

DESEMPENHO DE MODELOS DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA UTILIZANDO MEDIDAS DO LBA

Elisabete Caria Moraes (bete@ltd.inpe.br)
Sérgio Henrique Franchito (fran@cptec.inpe.br)
Vadlamudi Brahmananda Rao (vbrao@cptec.inpe.br)
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
Av. dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos – SP
bete@ltd.inpe.br
fran@cptec.inpe.br
vbrao@cptec.inpe.br

ABSTRACT

In order to verify the radiative transfer models accuracy, comparisons between radiometric variables from model simulations and observational data set, which are obtained during the Wet Season Atmospheric Mesoscale Campaign / Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, were accomplished at two experimental sites: primitive forest and pasture. Statistical analyses indicated that the shortwave radiative transfer model simulations are trustful, and that the longwave radiation simulations agree with the observational data, especially, over pasture region. The mean errors are around the same order or lower than the instrumentation error, except in reflected solar radiation.

INTRODUÇÃO

A compreensão dos fenômenos físicos que envolvem a radiação armazenada pelo planeta é fundamental para o entendimento da gênese e da evolução do sistema climático. O sistema dinâmico da atmosfera é dirigido basicamente pela diferença do saldo de radiação entre o equador e os pólos. Conseqüentemente, uma boa simulação do clima só pode ser obtida com uma representação adequada dos processos de transferência radiativa. Chou e Suarez (1994 e 1999) desenvolveram esquemas computacionalmente eficientes e rápidos de parametrização dos processos de transferência radiativa na atmosfera nas faixas dos espectros solar e infravermelho termal. Estes esquemas são baseados na parametrização de banda larga da radiação solar e da radiação infravermelha termal, onde se considera a atenuação da radiação eletromagnética pelos principais gases atmosféricos radiativamente ativos (gases-estufa), por nuvens e por aerossóis. Estes modelos de radiação solar e termal foram comparados com metodologias de transferência radiativa de alta resolução e apresentaram boa concordância.

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), cujo objetivo é conhecer e entender a climatologia, ecologia, biogeoquímica e hidrologia da Amazônia e a interação entre a Amazônia e o sistema da Terra, tem registrado medidas de radiação na superfície. A finalidade do presente trabalho é avaliar os modelos de transferência radiativa (MTRs) desenvolvidos por Chou e Suarez (1994 e 1999) para regiões com características vegetadas contrastantes da região Amazônica: floresta e pastagem. Portanto, as simulações das grandezas obtidas através destes MTRs foram comparadas com os dados de verdade-terrestre obtidos na Campanha Atmosférica de Mesoescala Úmida (WETAMC/LBA) de 1999.

MODELOS DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA

Os fluxos de radiação infravermelha termal e solar na superfície são simulados através da modelagem dos processos físicos de transferência radiativa baseados nas metodologias de Chou e Suarez (1994 e 1999, respectivamente). Estas metodologias consideram a atmosfera plano-paralela e composta por 75 camadas.

Na parametrização da radiação solar são considerados a absorção pelo vapor d'água, ozônio (O₃), gás carbônico (CO₂), oxigênio (O₂), nuvens e aerossóis; a reflexão da superfície; e o espalhamento múltiplo (de gases atmosféricos, nuvens e aerossóis). Embora a radiação solar interaja espectralmente com a atmosfera, estes processos de interação são tratados agrupando em regiões espectrais as propriedades similares de absorção dos gases atmosféricos (Chou, 1992; Chou e Lee, 1996). O espectro solar é dividido em uma banda que compreende as regiões dos espectros ultravioleta e fotossinteticamente ativo (comprimento de onda (λ) menor que 0,7 μ m), e três bandas no espectro infravermelho (λ maior ou igual a 0,7 μ m). A banda correspondente ao espectro da radiação ultravioleta e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é dividida em oito sub-bandas, sendo sete sub-bandas na

região do espectro ultravioleta e uma sub-banda no espectro PAR. São determinados para cada uma das sete bandas um coeficiente de absorção do ozônio e um coeficiente de espalhamento de Rayleigh. Para a sub-banda PAR também é determinado um coeficiente de absorção do vapor d'água. Cada banda do espectro infravermelho é dividida em 10 sub-bandas, que tratam a absorção do vapor d'água através do método de distribuição-k. As propriedades de absorção e de espalhamento são tratadas individualmente dentro de cada banda. Os fluxos de radiação solar são obtidos através do método de adição de dois fluxos para uma composição de camadas atmosféricas, sendo a refletividade e transmissividade das nuvens e dos aerossóis em cada camada atmosférica calculadas através da aproximação δ -Eddington (Joseph et al., 1976). As nuvens são consideradas planas-paralelas e tratadas através de três grupos (baixa, média e alta) de acordo com a altura de sua base e seu desenvolvimento vertical. Nas bandas dos espectros ultravioleta e PAR, a absorção espectral das nuvens é considerada nula, enquanto que nas bandas do espectro infravermelho são considerados os efeitos de absorção e espalhamento das nuvens.

