

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA ATMOSFÉRICA EM UMA ÁREA DE PASTAGEM EM RONDÔNIA

LEONARDO J. G. AGUIAR¹, JOSÉ MARIA N. DA COSTA², GRACIELA R. FISCHER³,
RENATA G. AGUIAR⁴

¹ Matemático, Doutorando em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Fone: (0xx31) 3899 1901, veraneiro@yahoo.com.br

² Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

³ Meteorologista, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

⁴ Matemática, Prof. Assistente, Depto. Engenharia Ambiental, UNIR, Ji-Paraná – RO.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: Na Amazônia praticamente não existem medidas regulares de radiação de onda longa atmosférica (L_{in}), mesmo sendo uma variável importante no cálculo do balanço de radiação à superfície. Uma alternativa eficiente e muito utilizada para se obter a radiação de onda longa atmosférica é através de equações que estimam a L_{in} a partir de valores de temperatura do ar e da pressão de vapor. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de sete equações na estimativa da radiação de onda longa atmosférica para dias de céu claro em uma área de pastagem em Rondônia, localizada na Fazenda Nossa Senhora (10°45'S; 62°21'W). Medidas da radiação de onda longa atmosférica realizadas durante os meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006 foram utilizadas para comparação com as estimativas. As equações que levam em consideração a pressão de vapor d'água e a temperatura do ar tiveram melhor desempenho do que as que utilizam apenas a temperatura do ar. As equações de Brutsaert (1975), Idso (1981) e Prata (1996) foram as que apresentaram melhor desempenho, obtendo os maiores índices de concordância, e sendo, portanto, as equações mais indicadas para a estimativa da radiação de onda longa atmosférica no sudoeste da Amazônia.

PALAVRAS-CHAVE: pressão de vapor d'água, temperatura do ar, sudoeste da Amazônia.

ESTIMATE OF THE ATMOSPHERIC LONG WAVE RADIATION IN AREA OF PASTURE IN RONDÔNIA

ABSTRACT: Practically the Amazonian do not have measurements of long term of the atmospheric long wave radiation (L_{in}), even be an important variable on calculate of the radiation balance at surface. One efficient alternative and large used to obtain the atmospheric long wave radiation is through of equations that estimate the L_{in} by the air temperature and water vapour pressure. The objective of this study was to evaluate the performance of the seven equations on estimate of atmospheric long wave radiation to days with clearness sky in a pasture area at Rondonia, located in Fazenda Nossa Senhora (10°45'S; 62°21'W). Measurements of atmospheric long wave radiation made during the months of August of 2005 and February of 2006 were used to compare with estimates. The equations considering the water vapor pressure and the air temperature had better performance than the ones that use only the air temperature. Brutsaert (1975), Idso (1981) e Prata (1996) equations were that

presented better performance, obtaining the high agreement index, and therefore, equations most recommended to estimate of atmospheric long wave radiation at Southwest of Amazonian.

KEYWORDS: water vapor pressure, air temperature, Southwest of Amazonian.

INTRODUÇÃO: A radiação de onda longa proveniente da atmosfera é a componente do balanço de radiação mais difícil de ser medida. Embora haja instrumentos para sua medida, esses emitem radiação em comprimentos de onda e intensidade comparáveis aos da suposta medida (Von Randow e Alvalá, 2006).

Na Região Amazônica praticamente não existem medições regulares de radiação de onda longa da atmosfera, mesmo sendo esta uma variável importante no cálculo do balanço de radiação à superfície, pois representa a contribuição da atmosfera e engloba informações de nebulosidade e concentração de vapor d'água (Galvão e Fisch, 2000). A maioria dos resultados do balanço de radiação de ondas longas publicados são estimados ou obtidos como resíduo a partir da equação do balanço de radiação.

