

ESTIMATIVA DA EMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA EM SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER-MT¹

ATMOSPHERIC EMISSIVITY ESTIMATE IN SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER-MT

Enicildo Del Duccas Mendonça², José Holanda Campelo Júnior³ e Nicolau Priante Filho⁴

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens, em Santo Antônio de Leverger; no Estado de Mato Grosso, na época seca do ano. O experimento foi realizado no período de julho a setembro de 1994, através de medidas do saldo de radiação em todos os comprimentos de ondas, da radiação solar incidente e refletida pelo solo, da insolação, da temperatura do ar, da pressão de vapor d'água e do teor de CO₂ do ar ao nível do abrigo meteorológico. A emissividade da atmosfera em dias sem nuvens foi obtida através do balanço de radiação e comparada com as estimativas encontradas com as equações empíricas de BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUTSAERT (1975), a fim de estabelecer os coeficientes locais. Foi utilizado o método de regressão múltipla para analisar a influência do teor do gás carbônico sobre a emissividade. Não houve influência do horário de medição e do teor de gás carbônico sobre a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens. Usando coeficientes locais, a emissividade estimada através dos modelos propostos por BRUNT (1932) e BRUTSAERT (1975) se mostrou mais ajustada aos resultados observados do que a estimativa obtida pelas equações propostas por SWINBANK (1963) e IDSO & JACKSON (1969). Para valores médios diários, o uso de qualquer uma das equações analisadas permitiu obter estimativas do saldo de radiação com erros inferiores a 5%, para efeitos práticos de estimativa da disponibilidade de energia radiante diária, qualquer uma das equações proporciona erros inferiores a 10% da emissão efetiva.

¹Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, em outubro de 1995.

²Professor Adjunto, Ms, Departamento de Física/UFMT - 78060-900 - Cuiabá - MT.

³Professor Adjunto, Doutor, Departamento de Solos e Eng. Rural/UFMT - 78060-900 - Cuiabá - MT.

Palavras-chave: Balanço de radiação, gás carbônico, emissividade atmosférica.

SUMMARY

The objective of this work was to determine the emissivity of clear sky in the Santo Antônio de Leverger, state of Mato Grosso, Brazil, in the dry season. The experiment was carried out in the period from July to September, 1994. Net radiation (all-length waves), the downward and upward solar radiation, insolation, air temperature, water-vapor pressure and CO₂ content of the air in the level of meteorological shelter were measured. Values of emissivity of the clear sky was estimated from the radiation balance and they were compared to those estimated from empirical equations proposed by BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) and BRUTSAERT (1975), in order to establish the local coefficients. Multiple linear regression were used to analyse the influence of carbon dioxide gas content on the emissivity. The time of measurement and the carbon dioxide gas content had no influence in the emissivity of clear sky. Using local coefficients, the estimative of the emissivity from the equations proposed by BRUNT (1932) and BRUTSAERT (1975) showed better results than the estimative obtained from the equations proposed by SWINBANK (1963) and IDSO & JACKSON (1969). The use of any of the equations obtained in this study allow estimatives of the net radiation with errors lower than 5%, for average daily values, and for practical estimatives of the daily radiant energy availability, whichever of the equations provide errors lower than 10% of the effective emission.

Key words: Radiation Balance, carbon dioxide, emissivity of clear sky.

INTRODUÇÃO

Estudos locais podem contribuir para esclarecer os efeitos que um aumento no teor de dióxido de carbono da atmosfera pode ter sobre o balanço de radiação terrestre.

O saldo de radiação pode ser obtido através de medição direta ou da medição dos componentes do balanço de radiação através de radiômetros, normalmente não disponíveis em Estações Meteorológicas e Agrometeorológicas, ou pode ser, ainda, estimado através de elementos meteorológicos que permitam calcular os fluxos de energia radiante.

O balanço de radiação de ondas curtas é a diferença entre a radiação solar incidente e a radiação de

⁴Professor Adjunto, Doutor, Departamento de Física/UFMT - 78060-900 - Cuiabá - MT.

ondas curtas refletida pela superfície. A radiação solar incidente pode ser medida diretamente com solarímetros ou, então, estimada através do produto da radiação extraterrestre por um fator de correção do tipo equação de Angström. A radiação solar refletida pode também ser medida diretamente, ou estimada a partir da radiação solar incidente e do albedo da superfície.

A estimativa do balanço de radiação de ondas longas pode ser realizada através da equação de Stefan-Boltzmann, da emissividade efetiva da atmosfera em dias sem nuvens, que representa a diferença entre a emissividade da atmosfera e a da superfície, e de um fator de correção para a presença de nuvens, determinado através de medidas de insolação ou de nebulosidade.

A emissividade de uma superfície totalmente vegetada apresenta pouca variabilidade, estando seu valor compreendido entre 0,94 e 0,98 de acordo com a revisão realizada pela FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1991). Entretanto, o valor mais utilizado para a emissividade da superfície, de acordo com a bibliografia pesquisada é 1.

BRUNT (1932) propôs que a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens fosse determinada através da seguinte equação:

$$e_a = a + b\sqrt{e} \quad 1$$

onde e é a pressão parcial do vapor d'água. Quando e é expresso em mbar, os valores de a e b são, respectivamente, 0,52 e 0,065.

Através da análise de 100 dados obtidos, a maioria em torno das 20 horas, em Aspendale e no Oceano Índico, com a temperatura variando entre 25,2 e 28,3°C e a pressão de vapor d'água entre 15,91 e 35,00 mbar, SWINBANK (1963) propôs a seguinte equação:

$$\log(R_a \downarrow) = -13,638 + 6,148 \log(T) \quad 2$$

com $r=0,985$, onde $R_a \downarrow$ é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera, $R_a \downarrow = \epsilon_a \sigma T^4$, medida em mW/cm^2 e T é a temperatura em Kelvin. Arredondado o coeficiente de $\log T$ para 6 obteve:

$$e_a = 0,92 \cdot 10^{-5} T^2 \quad 3$$

WINBANK (1963) sugeriu o uso da equação 3 para o cálculo da emissividade da atmosfera, porque a diferença em $R_a \downarrow$ estimado para uma temperatura de 300°K entre as equações 2 e 3 é de apenas 0,2 mW/cm^2 em 39 mW/cm^2 .