Na parametrização da radiação infravermelha termal são consideradas as influências de absorções dos gases-estufa (vapor d'água, CO₂, metano (CH₄), O₃, óxido nitroso (N₂O), clorofluorcarbono (CFCs 11 e 12), e hidroclorofluorcarbono (HCFC22)), das nuvens e dos aerossóis; e do espalhamento múltiplo devido aos gases-estufa atmosféricos, nuvens e aerossóis. Chou e Suarez (1994) consideraram as diferentes superfícies terrestres como corpos negros (emissividade unitária), porém no estudo atual as superfícies terrestres foram consideradas como corpos reais; apresentando diferentes emissividades espectrais. Devido ao fato da transferência da radiação infravermelha termal na atmosfera terrestre depender das variações de temperatura, de pressão e da composição dos gases absorvedores, com a altura e com o comprimento de onda, Chou e Suarez (1994) propuseram diferentes formas de parametrização dos processos físicos de transferência radiativa com aplicações em diversas regiões espectrais e alturas. A absorção da radiação infravermelha termal é então tratada através das metodologias de função de transmissão de banda larga de Chou (1984) para o vapor d'água, que considera absorção de linha e contínua deste gás; de Chou e Peng (1983) para o gás carbônico, que considera a absorção na região central e nas asas da banda deste gás; e de Chou e Kouvaris (1986) para o O₃. As bandas largas são definidas através do agrupamento realizado segundo a similaridade das características dos gases absorvedores. Estas bandas são determinadas através do método de distribuição-k. Com base neste critério, o espectro infravermelho termal foi dividido em 10 bandas espectrais. As nuvens são tratadas como corpos negros, exceto as nuvens altas que são tratadas como corpos cinzas (corpos com emissividade espectral constante e menor do que 1) e apresentam a emissividade equivalente a 50% do corpo negro. Na obtenção dos fluxos radiativos, a função de transmitância do gás difuso é ponderada pela função fonte de Planck.

ÁREA DE ESTUDO E DADOS DE VERDADE-TERRESTRE

Na validação das simulações dos MTRs foram utilizados os dados radiométricos, considerados como verdade-terrestre, e os dados de radiossondagens coletados no experimento micrometeorológico realizado no estado de Rondônia durante a campanha WETAMC/LBA de 1999, no período de 6 a 20 de fevereiro. Os dados analisados são representativos de dois sítios experimentais: Reserva Biológica de Jaru (10°05'S, 61°55'S, e 120m acima do nível do mar) e Fazenda Nossa Senhora Aparecida em Ouro Preto d'Oeste (10°45'S, 62° 22'W, e 220m acima do nível do mar) caracterizando, respectivamente, as áreas de floresta tropical úmida primária e de pastagem, apresentados na Figura 1.

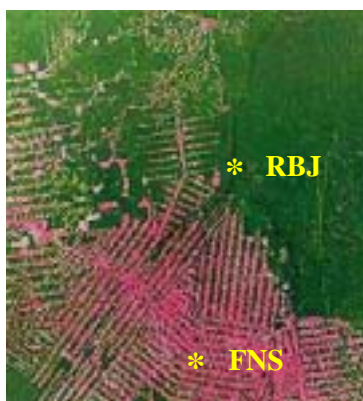


Fig.1 – Imagem do satélite LANDSAT identificando as áreas de pastagem e de floresta (FNS e RBJ, respectivamente) do estado de Rondônia. FONTE: <http://lba.cptec.inpe.br/lba/index.html>

Na Reserva Biológica de Jarú (RBJ) a vegetação é composta por árvores altas que apresentam folhagem permanente (floresta perenifólia), enquanto que a Fazenda Nossa Senhora Aparecida (FNS) é coberta predominantemente por gramíneas baixas (*Brachiaria Brizantha*). Maiores descrições destes dois sítios experimentais são apresentados por Culf et al. (1995), Gash e Nobre (1997), Sá et al. (2000).

Os fluxos de radiação na superfície simulados através dos MTRs que foram comparados com os dados de verdade-terrestre para a RBJ correspondem a irradiância, radiação solar refletida, PAR descendente, saldo de radiação, e radiação infravermelha termal incidente e emitida, enquanto que para FNS foram comparados os mesmos fluxos, exceto o saldo de radiação. Os dados de verdade-terrestre em ambos sítios experimentais correspondem aos valores médios de 30 minutos. Na RBJ estes dados foram medidos no topo da torre (58,35 m) e os lançamentos de radiossondagens foram realizados a uma distância de 5 km da torre, enquanto que na FNS os dados de verdade-terrestre foram medidos a 2 m de altura e as radiossondagens lançadas próximas à estação de superfície.

TRATAMENTOS DOS MODELOS DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA

Os dados que alimentaram os MTRs foram os perfis verticais de temperatura e umidade específica (da superfície até o nível de pressão atmosférica de 30 hPa) extraídos das radiossondagens. Acima deste nível de pressão foram utilizados os respectivos dados provenientes da atmosfera padrão tropical (AFGL-T da NASA). Durante a WETAMC/LBA não foram obtidas algumas informações necessárias aos MTRs. Algumas suposições foram realizadas: os valores da emissividade e da reflectância espectral características das superfícies estudadas foram obtidos de Wilber et al. (1999) e do Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme de Dickinson et al. (1986), respectivamente; o perfil da razão de mistura do O₃ foi obtido da atmosfera padrão tropical (Mc. Clatchey et al., 1972); os tipos e alturas da base e do topo de nuvens foram inferidos dos dados de radiossondagem, enquanto que a espessura ótica destas foram provenientes dos valores médios típicos de verão para a região de 10°S extraídos da climatologia realizada com 8 anos de imagens de satélite por Hahn et al. (2001). A Tabela 1 mostra os valores das espessura ótica de nuvens utilizadas no modelo; e considerando o forte efeito da extração de partículas de aerossóis da atmosfera devido ao regime de precipitação da região, as propriedades óticas dos aerossóis foram supostas equivalentes àquelas apresentadas por Chou (1992), que são apresentadas na Tabela 2. Também foi considerado a presença de aerossóis somente nas camadas abaixo de 800 hPa.

