação seca a radiação de onda curta refletida é maior.

Palavras - chave: radiação, estação seca e chuvosa, vegetação, Amazônia

ABSTRACT

This work shows the variations of radiation balance components in forest and pasture areas in the Amazon region (dry season and wet). The data were collected during the execution of the Project Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, whose experimental base was in the Fazenda Nossa Senhora Aparecida (10° 45'S; 62° 22'W) pasture area and Biological Reservation Jaru (10°11'S; 61° 52'W) forest area in State of Rondônia. The shortwave radiation, longwave and net radiation it was measured through the pyranometers CM21, pyrgeometers CG1 (Kipp & Zonen, Delft, Holland) and the net radiometer (REBS, Seattle, EUA), respectively. The results show that replacement of forest areas for pasture reduces the net radiation at the surface. During the wet season, incoming shortwave radiation is greater, reflectance of shortwave radiation during the dry season is greater.

Key words: radiation, dry and wet season, vegetation, Amazonia

INTRODUÇÃO

A Amazônia Brasileira é uma extensa área de floresta, que desde a década de 70, vem sofrendo grandes transformações, devido ações humana, como desmatamento, criação de gado de corte e leiteiro, agricultura e exploração madeireira. Os estados que mais desmata a Amazônia Legal, é o estado de Mato Grosso, Pará e Rondônia. As análises mostram que o objetivo do desmatamento na região de Mato Grosso e Pará, esta relacionado com a expansão do plantio de soja. Estas mudanças na cobertura vegetal na Amazônia é uma preocupação da comunidade científica nacional e internacional, sobre os impactos que podem ser causados no clima, local, regional e global.

Neste sentido foram realizados vários experimentos na região desde a década de 80 (FISCH et al., 1998), com o objetivo de entender os mecanismos físicos, químicos e biológicos na interface biosfera – atmosfera em regiões de floresta primária. E também de posse destas informações, foram realizados estudos em áreas desmatadas, com o objetivo de comparar os resultados. Estas medições em ambas as áreas foram utilizadas para alimentar os modelos numéricos, e os resultados dessas simulações indicam que ocorrerá um aumento da temperatura do ar próximo à superfície (variando de 0,6 a 2,0°C), uma redução nos totais de precipitação e evaporação (de 20 a 30% do valor da floresta) e uma estação seca mais prolongada. No entanto, até o presente, há poucas evidências observacionais de uma mudança climática significativa na região.

Os primeiros estudos sobre balanço de radiação em áreas de floresta foram realizados em latitudes médias (SHUTTLEWORTH et al., 1984). Porém, nas regiões equatoriais dos continentes cobertos por florestas naturais é que se encontra uma das principais fontes de aquecimento da atmosfera. Dessas, a maior em extensão é a Floresta Amazônica, considerada importante fonte de calor para a circulação geral da atmosfera, uma vez que grande quantidade da radiação solar incidente é absorvida pela superfície e transformada em calor latente.

Para avaliar a influência que a floresta tropical amazônica exerce sobre o clima, SHUTTLEWORTH et al. (1984) analisaram as características dos componentes do balanço de radiação (radiação de onda curta e de onda longa) acima e no interior da copa das árvores na Reserva Florestal Ducke (Manaus, Amazonas). Segundo estes autores, a relação entre a radiação solar e o saldo de radiação foi adequadamente descrito por uma regressão linear. A fração de radiação solar que atingiu o solo da floresta foi pequena, cerca de 1% do total acima da copa; o saldo de radiação nesta mesma posição foi consistente com os pequenos fluxos de

calor e de evaporação do solo. As características das variações diárias do balanço de radiação nas estações seca e chuvosa para o mesmo sítio foram avaliadas por (ANDRÉ et al., 1988). Os resultados mostraram que não houve mudanças significativas no comportamento dos termos do balanço de radiação de uma estação para a outra, embora os valores absolutos dos termos tenham sido diferentes, com maiores valores para a estação chuvosa. A radiação de onda curta e o saldo de radiação se correlacionaram muito bem em ambas as estações.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar e comparar as medidas de cada componente do balanço de radiação em áreas de floresta e pastagem, para um período seco e chuvoso, com o índice de nebulosidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Sítios Experimentais

Neste trabalho foram utilizados dados coletados durante o mês de agosto de 2005 (durante a estação seca) e janeiro de 2006 (durante a estação chuvosa), em uma área de floresta e outra de pastagem, pertencentes ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). A localização dos sítios encontra-se na Figura 1.