Para os dados obtidos em Benson, por Dines, SWINBANK (1963) determinou a seguinte equação:

$$e_a = 0,90 \cdot 10^{-5} T^2 \quad 4$$

obtendo um coeficiente de correlação de 0,989 entre $\log R_a \downarrow$ e $\log T$.

Aos dados de SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) acrescentaram dados de baixa temperatura obtidos perto de Point Barrow, no Alaska, por Lieske e Stroschein (1968) e de altas temperaturas dos registros da U.S. Water Conservation Laboratory em Phoenix, no Arizona, determinando assim a seguinte equação:

$$e_a = 1 - 0,261 \exp[-7,77 \cdot 10^{-4} (273 - T)^2] \quad 5$$

com um coeficiente de correlação de 0,992.

BRUTSAERT (1975) derivou uma equação para prever a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens em condições atmosféricas próximas à atmosfera padrão, através da integração da equação de Schwarzschild, num cálculo análogo aos de cartas de fluxo, mas utilizando certas simplificações. A simplificação fundamental foi assumir uma função de fonte isotrópica em uma atmosfera estratificada para a qual os coeficientes de absorção e a temperatura dependeriam somente da elevação. Os gradientes de temperatura, pressão atmosférica, pressão e densidade de vapor d'água seriam exponenciais. A equação por ele encontrada foi:

$$e_a = 1,24 \left(\frac{e}{T} \right)^{\frac{1}{7}} \quad 6$$

Com e dado em mbar e T em °K. Por ser esta equação pouco sensível às mudanças de temperatura, BRUTSAERT (1975) assumiu uma temperatura típica de abrigo de 288°K obtendo então:

$$e_a = 0,553 e^{\frac{1}{7}} \quad 7$$

PAVÃO & SOUZA (1995) estudaram a influência das queimadas no teor de CO₂ em Cuiabá-MT através de um analisador infravermelho não dispersivo, instalado nas dependências do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) nas proximidades da zona urbana. Os autores obtiveram que para os

anos de 1991 e 1992 os teores médios de CO₂ nos meses de setembro e novembro foram de 371 ppmv e 350 ppmv, respectivamente. Outro aspecto observado foi a existência de uma alta concentração de CO₂ no período de queimadas e baixa concentração no período de chuvas.

A emissividade da atmosfera em dias sem nuvens é um importante elemento para a estimativa do balanço de radiação sendo difícil de ser calculada com exatidão. Ela depende fundamentalmente das quantidades presentes na atmosfera de vapor d'água, gás carbônico, ozônio e aerossóis; dos quais o vapor d'água tem sido considerado o único a provocar alguma variabilidade substancial. Entretanto, em alguns casos torna-se necessário um maior aprofundamento no estudo da influência dos outros constituintes, visto que o teor de CO₂ atmosférico sofre um aumento, normalmente cíclico, em regiões de novas fronteiras agrícolas, como no cerrado, e em regiões onde é cultivada tradicionalmente a cana de açúcar, ou onde ocorrem constantes queimadas.

Santo Antônio do Leverger é um município do Estado de Mato Grosso, situado na zona de transição entre o cerrado e o pantanal, a cerca de trinta quilômetros de Cuiabá. Está localizado em uma região que vem sendo ocupada de modo intensivo nos últimos anos e onde ainda são escassas as informações que caracterizem o meio físico, especialmente no que diz respeito aos efeitos do acúmulo de fumaça na época mais seca do ano (setembro).

O objetivo do presente trabalho foi determinar a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens em Santo Antônio do Leverger, na época seca do ano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, na Estação Agrometeorológica Padre Ricardo Remetter, em Santo Antônio de Leverger (latitude: 15°47'11"S, longitude: 56°04'17"W e altitude: 140 m).

Foram utilizados os seguintes instrumentos:

1- Um saldo radiômetro Modelo 3032-A fabricado por Novalynx Corporation-Inglaterra com resistência nominal de 4 ohms, resposta espectral de 0,025 a 60 μm , constante de tempo de 10,5 s e fator de calibração nominal de 12,9 W/(m²V).

2- Dois solarímetros fabricado por PP Systems-Inglaterra, consistindo de termopilha de multijunção de cobre-constantan com saída de 0-1V correspondendo 0 a 1500 W/m².

3- Uma unidade analisadora e armazenadora de dados de dióxido de carbono EGM-1/WMA-2 com saída para os solarímetros, cujo método de medida do gás é por infravermelho não dispersivo, com micro processador de controle, com faixa de medida de 0-2000 ppmv de gás carbônico e precisão e linearidade de 1,0% do fundo de escala.

4- Termopares de cobre constantan, nº 26 para a determinação da temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido com abrigos meteorológicos construídos de tubo de PVC.

Os solarímetros e o saldo radiômetro foram colocados a 0,70 m acima do nível do solo, os termopares a 1,5 m e a unidade EGM-1 no abrigo meteorológico da Estação a 1,5 m.

Foram realizadas 700 observações de meia em meia hora, ao longo de 25 dias no período compreendido entre os dias 11 de julho e 22 de setembro de 1994.

