

**Estimativa da evapotranspiração utilizando dados obtidos por
sensoriamento remoto**

Oton Osório de Barros Neto¹

João Vianeí Soares²

Jorge Luiz da Silva Brito³

ABSTRACT

Remotely sensed data have been used in a numerical model of the interface soil-vegetation-atmosphere to calculate energy fluxes transfers at that interface (Deardorff, 1978). Through the parameterization of canopy resistance to water vapor diffusion an adequate partition of the energy fluxes between the soil and the vegetation is obtained. This model was tested in a maize (Zea mays, L.) crop canopy with the aim of estimating evapotranspiration. Remote sensing techniques, which consisted in radiometric temperature measurements, were used in the model fitting. The stomata resistance of the canopy appeared in sensitivity tests as the critical parameter in the model adjusting. Evapotranspiration estimates were comparable to the potential evapotranspiration (from pan evaporation) for the period.

¹Bolsista RHAÉ do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

³Universidade Federal de Uberlândia

1 - Introdução

Medidas da temperatura da superfície, obtidas por técnicas de sensoriamento remoto, podem ser usadas em modelos numéricos de balanço de energia da interface camada limite atmosférica/superfície do solo para fazer inferências de diversos parâmetros hidrológicos de interesse, incluindo umidade do solo e evapotranspiração. O princípio físico é a solução da equação de balanço de energia.

Deardorff (1978) apresentou uma parametrização detalhada e eficiente, onde se leva em conta a existência de uma camada de vegetação para compor o sistema solo-vegetação-atmosfera. O fluxo de calor no solo é relacionado com o fluxo de calor sensível e com o fluxo de radiação líquida, o que permite estimar valores de temperatura da superfície.

Neste trabalho foi utilizada a parametrização de Deardorff (1978), adaptada por Taconet et al. (1986), para estimar a evapotranspiração em uma área de cultivo de milho (*Zea mays*, L.). Para o ajuste do modelo, foram utilizados dados de temperatura radiométrica do dossel obtidos no campo. As variáveis atmosféricas que entram no modelo foram obtidas em uma estação meteorológica próxima ao local (Barros Neto, 1992).

O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração em uma área de cultivo, mediante modelagem da interface solo-atmosfera, com o uso de dados obtidos por sensoriamento remoto para ajuste do modelo utilizado.

2 - Material e métodos

2.1 - Área de estudo

O estudo foi realizado no Centro de Pesquisas Agropecuárias dos Cerrados (CPAC-EMBRAPA), localizado em Planaltina, no Distrito Federal. A

área do cultivo localizava-se ao lado do Laboratório de Agrometeorologia, a cerca de 50m fica a estação climatológica principal, cujas coordenadas geográficas são 15°35'30''S e 47°42'30''W, a uma altitude de 1000m.

O solo da área estudada é descrito em EMBRAPA (1978) como um latossolo vermelho-escuro. É um solo profundo, bem drenado, altamente permeável, de baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de retenção de água, ácido e com alta saturação de alumínio trocável em todo o perfil. A declividade na área de cultivo fica em torno de 3%.

2.2 - O Modelo

A parametrização do modelo ajustado foi feita por Deardorff (1978), a partir de uma abordagem analítica. Este modelo foi desenvolvido e operacionalizado conforme descrito em Taconet et al. (1986). Nele a vegetação é considerada através do uso de um modelo detalhado dos mecanismos na interface atmosfera-vegetação-solo, baseado no formalismo de Deardorff (1978), que descreve a cobertura vegetal como uma camada, onde solo exposto e vegetação coexistem lado a lado.

A idéia geral para a determinação dos fluxos de calor e das temperaturas solo-dossel é resolver simultaneamente as equações do balanço de energia aos níveis do solo e do dossel admitindo uma divisão adequada dos fluxos entre a vegetação e o solo exposto, cujas quantidades relativas estão relacionadas à densidade da folhagem e às resistências distintas à evaporação do solo e da vegetação. O modelo da camada superficial consiste em uma camada de solo com cerca de um metro de profundidade; uma camada "porosa" única de vegetação, ventilada por uma camada turbulenta superficial. Para

uma descrição detalhada do modelo ver Barros Neto (1992).

O esquema do modelo "camada dossel-superfície/camada limite" encontra-se na Figura 1.

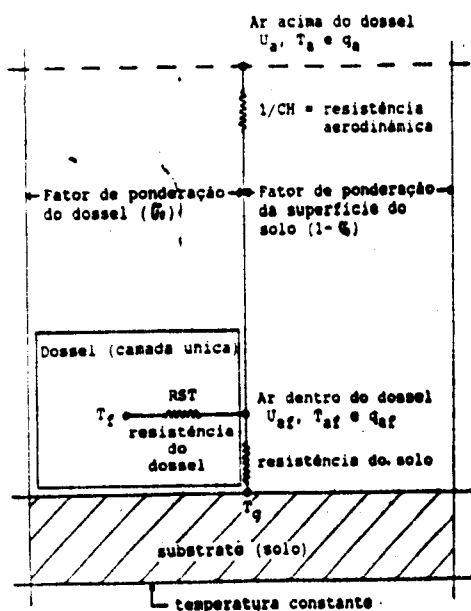


Fig.1-Esquema básico funcional do modelo. Interface atmosfera-vegetação-solo. Adaptada de Taconet et al. (1986), p. 286.