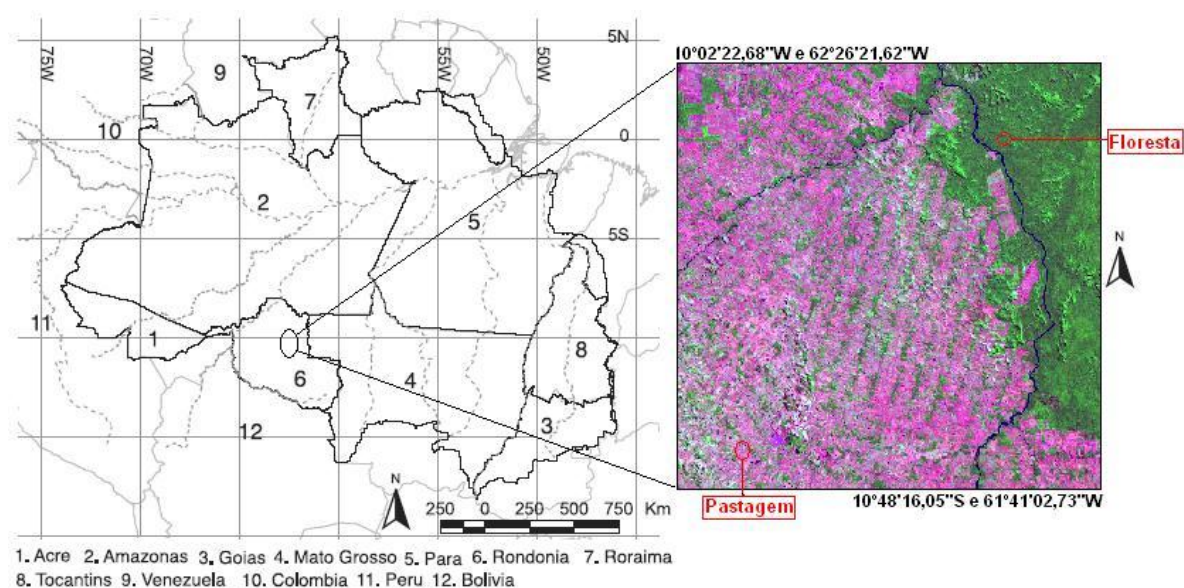


Figura 1 - Localização geográfica dos sítios experimentais.

Área de Floresta

A Reserva Biológica do Jaru, é uma extensa reserva florestal com 293.335,00 (ha), fiscalizada e protegida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A reserva é de floresta primária, com altura do dossel variando entre 35 a 45 metros, e altitude de 120 a 150 metros acima do nível do mar, localizada a noroeste

de Ji-Paraná (RO). Foi instalada no ano de 2004, uma torre micrometeorológica de alumínio, com 61,5 metros de altura, nas coordenadas (10°11'S e 61°52'W, 120m). Os seguintes instrumentos foram instalados no topo da torre em 2005: dois piranômetros CM21 (Kipp e Zonen, Delft, Holland) para medição da radiação de onda curta incidente e refletida, dois pirgiômetros CG1 (Kipp e Zonen, Delft, Holland) para medição da radiação de onda longa da atmosfera e emitida pela superfície, e um saldo radiômetro (Radiation Energy Balance System, Seattle, EUA) para medir o saldo de radiação. A leitura dos sensores foi realizada a cada 30 segundos e feito médias a cada 10 minutos, de forma automática, por um Micrologger CR23X (Campell Scientific Inc., Logan, Utah, EUA).

Área de Pastagem

A Fazenda Nossa Senhora Aparecida (10°45'S e 62°22'W, 220m) é uma área de pastagem (gramínea *brachiaria brizantha*), localizada cerca de 15 km de Ouro Preto D'Oeste (RO). Foi construído um cercado com 28,4 m de diâmetro e instalado uma torre micrometeorológica com 8,20 m de altura no centro. A torre foi equipada com os seguintes sensores: dois piranômetros CM 21 (Kipp e Zonen, Delft, Holland) para medição de radiação de onda curta incidente e refletida, dois pirgiômetros CG1 (Kipp e Zonen, Delft, Holland) para mediação de radiação de onda longa da atmosfera e emitida pela superfície, e um saldo radiômetro (Radiation Energy Balance System, Seattle, EUA) para medir o saldo de radiação. A leitura dos sensores foi realizada a cada minuto, e feito médias a cada 10 minutos, de forma automática, por um data logger CR10 da Campell Scientific Inc.

Climatologia da Região

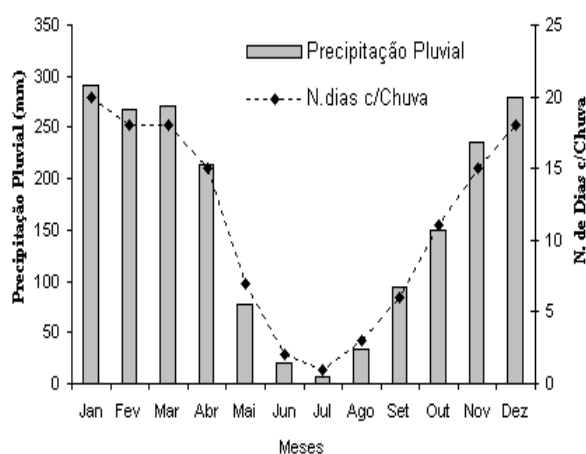
A precipitação pluvial apresenta uma variação bem definida, com ocorrência máxima no período de novembro a abril, onde todos os meses se apresentam com mais de 200 mm e com uma concentração de 80,3% do total de chuva anual. Observou-se que os meses mais chuvosos são: dezembro, janeiro, fevereiro e março (DJFM); e menos chuvosos são: junho, julho e agosto (JJA); que concentram, respectivamente, 57,1% e 3,1% do total médio de chuva ocorrida ao longo do ano (Tabela 1). A variação média mensal da precipitação pluvial e o número de dias com ocorrência de chuva, no período de 1982 a 1999 são apresentados na Fig. 2a, e verifica-se que julho é o mês mais seco.