O balanço de radiação de ondas longas (R_b) foi obtido (R_n), por diferença a partir das medidas do saldo de radiação (R_n), da radiação solar incidente (R_{sg}) e da radiação solar refletida (R_{sr}), dada por:

$$R_b = R_n - R_{sg} + R_{sr} \quad \mathbf{8}$$

Alternativamente, assumindo que a emissividade do solo é igual a 1 e que a temperatura do solo e a temperatura da atmosfera são aproximadamente iguais à temperatura de abrigo, o valor de R_b pode ser estimado por:

$$R_b = -\epsilon_a \sigma T^4 - \sigma T^4 \quad \mathbf{9}$$

Assim sendo, a emissividade da atmosfera em dias sem nuvens foi estimada por:

$$\epsilon_a = 1 + \frac{R_b}{\sigma T^4} \quad \mathbf{10}$$

A fim de verificar a possibilidade de se efetuar um ajuste local nos coeficientes das equações empíricas, procedeu-se a análise da correlação entre a emissividade obtida com o balanço de radiação e as variáveis utilizadas nas equações empíricas. Como a regressão estabelecida inicialmente por SWINBANK (1963) foi entre o logaritmo da radiação de ondas longas incidente e o logaritmo da temperatura de bulbo seco, o ajuste local dos coeficientes foi obtido através da análise da regressão linear entre $\text{Log}(\epsilon_a)$ e $\text{Log}(T)$, com temperatura em °K. No modelo de IDSO & JACKSON (1969) as variáveis foram $\text{Ln}(1-\epsilon_a)$ e T^2 , com temperatura em °C. Nos modelos de BRUNT (1932) e de BRUTSAERT(1975) a variável dependente foi ϵ_a e as variáveis independentes foram $e^{1/2}$, $(e/T)^{1/7}$,

respectivamente.

Analisou-se também o efeito do vapor d'água e do CO₂ associados de modo linear, para períodos nos quais se dispunha de medidas do teor de gás carbônico atmosférico.

Como os dados analisados por SWINBANK (1963) foram originalmente medidos no período noturno, principalmente no período entre as 20 e 21 h, foi selecionada uma série de 28 dados instantâneos obtidos nesse período, para verificar o ajuste das constantes empíricas do modelo em condições mais semelhantes às originais, pois VISWANADHAM & MASCARENHAS JR. (1978) referiram-se a uma possível influência das condições de estabilidade atmosférica na emissividade, e, neste horário e local, de acordo com MENDONÇA et al (1995), as condições atmosféricas propiciaram a ocorrência de fraca a forte inversão térmica.

A emissividade da atmosfera em dias sem nuvens foi determinada através do balanço de radiação, sem levar em consideração o fator de correção pela presença de nuvens, pois as noites consideradas eram principalmente claras (condição predominante nesta época do ano na região).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os resultados da emissividade calculada pelas equações de BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUTSAERT(1975) em comparação com a emissividade estimada através do balanço de radiação, para médias diárias. Foi verificado que, em geral, as equações originais testadas subestimaram a emissividade obtida indiretamente pelo balanço de radiação. Ao longo do tempo, todas as estimativas da emissividade permaneceram relativamente constantes, mas as médias das diferentes estimativas apresentaram diferenças significativas (teste *t* de Student para amostras emparelhadas) em relação ao valor médio de 0,9026, obtido por meio do balanço de radiação (Tabela 1).

Os resultados da Tabela 2 mostram que os valores de emissividade média diária, estimados pelas equações empíricas, apresentaram baixa associação com os valores de emissividade obtidos através do balanço de radiação. Os coeficientes de determinação indicam a existência de uma melhor associação entre a emissividade e a pressão de vapor (modelos de BRUNT, 1932 e BRUTSAERT, 1975) do que entre a emissividade e a temperatura medida em abrigo meteorológico (modelos de SWINBANK, 1963 e IDSO & JACKSON, 1969). Os baixos valores dos coeficientes de determinação foram relacionados com a ocorrência de névoa seca e fumaça.

Na Figura 2 é apresentado o ajuste local dos coeficientes das equações empíricas. As melhores estimativas foram obtidas para os modelos BRUNT (1932) e BRUTSAERT (1975), coerente com o fato do vapor d'água atmosférico ser o maior responsável pela reemissão da radiação de ondas longas.

Os modelos de SWINBANK (1963) e IDSO & JACKSON (1969) foram equivalentes entre si quando analisadas em relação aos coeficientes de determinação. Estas equações, em que a emissividade é uma função apenas da temperatura, proporcionaram menor correlação com a emissividade.

Embora as análises estatísticas tenham demonstrado que nenhuma das equações ou modelos empíricos foram capazes de reproduzir rigorosamente o comportamento da emissividade, para efeitos práticos de estimativa da disponibilidade de energia radiante diária, como as diferenças entre a emissividade calculada e a emissividade observada foram inferiores a 10%, qualquer uma das equações proporcionaria erros inferiores a 10% da emissão efetiva terrestre, produzindo, portanto, resultados satisfatórios.

Os resultados da análise diurna, se encontram na Tabela 1 e nas Figuras 3 e 4. O valor médio da emissividade diurna foi praticamente igual ao valor médio da emissividade diária. As médias obtidas nas estimativas apresentaram diferenças significativas em relação ao valor médio de 0,8993, obtido por meio do balanço de radiação (Tabela 1).

Os resultados da Tabela 2 mostram que os valores de emissividade diurna estimados pelas equações empíricas apresentaram muito baixa correlação com os valores de emissividade obtidos através do balanço de radiação. A forte redução nos coeficientes de determinação do período diurno, comparado com as médias diárias devem ter ocorrido em consequência da dificuldade de medida do saldo de radiação de ondas longas nos períodos de incidência da radiação de ondas curtas, visto que o mesmo representa um valor pequeno obtido por diferença entre dois componentes relativamente grandes.

A equação abaixo mostra o efeito do vapor d'água e do gás carbônico sobre a emissividade diurna:

$$e_a = 0,678 + 3,34 \cdot 10^{-3} e^{0.5} + 5,93 \cdot 10^{-4} CO_2 \langle ppm \rangle \quad 11$$

onde $r^2 = 0,233$, sendo significativo ao nível de 1% de probabilidade de acordo com o teste **F** de Snedecor.

O coeficiente de determinação foi praticamente igual ao obtido com o modelo de BRUNT (1932). Não obstante, nenhum dos demais métodos empíricos estudados proporcionou estimativas satisfatórias da emissividade no período diurno.