TABELA 1 – ESPESSURA ÓTICA DE NUVENS UTILIZADA NOS MTRs

CLASSIFICAÇÃO DAS NUVENS		TIPO	ESPESSURA ÓTICA (adimensional)
BAIXAS		Sc	8,0
MÉDIAS		Ac	7,0
ALTAS		Ci	5,0
GRANDE DESENVOLVIMENTO VERTICAL ENTRE OS NÍVEIS	BAIXO E MÉDIO	Cb	5,5
	BAIXO, MÉDIO E ALTO	Ns	21,0

TABELA 2 – PROPRIEDADES ÓTICAS DE AEROSSÓIS UTILIZADAS NOS MTRs (PERÍODO ÚMIDO)

PROPRIEDADES ÓTICAS DOS AEROSSÓIS	Valor (adimensional)
ESPESSURA ÓTICA DE AEROSSÓIS	0,05
FATOR DE ASSIMETRIA	0,743
ALBEDO DE ESPALHAMENTO SIMPLES	0,989

Ao analisar os valores simulados da radiação termal descendente verificou-se que estes valores eram muito subestimados quando comparados com dados de verdade-terrestre (desvio padrão de 22,3%), e ao duplicar os

valores dos coeficientes de absorção da banda contínua do vapor d'água da primeira função de distribuição-k observou-se melhores resultados (desvio padrão de 11,9%). Portanto, neste estudo foram utilizados os valores duplicados destes coeficientes.

RESULTADOS

O desempenho dos MTRs foram averiguados através da comparação das simulações das grandezas radiométricas com os dados de verdade-terrestre para vários dias e diferentes horários do dia para os dois sítios experimentais (RBJ e FNS). Na RBJ foram analisados 8 casos com céu limpo e 18 casos com céu encoberto, enquanto que na FNS foram analisados 7 e 21 casos, respectivamente.

Na comparação entre as simulações das grandezas radiométricas com os dados de verdade-terrestre verificaram-se pequenos erros médios em ambos os sítios experimentais. Em geral estes erros são da ordem dos erros dos instrumentos radiométricos. Para verificar se as simulações são estatisticamente significantes, foram determinados os coeficientes de correlação existentes entre os valores simulados pelos MTRs e os dados de verdade-terrestre e foi utilizado o teste t-Student bilateral para verificar a significância destas correlações. A Tabela 3 apresenta as correlações existentes entre as grandezas radiométricas analisadas, considerando separadamente e conjuntamente (T) as simulações para céu limpo (L) e encoberto (E) para cada sítio experimental (floresta, RBJ e pastagem, FNS). Também são apresentadas as correlações existentes entre todos valores simulados para céu limpo, para céu encoberto e para todos os tipos de cobertura do céu considerando-se simultaneamente os dois sítios experimentais.

TABELA 3 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (r) EXISTENTE ENTRE OS FLUXOS SIMULADOS E OBSERVADOS NO LBA

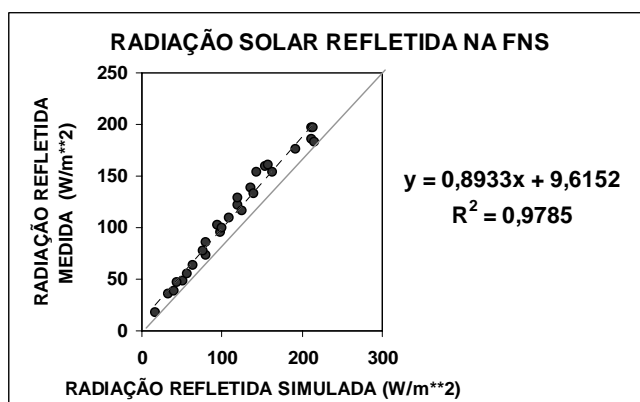
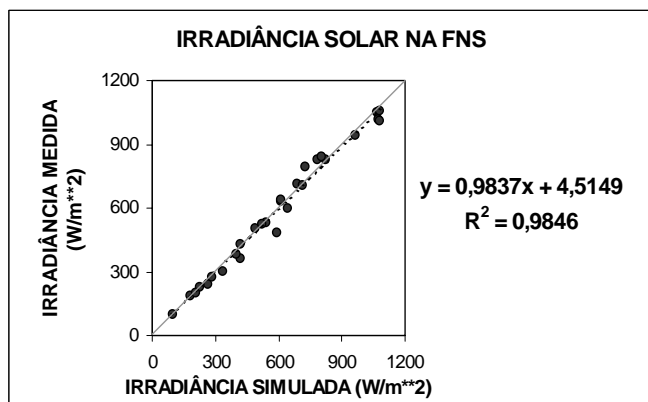
TIPOS DE CÉU	FLORESTA			PASTAGEM			FLORESTA E PASTAGEM		
	L	E	T	L	E	T	L	E	T
IRRADIÂNCIA SOLAR	0,997	0,997	0,997	0,984	0,989	0,992	0,991	0,993	0,994
RADIAÇÃO SOLAR REFLETIDA	0,983	0,989	0,988	0,968	0,994	0,989	0,990	0,992	0,990
PAR DESCENDENTE	0,993	0,994	0,993	0,971	0,993	0,991	0,980	0,991	0,989
RADIAÇÃO TERMAL EMITIDA	-0,68	0,365	0,416	0,891	0,986	0,979	0,888	0,849	0,863
RADIAÇÃO TERMAL DESCENDENTE	-0,39	0,411	0,250	0,646	0,761	0,652	0,288	0,472	0,416
SALDO DE RADIAÇÃO NA SUPERFÍCIE	0,981	0,994	0,992	-	-	-	0,981	0,994	0,992