Analisando a marcha anual da temperatura do ar, observa-se que a temperatura média mais elevada ocorreu no mês de outubro, 25,7°C, enquanto a mais baixa manifesta-se no mês de julho, 22,9°C (Fig. 2b). A temperatura máxima média mantém-se superior a 29,2°C ao longo do ano, enquanto a mínima média mantém-se inferior a 22,6°C, convém observar ainda que as temperaturas mínimas médias sofrem uma redução nos meses de junho, julho e agosto,

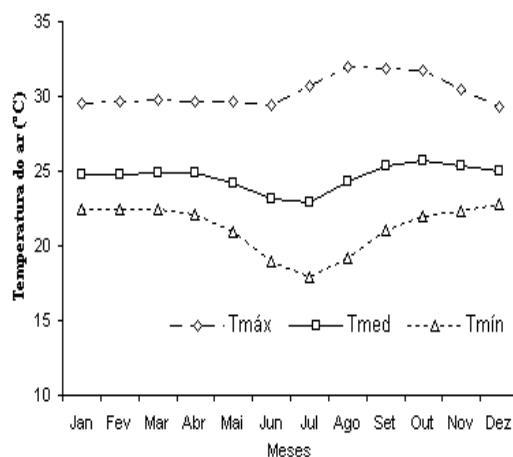
causado pelo fenômeno da friagem (invasão das fortes massas de ar frio vindas das regiões antárticas através do interior do continente, e atingem no inverno a Amazônia, principalmente ao oeste).

Tabela 1. Precipitação pluvial em Ouro Preto do Oeste (Rondônia) de 1982 a 1999.

Mês	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão	% Do Total Anual	Interv. de Conf. Média (95%)
Jan	410,2	184,4	290,9	62	15	260,0 a 321,7
Fev	390,9	142,6	268,2	69,9	13,8	233,5 a 303,0
Mar	468,2	128,1	270,3	74,7	13,9	233,2 a 307,5
Abr	496,4	51,8	213,3	15,8	11	155,7 a 270,9
Mai	178,8	3,4	77,1	44,2	4	55,3 a 99,3
Jun	83,8	0	20,2	21,4	1	9,5 a 30,8
Jul	44,8	0	7,1	12,7	0,4	0,8 a 13,5
Ago	116,6	0	33,6	37	1,7	15,2 a 52,0
Set	243,5	5,2	94,8	58,1	4,9	65,9 a 123,7
Out	259,5	84,2	149,1	43,9	7,7	127,3 a 171,0
Nov	298,4	115,8	235,5	67,8	12,2	201,8 a 269,3
Dez	386,4	176,2	278,7	63	14,4	247,3 a 310,0



(a)



(b)

Figura 2. Variação média mensal da precipitação pluvial e número de dias com ocorrência de chuva (a) e variação média mensal da temperatura máxima, média e mínima (b) em Ouro Preto D'Oeste, RO, no período de 1982 a 1999. Fonte: SCERNE et al. (2000)

MÉTODOS

Balanço de Radiação

O saldo de radiação é a energia disponível para os processos físicos e químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera. A radiação líquida resulta do balanço entre a radiação de onda curta e longa próximo à superfície, podendo ser expressa pela seguinte equação:

$$R_n = (R_g - R_{gr}) + (L_d - L_u) \quad (1)$$

onde R_n é o saldo de radiação, R_g é a radiação de onda curta incidente, R_{gr} é a radiação de onda curta refletida pela superfície, L_d é a radiação de onda longa da atmosfera e L_u é a radiação de onda longa emitida pela superfície em $W\ m^{-2}$.

Radiação de Onda Curta

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, interage com esta fazendo com que parte seja refletida, absorvida e transmitida. A parte da energia radiante que atinge o topo da atmosfera e transfere-se diretamente à superfície do solo é chamada de radiação direta (R_d). Enquanto a energia proveniente das demais direções constitui a radiação difusa (R_u), a qual é decorrente da presença de moléculas e partículas em suspensão na atmosfera. A soma da radiação direta e da radiação difusa dá-se o nome de irradiação global (radiação de onda curta incidente). Todos esses componentes se referem à radiação de onda curta e estão compreendidos na faixa de 0,15 a 3,0 μm do espectro solar. Podendo ser expresso pela seguinte equação:

$$R_g = R_d + R_u \quad (2)$$

Radiação de Onda Longa

O fluxo de radiação de onda longa (4 a 100 μm) incidente na superfície (L_d) resulta da emissão de radiação pelos constituintes atmosféricos tais como: o vapor d'água e o dióxido de carbono, enquanto que o fluxo de radiação de onda longa que sai da superfície (L_u) resulta principalmente da capacidade da superfície em emitir radiação, sendo proporcional à quarta potência da temperatura absoluta da superfície.