As estimativas da emissividade atmosférica levando em consideração o teor de CO₂ atmosférico não provocaram uma mudança significativa, provavelmente porque a influência do gás carbônico é modesta. O valor máximo da emissividade do CO₂, numa atmosfera seca, é de cerca de 0,18 a 0,20, ocorrendo emissão na faixa do espectro entre 13 e 17 μm. Entretanto, o acréscimo máximo provocado pelo CO₂ na emissividade da atmosfera que contém vapor de água é de aproximadamente 0,08, obtidos

para uma coluna d'água de aproximadamente 1 g/cm^2 , que equivale a um teor de umidade relativamente baixo (BLISS JR, 1961). Outro motivo que poderia concorrer para não se dar relevância à influência do CO_2 é a sua menor variação em relação a variação do teor de água da atmosfera. Conseqüentemente, de algum modo sua influência pode estar incluída nas constantes das equações de regressão normalmente utilizadas.

Tabela 1. Emissividade média diária estimada pelas equações empíricas de BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUTSAERT (1975), em Santo Antônio do Leverger, no período de julho a setembro de 1994.

	BRUNT	SWINBANK	IDSO & JACKSON	BRUTSAERT
Média diária	0,8247	0,8183	0,8399	0,8533
Valor de t ^z	8,66**	15,62**	10,23**	7,62**
Média diurna	0,8347	0,8426	0,8676	0,8592
Valor de t ^{**}	5,73**	7,19**	3,82**	4,80**
Média noturna	0,8282	0,8082	0,8278	0,8573
Valor de t ^{***}	27,64**	32,82**	25,57**	16,51**

** Valor significativo ao nível de 1% de probabilidade

^z Comparação com valor médio diário de 0,9026, obtido por meio do balanço de radiação.

** Comparação com valor médio diurno de 0,8993, obtido por meio do balanço de radiação.

*** Comparação com valor médio diário de 0,8996, obtido por meio do balanço de radiação.

Tabela 2. Coeficientes de determinação entre a emissividade média diária estimada pelas equações empíricas BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUT-SAERT (1975) e a obtida através do balanço de radiação, em Santo Antônio do Leverger, no período de julho a setembro de 1994.

	BRUNT	SWINBANK	IDSO & JACKSON	BRUTSAERT
Diárias	0,524**	0,394**	0,395**	0,515**
Diurnas	0,245**	0,047**	0,046**	0,257**
Noturnas	0,699**	0,614**	0,619**	0,688**

** Valor significativo ao nível de 1% de probabilidade.

De acordo com os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 foi possível verificar que para os valores médios diurnos estimados pelos métodos em estudo, os coeficientes de determinação foram menores

do que para os médios diários, devendo existir diferença diuturna nos perfis de temperatura-umidade conforme também encontrado por GULF & GASH (1993).

No período diurno, constatou-se, por observação visual e pela análise dos diagramas de registro do heliógrafo, que o céu esteve apenas parcial e temporariamente coberto por nuvens. Desse modo, as medidas instantâneas de meia em meia hora praticamente não foram afetadas pela presença de nuvens. De outro lado, a bibliografia sugere que as medidas não sejam realizadas em períodos de ocorrência de nuvens, e no caso noturno a avaliação de ocorrência ou não de

nuvens seja realizada por detectores infravermelho, conforme BERDAHI & FROMBERG (1982), ou por simples visualização de estrelas de acordo com GULF & GASH (1993) e CENTENO (1982). No caso diurno o critério de correção utilizado por CENTENO (1982) leva em consideração a porção do céu coberto e o tipo de nuvens. A validade desse tipo de correção tem se restringido a dados diários ou até mesmo horários (SUGITA e BRUTSAERT, 1993).

É necessário observar que à noite, no horário estudado, foi praticamente desprezível a influência direta da radiação e da temperatura nos instrumentos de medida de radiação e temperatura, e também quase nula a ocorrência de orvalho, sendo este fator importante, pois o saldo radiômetro utilizado não era ventilado e não ocorreu deposição de orvalho no termômetro de bulbo seco.

A Figura 5 mostra que os resultados da emissividade noturna calculada pelas equações de BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUTSAERT(1975) subestimaram a emissividade obtida indiretamente através do balanço de radiação.

O valor médio da emissividade atmosférica noturna, obtido por meio do balanço de radiação no período entre as 20 e 21 horas foi de 0,8996. Este valor foi significativamente superior às estimativas empíricas propostas por BRUNT (1932), SWINBANK (1963), IDSO & JACKSON (1969) e BRUTSAERT (1975).

Os resultados da Tabela 2 mostram que os valores de emissividade noturna estimados pelas equações empíricas apresentaram baixa correlação com os valores de emissividade obtidos através do balanço de radiação.

CULF & GASH (1993) encontraram um coeficiente de determinação de 0,76 entre a emissividade medida e a estimada pelo modelo de SWINBANK (1963), tomando por base 176 medidas horárias com céu claro (quando a razão entre a radiação solar difusa e a total foi menor ou igual a 0,18 e para dados noturnos em que a visibilidade de estrelas indicava pouca cobertura de nuvens), realizadas nas estações seca e úmida entre 15/07/1989 e 30/09/1990, no Níger.

CULF & GASH (1993) aconselharam cuidado no uso das equações empíricas com os coeficientes originais, para locais e estações diferentes daquelas em que foram desenvolvidas, pois determinaram que a tendência do modelo de BRUNT (1932) e de BRUTSAERT (1975) é subestimar a radiação de

ondas longas incidente, enquanto o modelo de SWINBANK (1963) e de IDSO & JACKSON (1969) é de superestimar, provocando erros na estimativa do saldo de radiação de -44%, 18%, 58% e 72%, respectivamente.