Na Tabela 3 pode ser verificado que no caso de floresta os fluxos simulados são fortemente correlacionados com os dados de verdade-terrestre ($r > 0,98$), com uma significância de 99% do nível de confiança, exceto para o caso de radiação termal. A baixa correlação encontrada para a simulação da radiação infravermelha termal pode estar relacionada com o fato dos lançamentos das radiossondagem terem sido realizados distantes (5 km) da torre onde foram registrados os dados de verdade-terrestre. No caso de pastagem os coeficientes de correlação são significantes a 99% do nível para todos os fluxos de radiação, exceto para a radiação termal descendente (0,646 e 0,761 para as situações de céu limpo e encoberto, respectivamente). Ao se analisar as simulações dos fluxos radiativos para ambos sítios experimentais, verificou-se a presença de fortes correlações ($r > 0,84$) com os dados de verdade-terrestre, exceto para a radiação termal descendente.

Aplicou-se a técnica estatística de Bonferrone para se obter a curva de regressão mais ajustada a cada tipo de grandeza radiométrica simulada, considerando-se todos os tipos de céu (limpo e encoberto). Esta técnica é usualmente utilizada quando o número de dados estimados e observados não é muito grande. O melhor ajuste ocorre quando o coeficiente angular (β_1) é unitário e/ou quando o coeficiente de interceptação (β_0) é nulo. Estes ajustes foram realizados considerando-se um intervalo de confiança de 95%. Detalhes sobre este método são dados por Neter e Wasserman (1974). Esta técnica foi empregada para cada sítio experimental (individualmente) e para todas simulações de cada grandeza radiométrica obtidas em Rondônia (RBJ + FNS).

As curvas de regressão, seus coeficientes de determinação (quadrado do coeficiente de correlação) e os erros médios existentes entre as simulações e os dados de verdade terrestre para cada grandeza radiométrica são apresentados nas Figuras 2, 3 e 4 para a região de pastagem (FNS), de floresta (RBJ), e para ambas as regiões (Rondônia), respectivamente.

O coeficiente de determinação indica o quanto a curva de regressão está bem determinada em função da correlação existente entre os pontos experimentais.

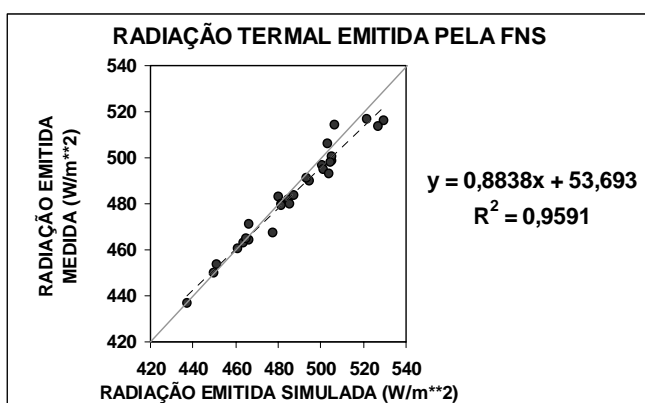


INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-33,13	42,16	= 0
β_1	0,93	1,04	= 1

(a) 28 casos e erro médio = 1,03%

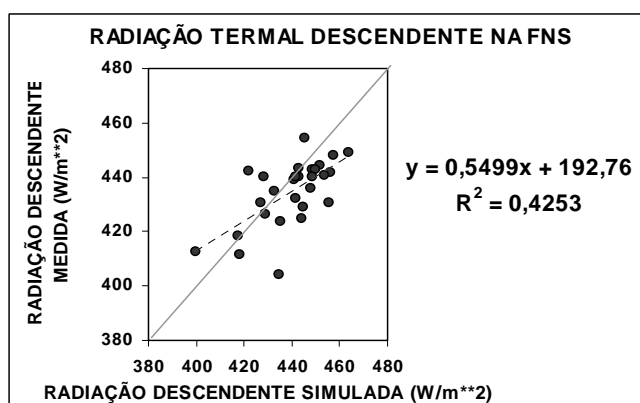
INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	1,66	17,57	> 0
β_1	0,83	0,95	> 0 e ~ 1

(b) 28 casos e erro médio = 0,95%



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	12,36	95,02	> 0
β_1	0,80	0,97	> 0 e ~1

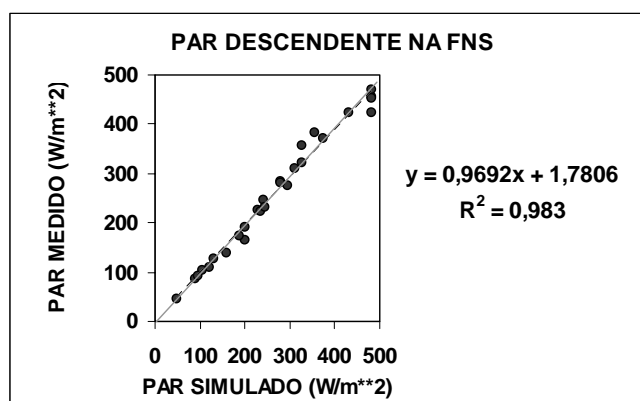
(c) 28 casos e erro médio = 0,57%



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	62,10	323,41	> 0
β_1	0,25	0,85	> 0

(d) 28 casos e erro médio = 1,22%

Fig.2a – Análise estatística dos fluxos de radiação solar e infravermelha termal para todas as condições de céu (limpo e encoberto) na região de pastagem na Fazenda Nossa Senhora Aparecida realizada através do método de Bonferrone. Os círculos pretos representam os fluxos (Wm⁻²).