Para determinar os fluxos de radiação de onda longa emitida pela atmosfera, pode-se utilizar a Lei de Stefan-Boltzman, a qual é dada por:

$$L_d = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (3)$$

onde ϵ_a é a emissividade da atmosfera determinada em condições de céu claro, T_a é a temperatura do ar próximo à superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}\ W$

$\text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$). Analogamente, a equação para determinar o fluxo de radiação de onda longa emitida pela superfície (L_u) é dada por:

$$L_u = \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (4)$$

onde ε_s é a emissividade da superfície, T_s é a temperatura da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Índice de Nebulosidade

O índice de nebulosidade da atmosfera foi calculado a partir da razão entre o fluxo integrado de irradiação solar incidente à superfície e aquele no topo da atmosfera, através da seguinte equação:

$$K_T = \frac{R_g}{R_{go}} \quad (5)$$

A irradiação incidente no topo da atmosfera foi estimada, em função da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário, segundo formulação do IQBAL (1983):

$$R_{go} = S_0 E_0 \cos Z \quad (6)$$

onde S_0 é a constante solar, definida como a irradiância solar sobre uma superfície normal aos raios solares, à distância média Terra-Sol (1367 W m^{-2}), r é a distância Terra-Sol para um determinado dia do ano, r_0 distância média Terra-Sol e $\cos Z$ é o cosseno do ângulo zenital. A razão entre r_0 e r na equação abaixo é o fator de correção da excentricidade (E_0) da órbita da Terra, podendo ser expressa através da seguinte equação:

$$E_0 = (r_0 / r)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (7)$$

em que Γ , expresso em radianos, é igual a $2\pi(d_n - 1)/365$, onde d_n é o número do dia do ano no calendário Juliano. O ângulo zenital (Z) é dado pela seguinte equação e varia entre 0 e 90° (graus):

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h \quad (8)$$

sendo ϕ a latitude do local, δ a declinação solar e h o ângulo horário. As duas últimas variáveis são dadas pelas seguintes expressões (IQBAL, 1983):

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \quad (9)$$

$$h = (\text{hora} - 12) \cdot 15 \quad (10)$$

onde a hora, significa hora solar verdadeira, e h varia entre -90° a +90°.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Selecionaram-se dias com céu claro ($K_T > 0,5$), parcialmente nublado (K_T entre 0,25 a 0,5) e nublado ($K_T < 0,25$), conforme sugerido por NKEMDIRIM (1972).

Dias com céu claro, foram selecionados 28 dias na floresta e 26 dias na pastagem durante a estação seca e 12 dias na floresta e 8 dias na pastagem durante a estação chuvosa. As Figs. (3a, 3b, 3c e 3d) mostram as variações médias diárias dos componentes do balanço de radiação para dias com céu claro. Observa-se nas figuras que o período diurno, o saldo de radiação é dominado pelas trocas radiativas de ondas curtas (R_g e R_{gr}), e os coeficientes de reflexão (albedo) governa o saldo recebido de R_g . No período noturno, o R_n é composto exclusivamente pelos fluxos de ondas longas (L_d e L_u), cujas perdas na superfície são controladas pela temperatura da superfície e pela emissividade (OKE, 1978; VISWANADHAM et al., 1990).

Na Fig. 3a os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 814, 613, 481, 419 e 99 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 19,32 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Na Fig. 3b os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 813, 440, 563, 408 e 199 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 18,86 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Analisando as Figs. (3a e 3b), observamos uma pequena variação no fluxo de irradiação solar global incidente na floresta quanto na pastagem, por outro lado, observamos que a floresta reflete menos radiação que a pastagem, com isso gera um albedo de 0,13 para floresta e 0,18 a 0,21 para pastagem, valores estes consistentes com OGUNTOYINBO et al. (1990), SHUTTLEWORTH, 1988, BASTABLE et al. (1993), FISCH et al. (1994), CULF et al. (1995), MOURA et al. (1999), VON RANDOW et al. (2004) e QUERINO et al. (2006).

Na Fig. 3c os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 903, 753, 476, 441 e 99 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 21,48 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Na Fig. 3d os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 987, 680, 511, 436 e 186 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 22 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. A irradiação solar global e o saldo de radiação atingiram valores ligeiramente mais elevados para a estação chuvosa do que para a estação seca. Estas diferenças podem ser atribuídas à maior incidência de irradiação solar (menor declinação solar) durante a estação chuvosa, fazendo com que R_g atinja um valor ligeiramente mais elevado, o mesmo acontecendo com R_n para a estação chuvosa, já que esta última depende de R_g e da radiação refletida que, no caso é igual nas duas estações na área de floresta e uma pequena variação na área de pastagem. Durante a estação seca a pastagem e floresta, apresentam uma coloração de

vegetação sujeita ao estresse hídrico, o que aumenta a irradiação solar refletida e conseqüentemente aumenta o albedo da superfície.