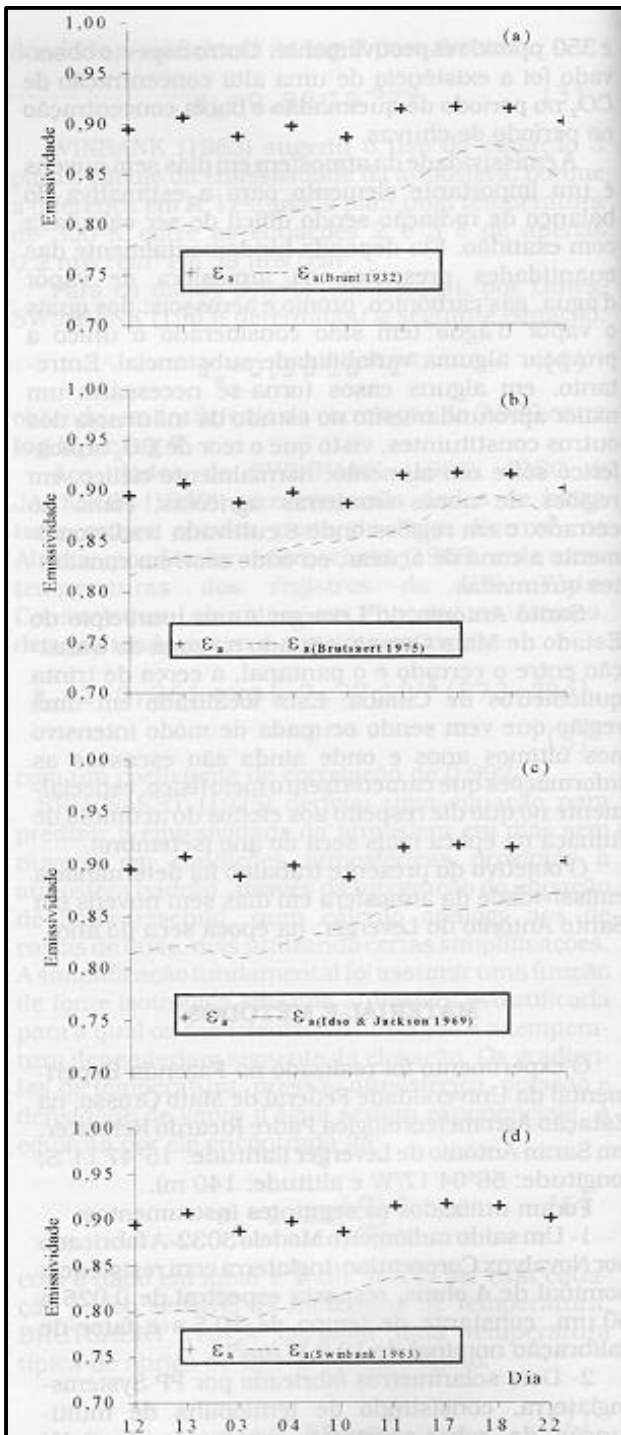


Figura 1. Emissividades diárias estimadas pelo método do balanço de radiação a partir dos dados medidos em Santo Antônio do Leverger (ϵ_s), no período de julho a setembro de 1994, e pelos modelos propostos por: (a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963).

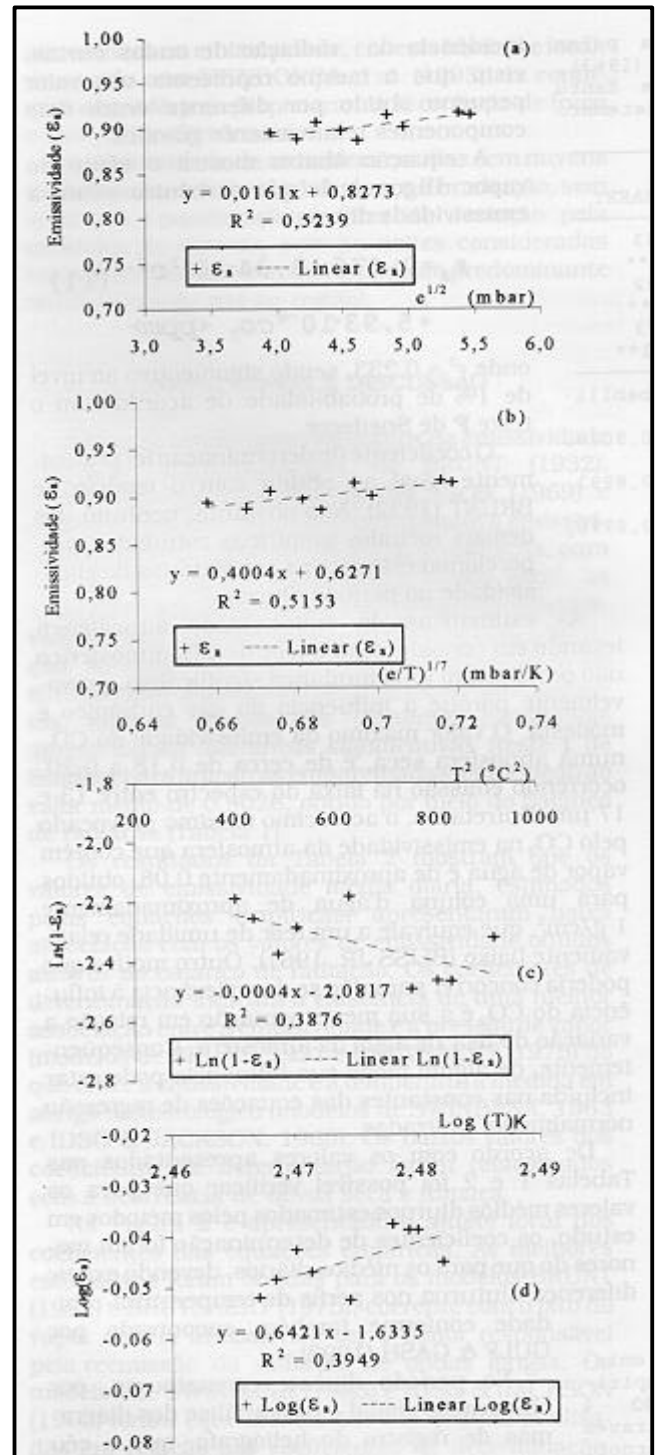


Figura 2. Ajuste dos modelos de: a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963), a partir dos dados diários medidos em Santo Antônio do Leverger, no período de julho a setembro de 1994.