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	IL	SL	Resultado
β_0	-16.07	19.63	= 0
β_1	0.91	1.030	=1

e) 27 casos e erro médio = 2,95%

Fig.2b – Análise estatística dos fluxos de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para todas as condições de céu (limpo e encoberto) na região de pastagem da Fazenda Nossa Senhora Aparecida realizada através do método de Bonferrone. Os círculos pretos representam os fluxos (Wm^{-2}).

Através da Figura 2a e 2b pode-se observar que as curvas de regressão obtidas nas análises de irradiância solar e PAR para a região de pastagem estão perfeitamente ajustadas e correlacionadas, pois apresentam coeficientes de determinação superiores a 0,98.

A curva de regressão também é aceitável quando uma das duas hipóteses estatísticas é satisfeita e o diagrama de dispersão apresenta alto coeficiente de determinação. Portanto, são significativas as curvas de regressão obtidas para a radiação solar refletida e para a radiação termal emitida, que apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,96. É verificada uma tendência em subestimar a radiação solar refletida, pois a curva de regressão encontra-se levemente abaixo da curva ideal (cinza).

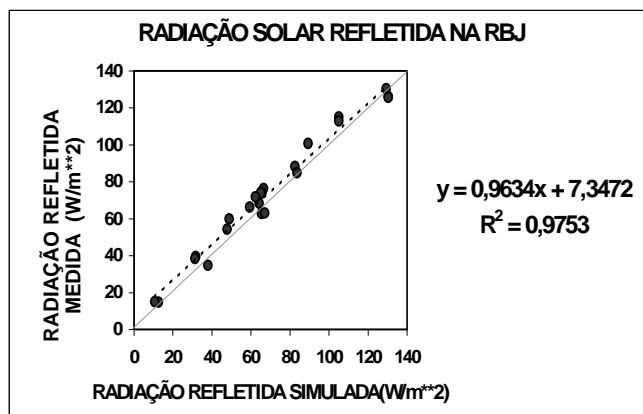
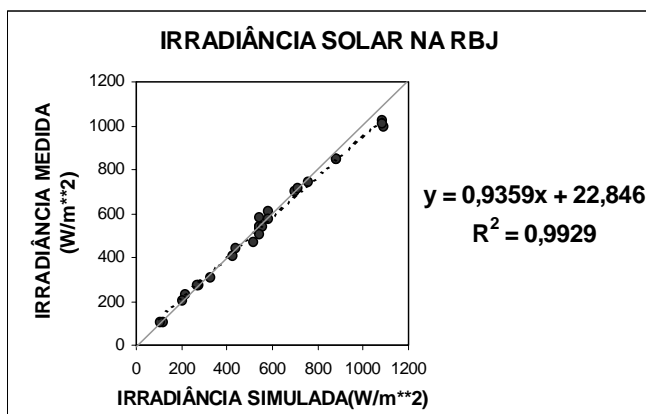
A radiação infravermelha termal descendente na FNS simulada pelo MTR não pôde ser representada pela curva de regressão apresentada, pois não satisfaz a nenhum dos critérios acima discutidos. Embora o erro médio seja pequeno (1,22%), a curva de regressão não consegue explicar nem a metade dos valores obtidos da variável dependente (y), pois o coeficiente de determinação obtido foi de 0,43.

Em todas as simulações da FNS foram observados erros médios menores do que 3%.

Através das Figuras 3a e 3b pode ser visto que para a RBJ os menores erros médios correspondem às simulações de irradiância solar, radiação infravermelha termal emitida e descendente na superfície, com erros médios menores do que 3%, enquanto que os maiores erros médios foram encontrados na simulação da radiação solar refletida pela superfície (-8,39%).

As curvas de regressão para a RBJ estão perfeitamente ajustadas e correlacionadas, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,975, com exceção das curvas de regressão representativas da radiação infravermelha termal. As tendências de superestimativa do saldo de radiação e subestimativa da radiação solar refletida são evidenciadas nestas figuras, onde as curvas de regressão encontram-se, respectivamente, levemente acima e abaixo da reta ideal (cinza). Nos casos de simulação da radiação infravermelha termal as curvas de regressão não apresentam significância, pois embora a hipótese $\beta_0 = 0$ seja satisfeita, a hipótese de $\beta_1 = 0$ invalida a análise. Este

fato é corroborado com os baixos coeficientes de determinação, que mostram que as curvas de regressão não explicam nem 2% das variáveis dependentes.

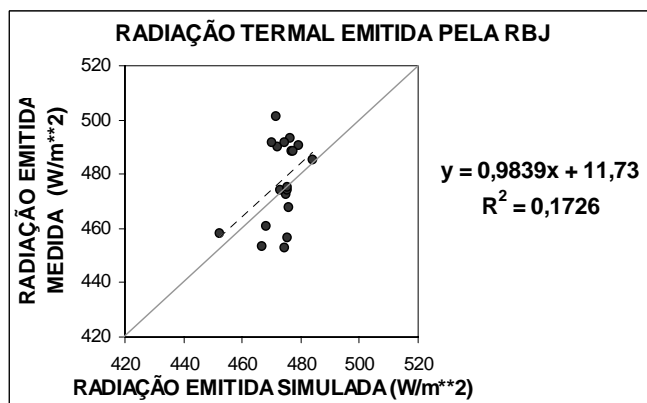


INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-1,13	46,82	= 0
β_1	0,90	0,97	>0 e ~ 1