Outra alternativa para se obter estes resultados é através de equações empíricas e analíticas que estimam a radiação de onda longa atmosférica a partir de valores de temperatura do ar e da pressão de vapor d'água (Prata, 1996). Uma inconveniência é que a maioria dessas equações apenas estima a radiação de onda longa atmosférica para dias de céu claro. Além disso, estimativas horárias, frequentemente exigidas em modelos de balanço de energia à superfície, são mais sujeitas a erros, apresentando melhor desempenho quando se consideram bases diárias ou médias de longo prazo.

Visando a necessidade de se obter valores de radiação de onda longa atmosférica objetivou-se neste trabalho avaliar sete equações que estimam a radiação de onda longa atmosférica em uma área de pastagem em Rondônia nos meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente trabalho foi realizado em um sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, em Rondônia. O sítio está localizado na Fazenda Nossa Senhora (FNS) (10°45'S; 62°21'W), próximo a Ouro Preto d'Oeste, e encontra-se no centro de uma área desmatada com aproximadamente 50 km de raio, tendo como cobertura vegetal predominante a gramínea *Brachiaria brizantha*, e altitude variando em torno de 293 metros. Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas medições contínuas de irradiância solar global (S_{in}), através de um piranômetro Kipp&Zonen (CM21), radiação de onda longa atmosférica (L_{in}), por um pirgeômetro Kipp&Zonen (CG1), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), utilizando um Termohigrômetro Vaisala (HMP45D), com valores médios a cada 10 minutos, nos meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006, sendo estes meses característicos das estações seca e chuvosa, respectivamente.

Os cálculos de L_{in} foram realizados a partir das equações de Brunt (1932), Swinbank (1963), Idso e Jackson (1969), Brutsaert (1975), Satterlund (1979), Idso (1981) e Prata (1996) (Tabela 1).

Tabela 1. Equações utilizadas para estimar a radiação de onda longa atmosférica, em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$), e a pressão de vapor d'água (hPa), T a temperatura do ar (K) e $\xi = 46,5 (e/T)$.

Equações	Parametrização
Brunt (1932)	$L_{in} = [0,065(e^{0.5}) + 0,52] \sigma T^4$
Swinbank (1963)	$L_{in} = [9,2 \times 10^{-6}] \sigma T^6$
Idso e Jackson (1969)	$L_{in} = \{1 - 0,26 \exp[-7,77 \times 10^{-4}(273-T)^2]\} \sigma T^4$
Brutsaert (1975)	$L_{in} = [1,24 (e/T)^{1/7}] \sigma T^4$
Satterlund (1979)	$L_{in} = \{1,08[1 - \exp(-e^{T/2016})]\} \sigma T^4$
Idso (1981)	$L_{in} = [0,7 + 5,95 \times 10^{-5} (e \exp(1500/T))] \sigma T^4$
Prata (1996)	$L_{in} = \{1 - (1 + \xi) \exp[-(1,2 + 3\xi)^{0.5}]\} \sigma T^4$

A pressão de saturação do vapor d'água (e_s , em hPa), foi calculada a partir da equação de Tetens e a pressão atual do vapor d'água (e) foi calculada utilizando a e_s e a umidade relativa. Como as equações avaliadas foram desenvolvidas para estimar a radiação de onda longa atmosférica apenas sob condições de céu claro, e por não haver informações de nebulosidade, foi feita a caracterização de dias de céu claro com base na razão entre a irradiância solar global e a irradiância solar extraterrestre (S_{in}/R_o), utilizando mesma metodologia empregada por Galvão e Fisch (2000) e Von Randow e Alvalá (2006). Os dias considerados como de céu claro foram aqueles em que a razão entre a S_{in} e a R_o foi superior a 0,5. A radiação solar extraterrestre diária e horária foi estimada usando a relação geométrica Terra-Sol (Iqbal, 1983) e a constante solar 1367 W m^{-2} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para avaliar o desempenho das equações, foram utilizados valores médios diários da radiação de onda longa atmosférica (L_{in}) nos dias caracterizados como de céu claro, totalizando 26 dias no mês de agosto e 8 dias no de fevereiro. Após as estimativas, calculou-se a raiz do erro médio quadrático (em inglês, RMSE), o erro médio de viés (em inglês, MBE), o coeficiente de determinação (r^2), o índice de concordância de Willmott (d) e o erro relativo médio (Erro).