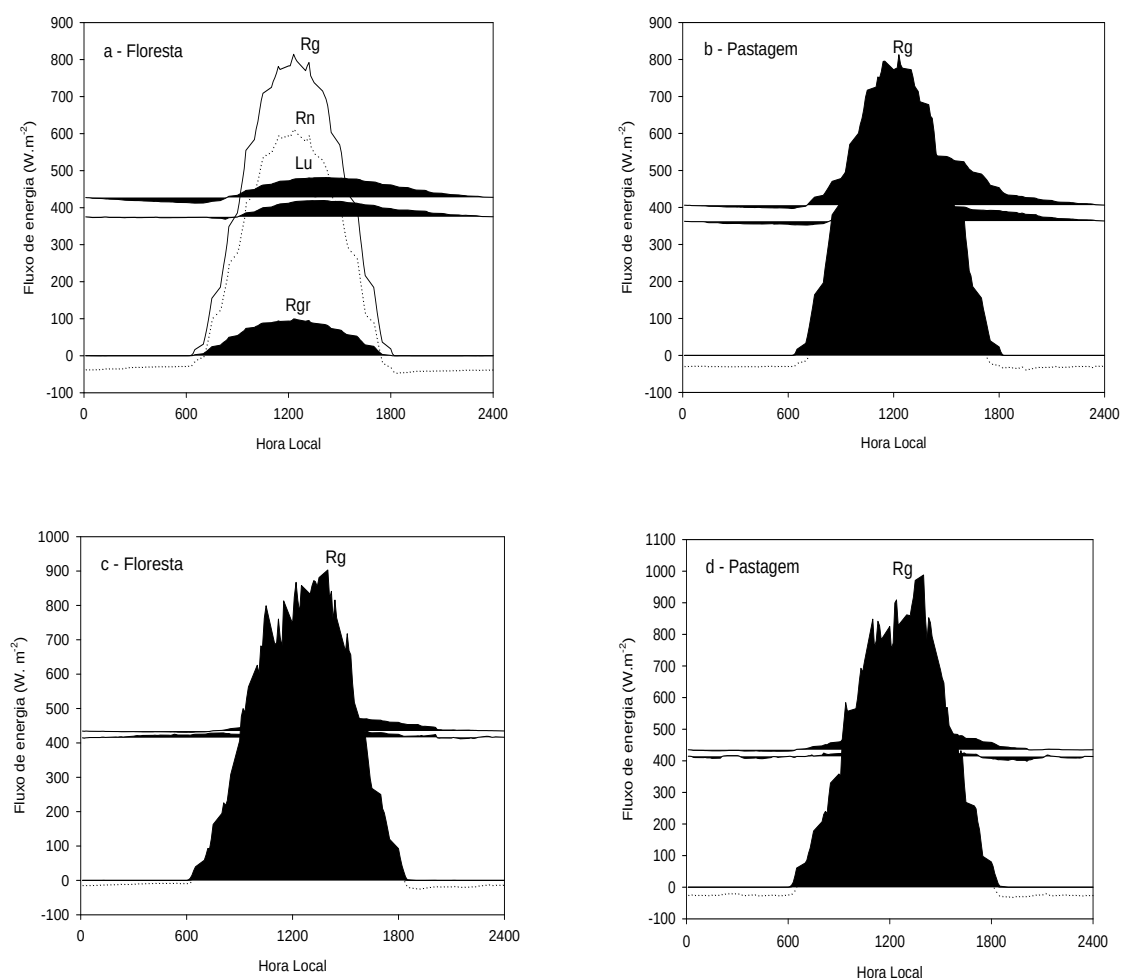


Figura 3. Variação média horária dos componentes do balanço de radiação durante o período de céu claro na floresta (a) e pastagem (b) estação seca, floresta (c) e pastagem (d) na estação chuvosa.

As destacáveis variações, durante o período diurno, representam a pronta resposta das camadas superficiais do solo à incidência de irradiação solar, período em que o solo atua como um reservatório de calor. À noite, em virtude da perda de radiação pela superfície do solo para o espaço (nota-se que a quantidade de energia infravermelha absorvida pela atmosfera é muito pequena em relação à perda para o espaço) o solo resfria-se rapidamente, tornando-se mais “frio” que o ar atmosférico à superfície. A presença de nuvens influi principalmente na redução da amplitude das ondas térmicas superficiais. Céu limpo propicia um resfriamento rápido de solo e, conseqüentemente, da atmosfera. As flutuações observadas de radiação de onda longa estão ligadas à emissão da superfície (e, portanto à sua

temperatura) e emissão da atmosfera associada à temperatura e à quantidade de vapor d'água do ar (VISWANADHAM et al., 1986).