(a) 26 casos e erro médio = 0,83%

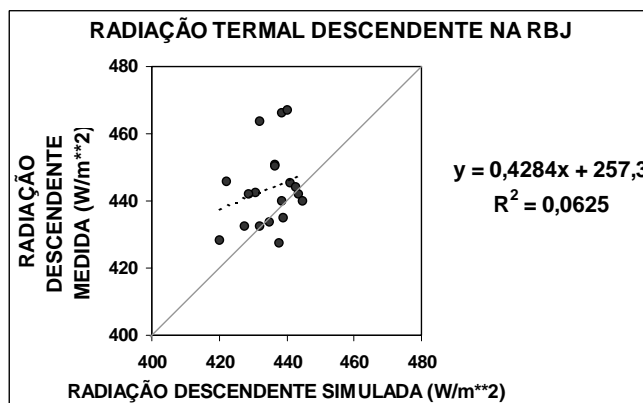
INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	1,37	13,32	> 0
β_1	0,86	1,04	= 1

(b) 24 casos e erro médio = - 8,39%



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-589,92	613,38	= 0
β_1	-0,29	2,26	= 0

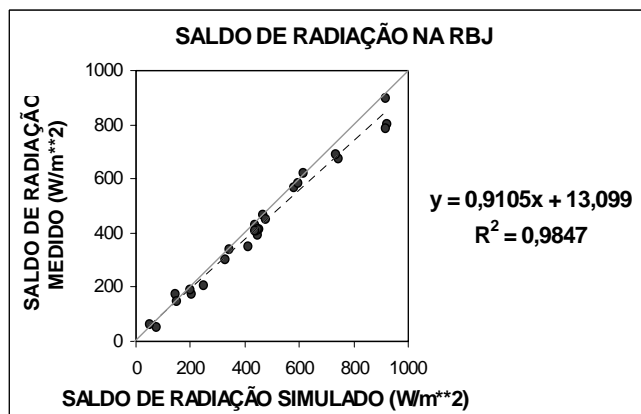
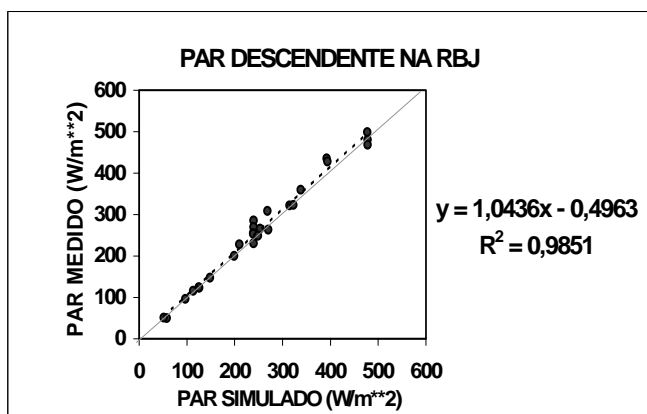
(c) 19 casos e erro médio = - 0,78%



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-168,90	683,50	= 0
β_1	-0,55	1,41	= 0

(d) 19 casos e erro médio = - 1,89%

Fig. 3.a – Análise estatística dos fluxos de radiação solar e infravermelha termal para todas as condições de céu (limpo e encoberto) na região da Reserva Biológica de Jarú realizada através do método de Bonferrone. Os círculos em preto representam pretos os fluxos (Wm⁻²).



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-17,92	16,93	= 0
β_1	0,98	1,11	= 1

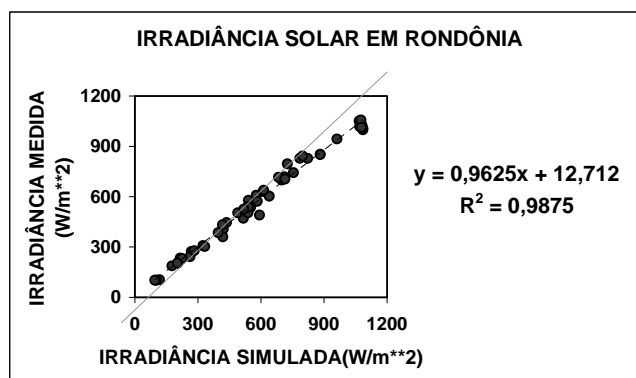
(e) 26 casos e erro médio = - 2,72%

INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-15,29	41,48	= 0
β_1	0,86	0,97	>0 e ~ 1

(f) 26 casos e erro médio = 5,89%

Fig.3b – Análise estatística do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e do saldo de radiação para todas as condições de céu (limpo e encoberto) na região da Reserva Biológica de Jaru realizada através do método de Bonferrone. Os círculos pretos representam os fluxos (Wm⁻²).

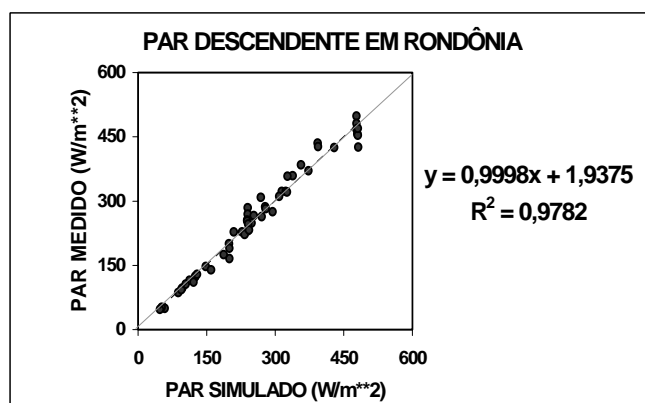
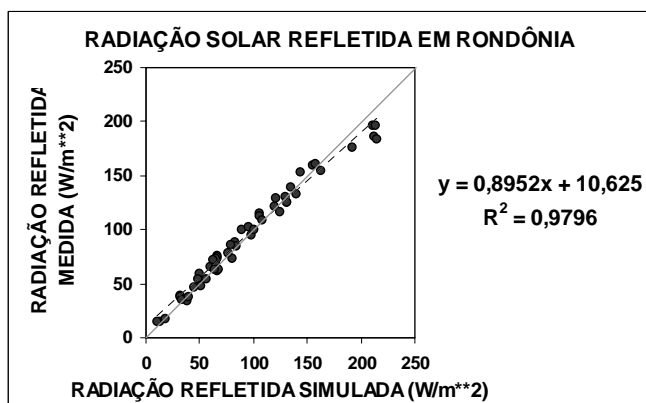
As Figuras 4a e 4b apresentam as curvas de regressão em que foram consideradas as simulações das grandezas radiométricas para os dois sítios experimentais de Rondônia e com todos os tipos de céu (limpo e encoberto).