No mês de agosto, característico da estação seca, as equações tiveram desempenho satisfatório, com variação do RMSE, MBE, r^2 e Erro de $6,34$ a $17,14 \text{ W m}^{-2}$, $-16,35$ a $13,48 \text{ W m}^{-2}$, de $0,88$ a $0,98$ e de $-4,35$ a $3,81\%$, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Estatísticas relacionando os valores da radiação de onda longa atmosférica observados e estimados pelas equações avaliadas, para os meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006. A raiz do erro médio quadrático (em inglês, RMSE) e o erro médio de viés (em inglês, MBE) estão em W m^{-2} , o coeficiente de determinação (r^2) e o índice de concordância (d) são adimensionais, e o erro relativo médio (Erro) está em %.

Equações	Agosto 2005					Fevereiro 2006				
	RMSE	MBE	r^2	d	Erro	RMSE	MBE	r^2	d	Erro
Brunt (1932)	17,14	-16,35	0,97	0,88	-4,35	39,37	-38,34	0,15	0,29	-9,10
Swinbank (1963)	12,28	-1,36	0,87	0,91	-2,11	52,81	-51,95	0,01	0,23	-14,20
Idso e Jackson (1969)	14,60	8,85	0,87	0,89	2,80	43,03	-41,95	0,01	0,27	-9,91
Brutsaert (1975)	6,34	-0,83	0,96	0,98	-0,20	28,87	-27,44	0,15	0,36	-6,51
Satterlund (1979)	13,83	8,76	0,93	0,90	2,47	32,23	-30,92	0,00	0,33	-7,33
Idso (1981)	14,23	13,48	0,98	0,92	3,81	8,70	-0,72	0,03	0,41	-0,14
Prata (1996)	7,37	-0,83	0,96	0,97	-0,18	31,25	-29,93	0,00	0,34	-7,10

Por outro lado, maiores erros no mês de fevereiro, típico da estação chuvosa, demonstram que essas equações não se ajustam bem a locais muito úmidos, como é o caso do sudoeste da Amazônia no mês de fevereiro, em que o RMSE, MBE, r^2 e o Erro variaram de 8,70 a 52,81 $W m^{-2}$, -51,95 a -0,72 $W m^{-2}$, de 0,00 a 0,15, e de -14,20 a -0,14%, respectivamente.

A equação de Brutsaert (1975) obteve o maior índice de concordância no mês de agosto, e a de Idso (1981) no de fevereiro. Já as equações de Swinbank (1963) e de Idso e Jackson (1969), que consideram apenas a temperatura do ar, tiveram os piores índices de concordância e os maiores erros relativos médios no mês de fevereiro.

Comparando os resultados deste trabalho com os encontrados por Galvão e Fisch (2000), para a área de pastagem, e Von Randow e Alvalá (2006), para o Pantanal Sul Mato-Grossense, pode-se destacar que os valores de RMSE e MBE obtidos nesse trabalho, para o mês de agosto, são, na maioria das vezes, menores, indicando maior proximidade entre os valores da L_{in} estimados e medidos. Isso pode ter ocorrido devido a 2005 ter sido um ano adverso, sendo mais seco do que o habitual, e estando, provavelmente, mais próximo das condições atmosféricas às quais os coeficientes das equações foram ajustados. As equações com maiores coeficientes de determinação, encontrados neste trabalho, foram as de Idso (1981) e de Brunt (1932) para o mês de agosto e de Brutsaert (1975) e Brunt (1932) no de fevereiro, enquanto que nos estudos de Galvão e Fisch (2000) e Von Randow e Alvalá (2006) prevaleceram as equações de Swinbank (1963) e Idso e Jackson (1969). Deve-se ressaltar que Galvão e Fisch (2000) não avaliaram as equações de Idso (1981) e Prata (1996).