Dias parcialmente nublado, foram selecionados 3 dias na floresta e 5 dias na pastagem durante a estação seca (agosto de 2005) e 15 dias na floresta e 20 dias na pastagem durante a estação chuvosa (janeiro de 2006). As Figs. (4a, 4b, 4c e 4d) mostram as variações médias diárias dos componentes do balanço de radiação para céu parcialmente nublado. Na Fig. 4a os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 698, 533, 480, 437 e 89 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 15,7 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 749, 424, 560, 437 e 160 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 15,3 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente (Fig. 4b). Na Fig. 4c os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 682, 571, 459, 444 e 76 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 15,4 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Na Fig. 4d os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 704, 464, 487, 439 e 138 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 16 MJm^{-2} de irradiação solar global incidente.

Observa-se que os componentes do balanço de radiação presentes na Fig. 4 são semelhantes ao da figura anterior, destacando que a mudança na cobertura vegetal de floresta para pastagem reduz a saldo de radiação à superfície de acordo com PRIANTE-FILHO et al.(2004).

FEITOSA et al. (1998) estudaram a influência dos aerossóis provenientes de queimadas e do vapor d'água sobre a variação média horária da irradiação solar global em Rondônia, em áreas de pastagem e floresta para estação seca e chuvosa de 1992 a 1996, e mostraram que a transmitância atmosférica durante a estação seca em área de pastagem é menor do que na floresta, com valores de 0,58 na pastagem e 0,66 na floresta, correspondendo a uma diminuição de 2,8 $MJm^{-2} dia^{-1}$ de energia incidente à superfície. Para a estação chuvosa a transmitância é de 0,52 na pastagem e de 0,50 na floresta. Assim, concluíram que os diferentes tipos de vegetação alteram as características da irradiação 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.

Segundo ARTAXO et al. (2006) na estação chuvosa, onde predominam as emissões naturais antrópicas, a concentração de partículas de aerossóis é da ordem de 10 a 15 $\mu g m^{-3}$, com uma concentração em termos de número da ordem de 100 a 300 partículas cm^{-3} . Na estação seca, por causa das emissões de queimadas, a concentração em massa sobe para cerca de 300 a 600 $\mu g m^{-3}$, enquanto que o número de partículas sobe para 15.000 a 30.000 partículas cm^{-3} . Estas partículas têm um tamanho da ordem do comprimento de onda visível,

o que faz delas eficientes espalhadores de radiação solar, podendo afetar de modo significativo o balanço de radiação atmosférico (HAYWOOD & BOUCHER, 2000). O efeito da redução do fluxo solar pela absorção das partículas de aerossóis e o aumento da radiação difusa ocorrem durante o período de queimadas (agosto a novembro), e tem efeitos significativos no funcionamento do ecossistema amazônico.