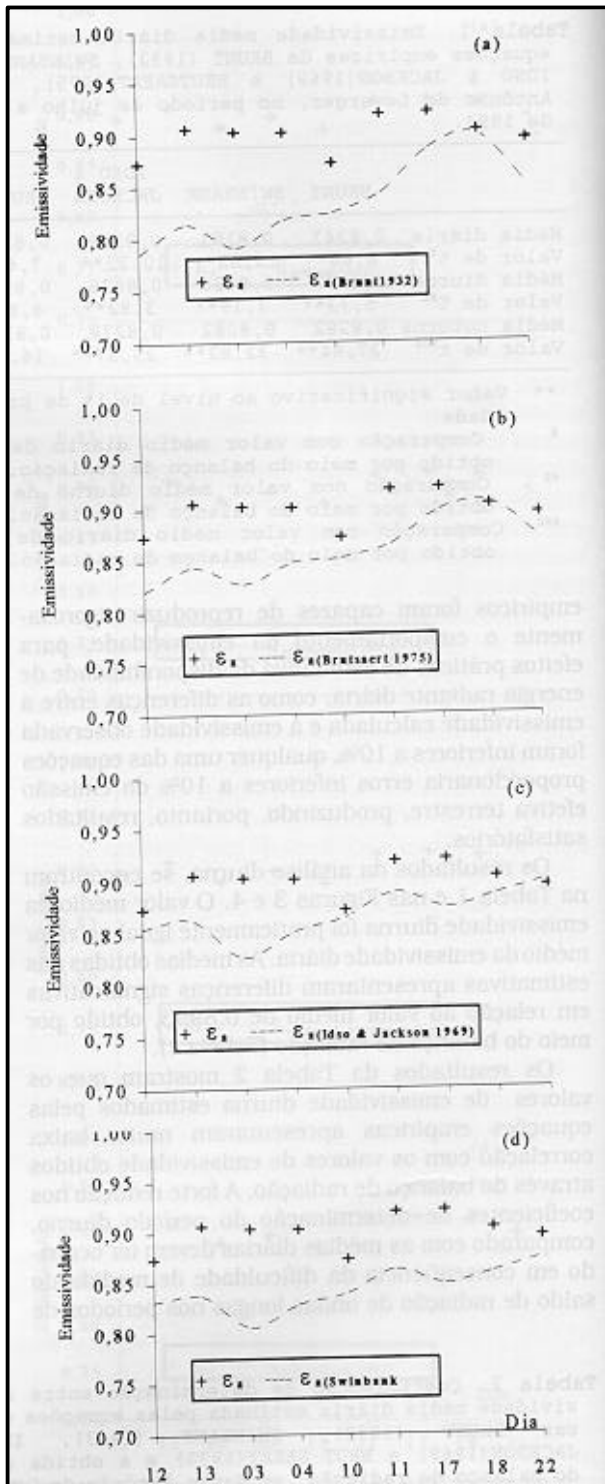


Figura 3. Emissividades diurnas estimadas pelos métodos do balanço de radiação a partir dos dados medidos em Santo Antônio do Leverger (ϵ_s), no período de julho a setembro de 1994, e pelos modelos propostos por: (a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963).

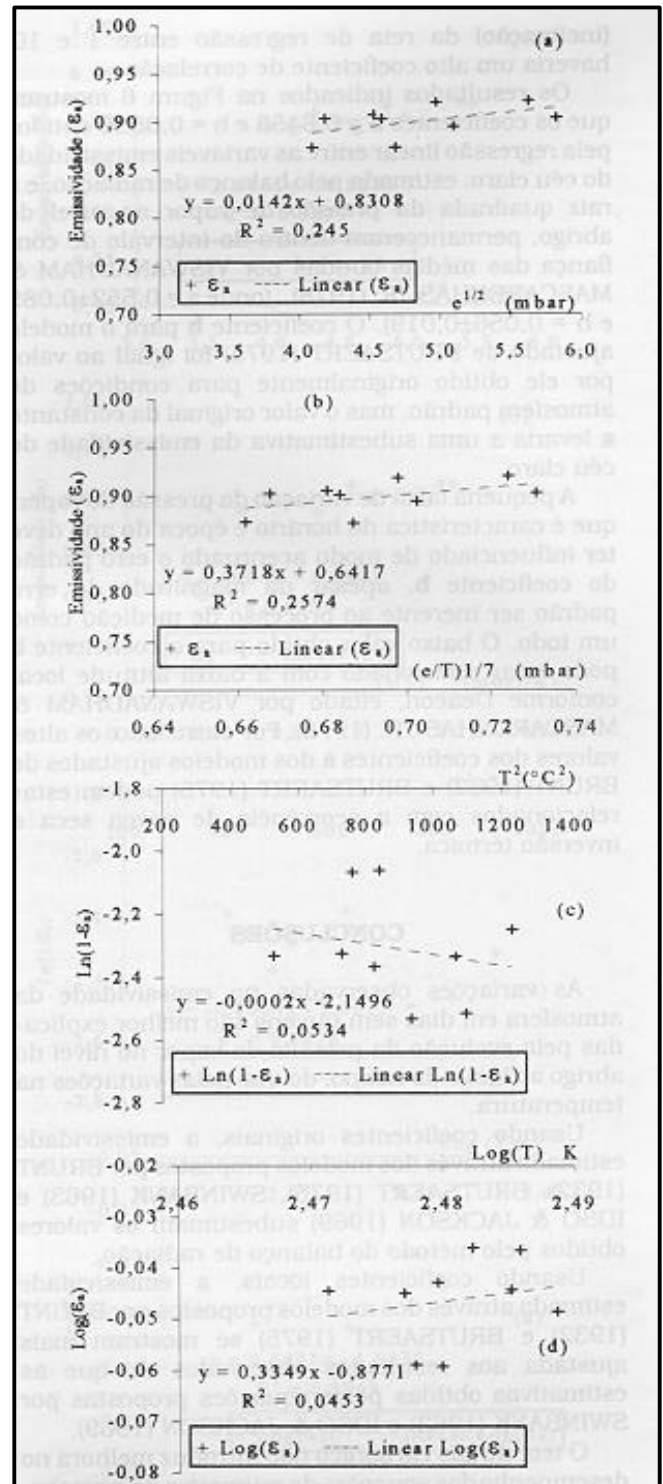


Figura 4. Ajuste dos modelos de: a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963), a partir dos dados diurnos medidos em Santo Antônio do Leverger, no período de julho a setembro de 1994.