Ao analisar os ciclos médios diários da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada nota-se que as equações tanto subestimam quanto superestimam a L_{in} ao longo do dia (Figura 1). No mês mais seco (Agosto) a equação de Swinbank (1963) é a que mais subestima a L_{in} no período noturno. Já no período diurno as piores estimativas são apresentadas pelas equações de Brunt (1932) e Idso e Jackson (1969). No mês úmido (Fevereiro) a equação de Swinbank (1963) obteve o pior desempenho durante todo o dia. A equação de Idso (1981) se mostrou mais eficiente, no mês mais chuvoso, enquanto que no mais seco se percebe um distanciamento maior das curvas, principalmente no período noturno.

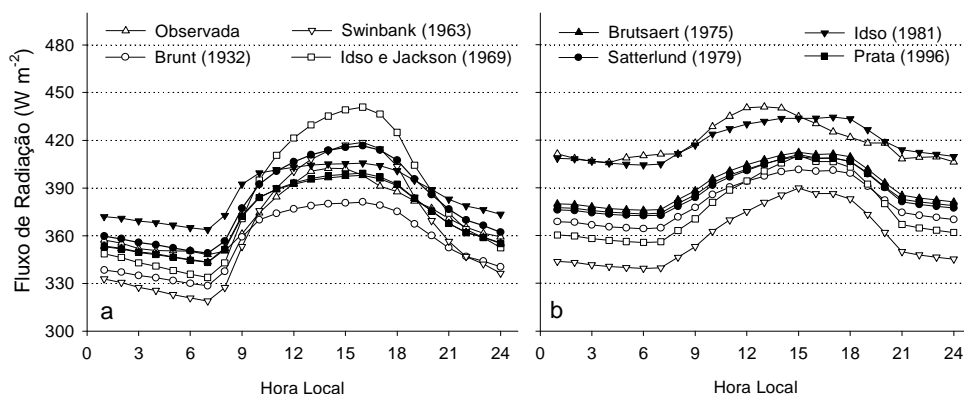


Figura 1. Ciclo médio diário da radiação de onda longa atmosférica observada e estimada pelas equações avaliadas para os meses de agosto de 2005 (a) e fevereiro de 2006 (b).

CONCLUSÕES: As equações que levam em consideração a pressão de vapor d'água e a temperatura do ar tiveram melhor desempenho do que as que utilizam apenas a temperatura do ar. As condições de alta nebulosidade, dominantes na estação chuvosa, restringiram a quantidade de dados utilizados na avaliação das equações para o mês de fevereiro. As

equações de Brutsaert (1975), Idso (1981) e Prata (1996) foram as que apresentaram melhor desempenho, obtendo os maiores índices de concordância, e sendo, portanto, as equações mais indicadas para a estimativa da radiação de onda longa atmosférica no sudoeste da Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal Resource Meteorological Society**, v. 58, p. 389-418, 1932.

BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**, v. 11, n. 5, p. 742-744, Oct. 1975.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.

IDSO, S. B.; JACKSON R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. **Journal Geophysics Research**, v. 74, n. 23, p. 5397-5403, 1969.

IDSO, S. B. A set of equations for full spectrum and 8 to 14 μm and 10.5 to 12.5 μm thermal radiation from cloudless skies. **Water Resources Research**, v. 17, n. 2, p. 295-304, 1981.

IQBAL, M., 1983. **An Introduction to Solar Radiation**. Academic Press, Toronto.

PRATA, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. **Quarterly Journal Resource Meteorological Society**, v. 122, p. 1127-1151, 1996.

SATTERLUND, D. R. Na improved equation for estimating long-wave radiation from the atmosphere. **Water Resources Research**, v. 15, p. 1649-1650, 1979.

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

SWINBANK, W. C. Long-Wave Radiation from clear skies. **Quarterly Journal Resource Meteorological Society**, v. 89, n. 381, p. 339-348, July. 1963.

VON RANDOW, R. C. S.; ALVALÁ, R. C. S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense Durante os Períodos Secos de 1999 e 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 398-412, 2006.