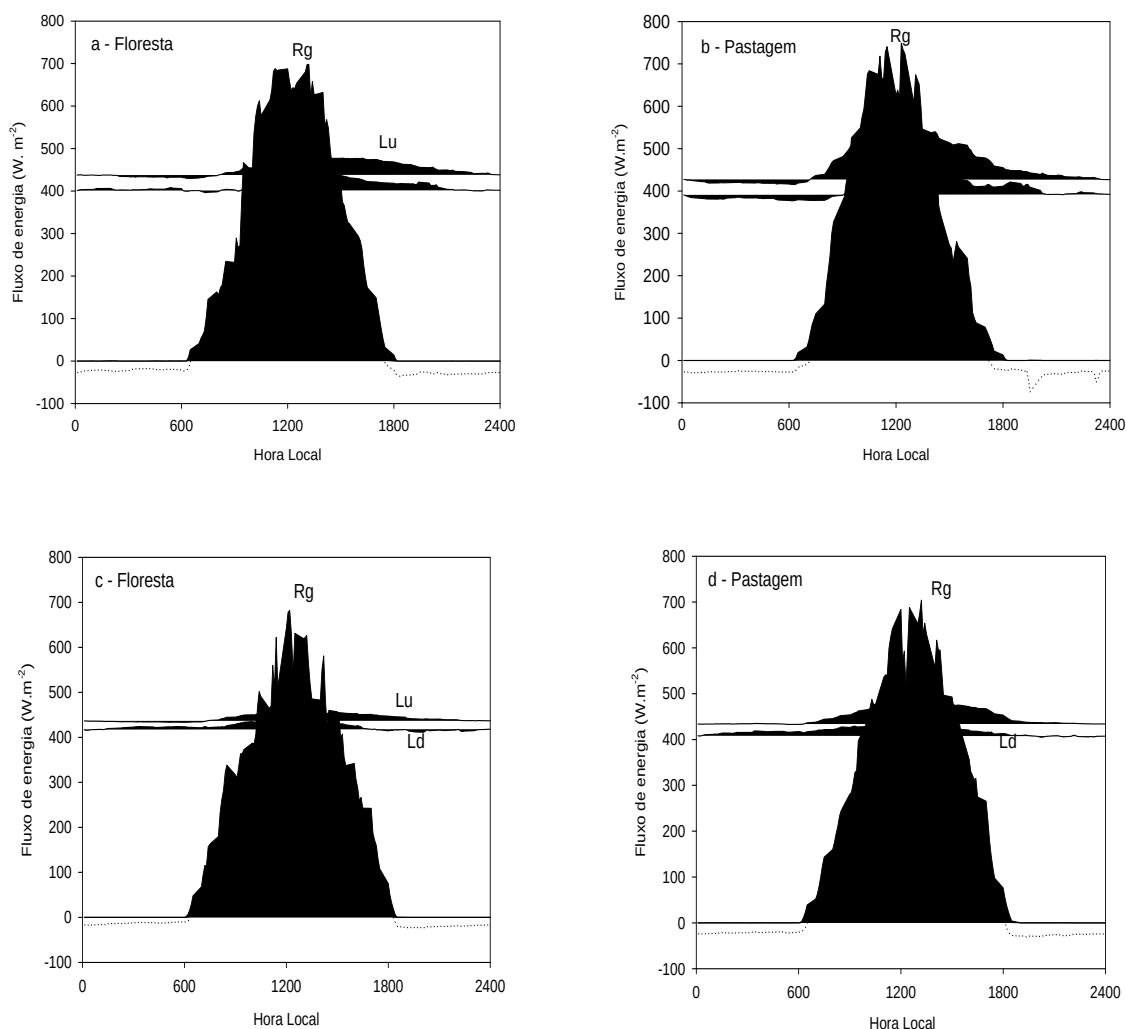


Figura 4. Variação média horária dos componentes do balanço de radiação durante o período de céu parcialmente nublado na floresta (a) e pastagem (b) estação seca, floresta (c) e pastagem (d) na estação chuvosa.

Dias nublado foi possível selecionar durante a estação chuvosa (janeiro 2006), 4 dias na floresta e 3 dias na pastagem. As Figs. 5a e 5b mostram as variações médias diárias dos componentes do balanço de radiação para céu nublado. Na Fig. 5a os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 441, 335, 447, 444 e 46 Wm^{-2} respectivamente e uma média diária de 8

MJm^{-2} de irradiação solar global incidente. Na Fig. 5b os valores máximos de R_g , R_n , L_u , L_d e R_{gr} são 658, 422, 468, 442 e 133 Wm^{-2} e uma média diária de $9,73 \text{ MJm}^{-2}$ de irradiação solar global incidente. Observa-se que a radiação de onda longa da superfície e da atmosfera apresenta valores próximos durante o período nublado na floresta e pastagem.

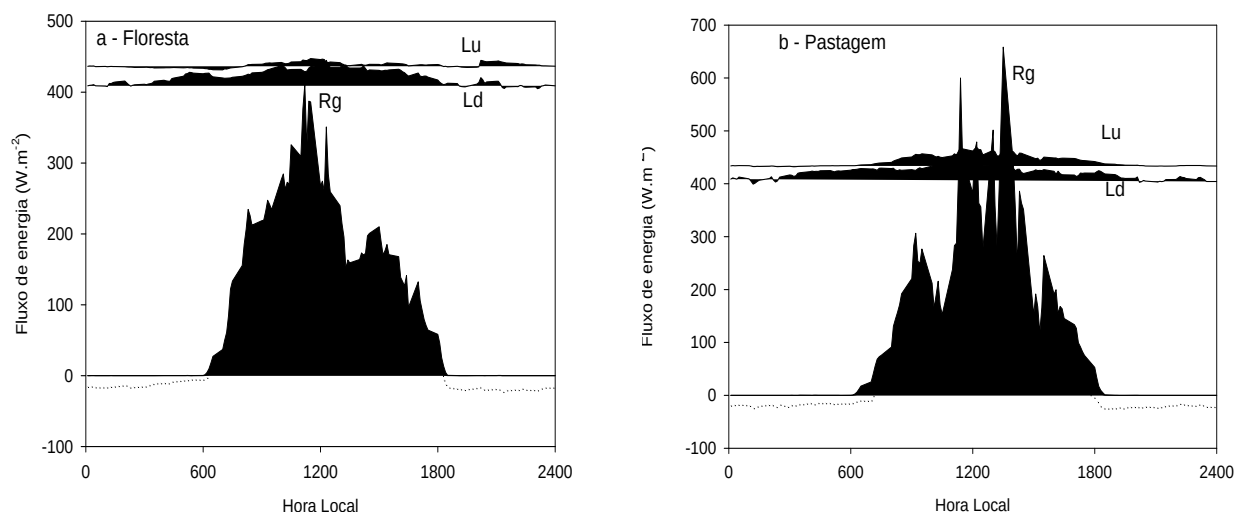


Figura 5. Variação média horária dos componentes do balanço de radiação durante o período de céu nublado na floresta (a) e pastagem (b) estação chuvosa.