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-9,55	34,97	= 0
β_1	0,93	0,997	= 1

(a) 56 casos e erro médio = 1,41%

Fig. 4a – Análise estatística da irradiância solar na superfície para todas as condições de céu (limpo e encoberto) obtidos nas duas localidades em Rondônia (FNS e RBJ) realizadas através do método de Bonferrone. Os círculos em preto representam a irradiância solar em Wm⁻².

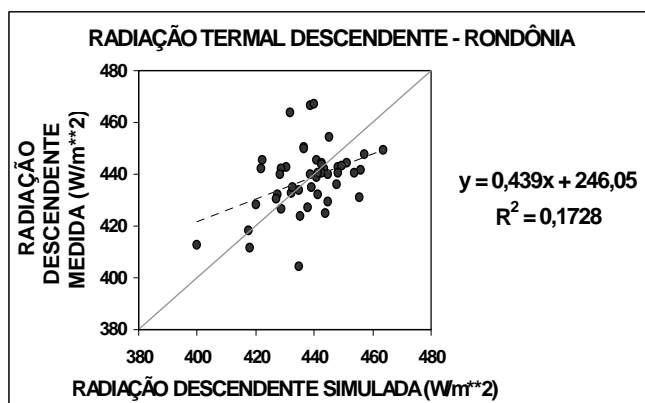
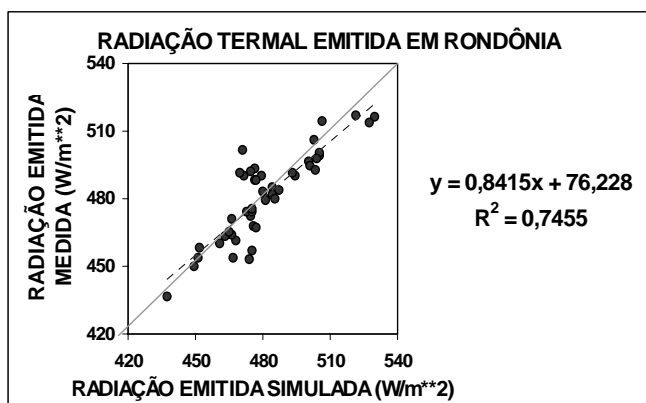


INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	6,06	15,19	> 0
β_1	0,85	0,94	~ 1

(b) 56 casos e erro médio = - 3,36%

INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	IL	SL	Resultado
β_0	-11,92	15,80	= 0
β_1	0,95	1,05	= 1

(c) 56 casos e erro médio = 0,17%



INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	-5,53	157,98	= 0
β_1	0,67	1,01	= 1

(d) 47 casos e erro médio = 0,03%

INTERVALO DE CONFIANÇA CONJUNTO DE BONFERRONE			
	LI	LS	Resultado
β_0	100,81	391,29	= 0
β_1	0,11	0,77	< 1

(e) 47 casos e erro médio = - 0,04%

Fig. 4b – Análise estatística dos fluxos de radiação solar e infravermelha termal para todas as condições de céu (limpo e encoberto) obtidos nas duas localidades em Rondônia (RBJ e FNS) realizadas através do método de Bonferrone. Os círculos pretos representam os fluxos (Wm^{-2}).

Verifica-se que para a irradiância solar, PAR e radiação solar refletida pela superfície, as curvas de regressão estão perfeitamente correlacionadas e os seus diagramas de dispersão apresentam coeficientes de determinação superiores a 0,978, ou seja, as curvas de regressão explicam mais do que 97,8% das variáveis dependentes com um intervalo de confiança de 95%. A curva de regressão obtida para a radiação infravermelha termal emitida pela superfície está bem ajustada, pois as duas hipóteses são verdadeiras e o coeficiente de determinação explica 75%

das variáveis dependentes. Nenhuma tendência é verificada na análise das curvas que melhor se ajustaram ao diagrama de dispersão.

A curva de regressão obtida para radiação infravermelha termal descendente não possui significância apreciável, pois além de não satisfazer a nenhuma das hipóteses, apresenta o coeficiente de determinação tão baixo a ponto de não explicar nem 18% das variáveis dependentes.

CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que os modelos de transferência radiativa de Chou e Suarez (1994, 1999) são eficientes nas simulações dos fluxos radiométricos na superfície para regiões de pastagem e de floresta da Amazônia. Embora algumas suposições tenham sido assumidas, devido à falta de informações sobre alguns dados de entrada dos MTRs, os resultados apresentam boa concordância com as observações (verdade-terrestre).