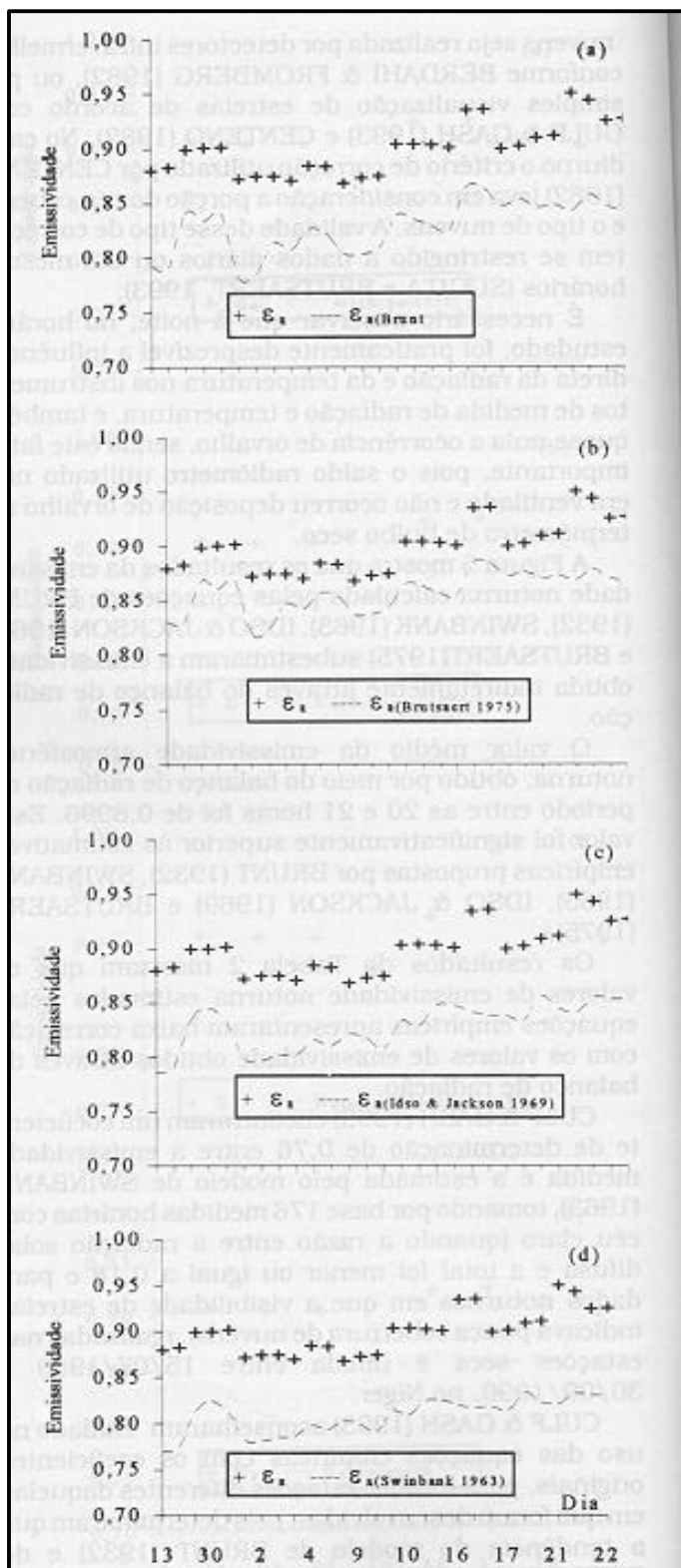


Figura 5. Emissividades de dados noturnos estimados pelo balanço de radiação a partir dos dados medidos em Santo Antônio do Leverger (ϵ_s), no período de julho a setembro de 1994, e pelos modelos propostos por: (a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963).