É bom salientar aqui que, para as três situações estudadas, o comportamento de R_n durante a noite é semelhante, com aproximadamente a mesma amplitude e pequena variabilidade. Em área de pastagem, o armazenamento de calor na biomassa é pequeno e podem ser desprezados. Entretanto, na área de floresta, entre o nascer-do-sol e pôr-do-sol a um importante armazenamento de energia pela biomassa. A floresta utiliza uma maior quantidade de energia para evaporar e uma pequena quantidade para aquecer o ar; enquanto, na pastagem, a transferência de energia para a atmosfera ocorre equitativamente pelos fluxos de calor latente e sensível durante o período seco.

CONCLUSÕES

Os valores absolutos dos termos do balanço de radiação durante o período seco e chuvoso são diferentes, apresentando maiores valores durante o período chuvoso.

A cobertura de nuvens altera o comportamento dos componentes do balanço de radiação à superfície.

A mudança na cobertura vegetal de floresta para pastagem aumenta a reflexão de radiação de onda curta e emissão de radiação de onda da superfície, e reduz o saldo de radiação à superfície.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) pelo incentivo e oportunidade, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas (Processo Institucional CNPq 680.051/03-1), e ao Escritório Regional LBA de Ji-Paraná (RO), pelo suporte dado durante o período de coleta e análise de dados.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R. G. B.; VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agricultural Meteorology*, n.30, v. 3, p. 157 – 173, 1983.
- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P.H.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; RIZZO, L.V.; JUNIOR, C.P.; PAIXÃO, M.A.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.; CORREIA, A.L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Rev. Bras. Meteor.*, v.21, n.3a, p.168-22, 2006.
- BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA; FISH, G.; NOBRE, C. A. Observation of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. *International Journal of Climatology*, n. 13, v. 7, p. 783-796, 1993.
- CULF A. D.; FISCH G.; HODNETT, M.G. The albedo of Amazonian forest and ranch land. *Journal of Climate*, v.8, n.6, p. 1544-1554, 1995.
- FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA DA COSTA, R.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, n. 6, v. 1, p. 1-7, 1998.
- FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônia*, n.28, v.2, p. 101-126, 1998.
- FISCH, G.; WRIGHT, I.R.; BASTABLE, H.G. Albedo of tropical grass: A case study of pre- and post-burning. *International Journal of Climatology*, v.14, n.1, p.103-107, 1994.
- HAYWOOD, J.; BOUCHER, O. Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review. *Reviews of Geophysics*, n.38, p. 513-543, 2000.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: academic press, 1983. 389p.
- MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; BENINCASA, M.; SOUSA, J.L.; NASCIMENTO FILHO, M.F. Variação do albedo em áreas de florestas e pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.2, p.163-168, 1999.

NKEMDIRIM, L. C. A note on the albedo of surfaces. *Journal of Applied Meteorology*, n.11, p. 867-874, 1972.

OKE, T.R. *Boundary Layer Climates*. Methuena, London. 1978. 372p.

OGUNTOYINBO, J.S. Reflection coefficient of natural vegetation, crops, and urban surfaces in Nigeria. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.96, n.409, p.430-441, 1970.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NUNES, P.C.; SOUZA, L.S.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; PAULO, S.R.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. *Global Change Biology*, v. 10, p. 863-876, 2004.

QUERINO, C.A.S.; MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

SCERNE, R.M.C.; SANTOS, A.O.S.; SANTOS, M.M.; NETO, F.A. Aspectos Agroclimáticos do Município de Ouro Preto D'Oeste – RO: Atualização Quinquenal. Belém, PA, Brasil, CEPLAC/SUPOR. Boletim Técnico nº17. 2000. 48p.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.F.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.O.; MOLION, L.C.B.; SÁ, L.D.A.; NOBRE, C.A.; CABRAL, D.M.R.; PATEL, S.R.; MORAES, J.C. Observations radiation Exchange above and below Amazonian Forest. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, n.110, v.466, p. 1163 – 1169, 1984.

SHUTTLEWORTH, W. J., 1988: Evaporation from Amazonian rainforest. *Proceedings of the Royal Society of London, série B* 233, p.321-346, 1988.

VISWANADHAN, Y.; ANDRÉ, R. G. B.; SÁ, L. D. A.; MANZI, A. O.; SILVA FILHO, V. P. Componente do balanço de radiação acima da copa da Floresta Amazônica (3ª Campanha de Coleta de Dados). (INPE 4195 – PRE/1079), São José dos Campos. 1986.

VISWANADHAM, Y.; MOLION, L. C. B.; MANZI, A. O.; SÁ, L. D. A.; SILVA FILHO, V. P.; ANDRÉ, R. G. B.; NOGUEIRA, J. L. M.; SANTOS, R. C. Micrometeorological measurements in Amazonian forest during GTE/ABLE 2A Mission. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. D9, p. 13669-13682, 1990.

VON RANDOW, C.; MANZI, A.O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P.J.; ZANCHI, F.B.; SILVA, R.L.; HODNETT, M.G.; GASH, J.H.C.; ELBERS, J.A.; WATERLOO, M.J.; CARDOSO, F.L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon Exchange over Forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, v.78, p. 5-26, 2004.