Verificou-se que, embora grande parte dos erros médios sejam pequenos (da mesma ordem ou até menores do que os erros instrumentais, exceto para o caso da radiação solar refletida), é através da análise estatística dos coeficientes de determinação, coeficientes de correlação, ou das curvas de regressão, obtidas pelo método de Bonferrone, que se pode avaliar a dispersão dos simulações dos MTRs em relação aos dados de verdade-terrestre, bem como as suas tendências de forma confiável.

As simulações provenientes do MTR solar apresentaram altas correlações ($r > 0,97$) para os dois sítios experimentais (RBJ e FNS) com uma significância de 99% do nível de confiança. As simulações provenientes do MTR termal apresentaram as melhores correlações para a região de pastagem (FNS), sendo as maiores correlações obtidas na análise da radiação termal emitida ($r > 0,89$), também considerando uma significância de 99% do nível de confiança. A diferença entre a simulação da radiação termal para a região de floresta e para a região de pastagem pode ser explicada pelo fato do perfil de temperatura, que é um parâmetro de entrada importante neste MTR, não ter sido obtido nas mesmas condições, em relação ao local de coleta dos dados radiométricos, para os dois sítios experimentais. As radiossondagens na FNS foram lançadas próximas à estação de observação radiométrica (5 m), enquanto que na RBJ foram lançadas a 5 km de distância da torre, local onde foram registradas as medidas radiométricas para região de floresta. O uso do método de Bonferrone confirma estas informações obtidas através do cômputo dos coeficientes de correlação.

Agradecimentos: Agradecemos ao Dr. Ming-Dah Chou da Goddard Space Flight Center, NASA, pelo fornecimento dos modelos de transferência radiativa. Agradecemos a todos os participantes envolvidos com o projeto LBA, apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), concessão 1997/9926-9 (coordenação de Dra. M. A. F. da Silva Dias). Em particular, agradecemos à R.G. Moura, C. Von Randow e Dr. A. O. Manzi (CPTEC) pelo fornecimento dos dados de radiação e ao Dr. G. F. Fisch (CTA) pelo fornecimento dos dados de radiossondagem. Também agradecemos a Dra. T. A. Tarasova pelas preciosas discussões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chou, M.-D.; Peng, L. A parametrization of the absorption in the 15 μm CO₂ spectral region with application to climate sensitivity studies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40, 2183-2192, 1983.
- Chou, M.-D. Broadband water vapor transmission functions for atmospheric IR flux computations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 41, 1775-1778, 1984.
- Chou, M.-D.; Kouvaris, L.. Monochromatic calculations of atmospheric radiative transfer due to molecular line absorption. *Journal of Geophysical Research - Atmosphere*, 91, 4047-4055, 1986.
- Chou, M.-D. A solar radiation model for use in climate studies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 49, 762-772, 1992.
- Chou, M.-D.; Suarez, M. J. *An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models*. Tech. Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Tech. Memo. 104606, v. 3, 102 pp, 1994.

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

- Chou, M.-D.; Lee, K.-T. Parameterizations of the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 53, 1203-1208, 1996.
- Chou, M.-D.; Suarez, M. J. *A solar radiation parameterization (CLIRAD-SW) developed at Goddard Climate and Radiation Branch for Atmospheric Studies, Goddard Space Flight Center, Greenbelt. NASA Tech. Mem. (NASA/TM-1999-104606), vol. 15, 1999.*
- Culf, A. D.; Fisch, G.; Hodnett, M. G. The albedo of Amazonian forest and Ranchland. *Journal of Climate*, 8, 1544-1554, 1995.
- Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A.; Kennedy; P. J.; Wilson, M. F. *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme for the NCAR Community Climate Model. NCAR, Tech. Note 275+STR, 69 pp., 1986.*
- Gash, J. H. C.; Nobre, C. A. Climatic effects of Amazonian deforestation: Some results from ABRACOS. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, n. 5, p. 823-830, Maio 1997.
- Hahn, C. J.; Rossow, W. B.; Warren, S. G. ISCCP Cloud properties associated with standard cloud types identified in individual surface observation. *Journal of Climate*, 14, 11-28, 2001.
- Joseph, J. H.; Wiscombe, W. J.; Weinman, J. A. The delta-Eddington approximation for radiative flux transfer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33, 2452-2459, 1976.
- Mc Clatchey, R. A.; Fenn, R. W.; Selby, J. E. A.; Voltz, F. E.; Garing, J. S. *Optical properties of the atmosphere. Air Force Cambridge Research Laboratory, Bedford, Tech. Rep. AFCRL-72-0497, 108 pp., 1972.*
- Neter, J.; Wasserman, W. *Applied linear statistical models. R. D. Irwin, Inc., Homewood Illinois, 842 pp., 1974.*
- Sá, L. D. A.; Alvalá, R. C. S; Arai, E.; Arlino, P. R. A.; Barbosa, A. C.; Bolzan, M. J. A.; Bonfim Jr, A.; Castro Jr, W. E.; Silva Dias, M. F. A.; Prasad, G. S. S. D.; Gielow, R.; Da Costa, A. C.; Manzi, A. O.; Martins Nogueira, J. L.; Melo, J.; Moura, R. G.; Rosa, L. E.; Rossato, L.; Von Randow, C. General aspects of the Rebio-Jaru Amazon Forest micrometeorological tower LBA Wet Season Campaign with some of its preliminary results. Conference on Hydrology, 15. *Proceeding AMS*. Jan. 2000. p. 369-372.
- Wilber, A. C.; Kratz, D. P.; Gupta, S. K. *Surface emissivity maps for use in satellite retrievals of longwave radiation. Hampton, Virginia: NASA, 1999. 35p. (NASA/TP-1999-209362).*