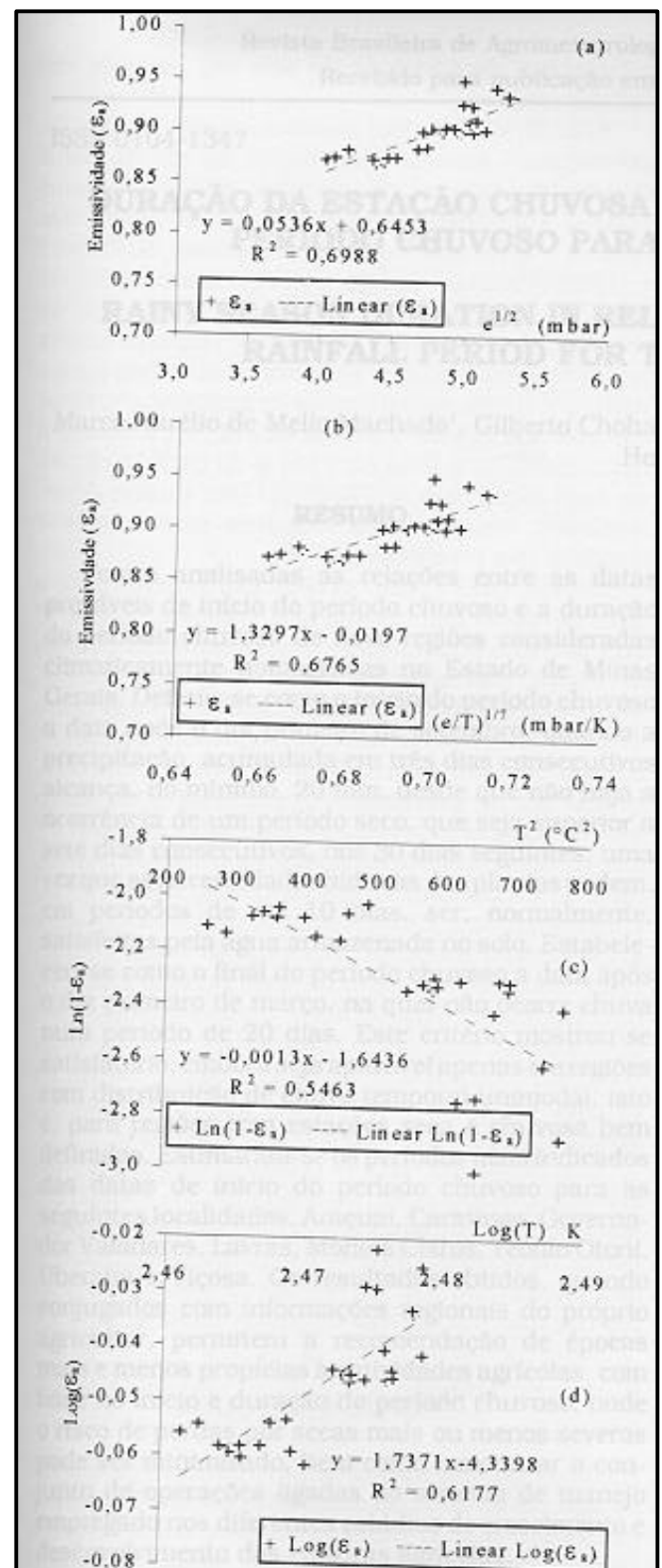


Figura 6. Ajuste dos modelos de: a) BRUNT (1932), (b) BRUTSAERT (1975), (c) IDSO & JACKSON (1969) e (d) SWINBANK (1963), a partir dos dados noturnos medidos em Santo Antônio do Leverger, no período de julho a setembro de 1994.

IDSO & JACKSON (1969), analisando a regressão entre as variáveis utilizadas por SWINBANK (1963), concluíram que para qualquer valor do coeficiente **b** (inclinação) da reta de regressão entre 1 e 10, haveria um alto coeficiente de correlação.

Os resultados indicados na Figura 6 mostram que os coeficientes $a = 0,6453$ e $b = 0,0536$ obtidos pela regressão linear entre as variáveis emissividade do céu claro, estimada pelo balanço de radiação, e a raiz quadrada da pressão de vapor ao nível de abrigo, permaneceram dentro do intervalo de confiança das médias obtidas por VISWANADHAM & MASCARENHAS JR. (1978), (onde $a = 0,552 \pm 0,089$ e $b = 0,056 \pm 0,019$). O coeficiente **b** para o modelo ajustado de BRUTSAERT (1975) foi igual ao valor por ele obtido originalmente para condições de atmosfera padrão, mas o valor original da constante **a** levaria a uma subestimativa da emissividade do céu claro.

A pequena faixa de variação da pressão de vapor, que é característica do horário e época do ano deve ter influenciado de modo acentuado o erro padrão do coeficiente **b**, apesar da magnitude do erro padrão ser inerente ao processo de medição como um todo. O baixo valor obtido para o coeficiente **b** pode estar relacionado com a baixa altitude local conforme Deacon, citado por VISWANADHAM & MASCARENHAS JR. (1978). Por outro lado, os altos valores dos coeficientes **a** dos modelos ajustados de BRUNT (1932) e BRUTSAERT (1975) podem estar relacionados com a ocorrência de névoa seca e inversão térmica.

CONCLUSÕES

As variações observadas na emissividade da atmosfera em dias sem nuvens são melhor explicadas pela evolução da pressão de vapor no nível do abrigo ao longo do tempo, do que pelas variações na temperatura.

Usando coeficientes originais, a emissividade estimada através dos modelos propostos por BRUNT (1932), BRUTSAERT (1975), SWINBANK (1963) e IDSO & JACKSON (1969) subestimam os valores obtidos pelo método do balanço de radiação.

Usando coeficientes locais, a emissividade estimada através dos modelos propostos por BRUNT (1932) e BRUTSAERT (1975) se mostram mais ajustada aos resultados observados do que as estimativas obtidas pelas equações propostas por SWINBANK (1963) e IDSO & JACKSON (1969).

O teor de gás carbônico não introduz melhora no desempenho das equações de estimativa da emissividade da atmosfera.

Para valores médios diários, o uso de qualquer uma das equações analisadas permite obter estimativas da emissão efetiva terrestre com erros inferiores a 10%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERDAHL, P., FROMBERG, R. The thermal radiance of clear skies. **Solar Energy**, Tokyo, v. 29, p. 299-314, 1982.
- BLISS Jr, R.W. Atmospheric radiation near the surface of the ground: A summary for engineers. **Solar Energy**, Tokyo, v. 5, n. 3, p. 103-120, 1961.
- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, London, v. 58, p. 389-418, 1932.
- BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**, Washington, v. 11, p. 742-744, 1975.
- CENTENO, M.V. New formulae for equivalent night sky emissivity. **Solar Energy**, Tokyo, v. 28, p. 489-498, 1982.
- CULF, A.D, GASH, J.H. Longwave radiation from clear skies in Niger: A comparison of observations with simple formulas. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 32, p. 539-547, 1993.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**. Roma: FAO, p. 45, 1991.
- IDSO, S.B., JACKSON, R.D. Thermal radiation from the atmosphere. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 74, p. 5397-5403, 1969.
- MENDONÇA, M.M.D.D., CAMPELO Jr, J.H., PRIANTE Fº, N. Estimativa da resistência aerodinâmica à difusão do vapor d'água. In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC MATO GROSSO: NOVOS CAMINHOS, II., Cuiabá; 1995. **Anais...**, São Paulo, SBPC, 1995. p. 16.
- PAVÃO H.G, SOUZA, A. de. A influência das queimadas no aumento da concentração de gás carbônico atmosférico em Cuiabá In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC MATO GROSSO: NOVOS CAMINHOS, II., Cuiabá; 1995. **Anais...**, São Paulo, SBPC, 1995. p. 236.
- SUGITA, M., BRUTSAERT, W. Cloud effect in the estimation of instantaneous downward longwave radiation. **Water Resources Research**, Washington, v. 19, p. 599-605, 1993.
- SWINBANK, W.C. Long-wave radiation from clear skies. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 89, p. 339-348, 1963.
- VISWANADHAM, Y., MASCARENHAS Jr, A.S. Avaliação do fluxo de radiação infravermelha atmosférica em estações oceânicas, **Revista Brasileira de Física**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 1-34, 1978.