2.3 - Teste de sensibilidade e ajuste do modelo

Foi aplicado um teste de sensibilidade do modelo com intuito de verificar a influência de alguns parâmetros de entrada do modelo no cálculo dos fluxos de calor e da temperatura do dossel. A Tabela 1 mostra os valores, médios e os extremos dos quatro parâmetros de entrada no modelo cujo teste foi feito.

Para o ajuste do modelo, foi selecionado um período durante o ciclo do cultivo onde as seguintes exigências fossem satisfeitas:

- 1) Disponibilidade da temperatura do dossel todos os dias durante o período.

- 2) Período sem precipitação ou irrigação. O modelo na configuração utilizada não leva em conta estas entradas de água no sistema.

Para satisfazer estas exigências, foi selecionado um período de oito dias, de 19 a 26 de abril.

TABELA 1 - Parâmetros de entrada no modelo cujo teste de sensibilidade foi aplicado com respectivos valores mínimos, de ajuste e máximos. R_0 é a resistência estomática, T_2 é a temperatura profunda do solo, W_2 é a umidade profunda do solo e Z_0 é o comprimento de rugosidade.

R_0 (s/m)	80	100	140
T_2 (K)	292	295	298
W_2 (cm ³ /cm ³)	0.35	0.55	0.65
Z_0 (m)	0.26	0.39	0.52

Para ajustar o modelo às medidas, foram realizados testes de sensibilidade sobre 4 parâmetros, dos quais dependem as equações de evolução, seguindo a metodologia utilizada por Soares (1986), para o ajuste de um modelo de evaporação de solos nus em escala regional. Buscou-se minimizar os erros quadráticos médios de estimativa da temperatura do dossel.

Dentro do período selecionado, 7 dias foram utilizados para a realização dos testes. O primeiro dia é separado para que o funcionamento do modelo se estabilize (Soares, comunicação pessoal).

2.4 - Dados de campo

Os parâmetros agrônômicos determinados foram: altura das plantas, densidade de plantio, índice

de área foliar (IAF) e biomassa seca, respeitando a metodologia proposta por Cihlar et al. (1987). O intervalo de tempo entre as medições foi de 7 dias, a partir de 14 de fevereiro de 1990 (45° dia juliano) conforme recomendado para culturas sazonais.

Foram utilizadas as medidas de potencial de água do solo, obtidas através de 3 baterias de tensiômetros instaladas próximo ao local de medição da temperatura do dossel para avaliar a umidade do solo. Cada bateria consistia em 6 tensiômetros a 10, 20, 30, 40, 50 e 60cm de profundidade no solo. As leituras foram realizadas diariamente, às 8:30 horas.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir da estação automática instalada na estação climatológica principal do CPAC. Foram coletados dados de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento (a 7 m), radiação global e evaporação de tanque "Classe A". Parte destas variáveis constitui o conjunto das variáveis forçantes do modelo a ser testado; outra parte atua como variáveis intermediárias no cálculo dos coeficientes de transferência de calor sensível, calor latente e de momentum na atmosfera.

A temperatura do dossel foi determinada através da técnica de sensoriamento remoto, utilizando um radiômetro infravermelho, modelo ER 2008, marca National. O aparelho opera na faixa de 8000 a 10000 nm. As temperaturas do dossel foram medidas diariamente, das 8:30 horas às 17:30 horas.

3 - Resultados e discussão

A Tabela 2 fornece os valores obtidos para os erros quadráticos médios de estimativa para a temperatura do dossel. RO_1 , RO_2 , RO_3 representam os três valores de resistência do dossel à evapotranspiração (80, 110, 140s.m⁻¹); t_{21} , t_{22} e t_{23} representam os

valores da temperatura do solo na camada profunda (19,8; 22,0; 24,2°C); w_{21} , w_{22} e w_{23} representam os valores da umidade na camada profunda (0,50; 0,55; 0,60cm³.cm⁻³); e z_{01} e z_{02} representam os dois valores do parâmetro de rugosidade (0,4 e 0,2m).

TABELA 2 - Erros quadráticos médios de estimativa da temperatura do dossel, para RO_1 , RO_2 e RO_3 , nesta ordem.

		t_{21}	t_{22}	t_{23}
w_{21}	z_{01}	1.2	1.3	1.4
	z_{02}	1.7	1.8	2.0
w_{22}	z_{01}	1.2	1.3	1.4
	z_{02}	1.6	1.8	2.0
w_{23}	z_{01}	1.1	1.2	1.2
	z_{02}	1.5	1.7	1.9
		t_{21}	t_{22}	t_{23}
w_{21}	z_{01}	1.8	2.0	2.1
	z_{02}	2.4	2.6	2.8
w_{22}	z_{01}	1.7	1.8	2.0
	z_{02}	2.3	2.5	2.7
w_{23}	z_{01}	1.6	1.8	1.9
	z_{02}	2.2	2.4	2.7
		t_{21}	t_{22}	t_{23}
w_{21}	z_{01}	2.3	2.5	2.7
	z_{02}	3.0	3.2	3.3
w_{22}	z_{01}	2.2	2.4	2.5
	z_{02}	2.9	3.1	3.4
w_{23}	z_{01}	2.1	2.3	2.5
	z_{02}	2.8	3.0	3.3

De acordo com a Tabela 2, os valores testados destes quatro parâmetros, que minimizam os erros, são: resistência: $RO = 80 \text{ s.m}^{-1}$; temperatura: $t_2 = 19,8^\circ\text{C}$; umidade do solo: $w_2 = 0,60 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$; e parâmetro de rugosidade: $z_0 = 0,4 \text{ m}$. Utilizando estes valores, foi obtido o menor erro quadrático médio de estimativa da temperatura do dossel, $1,1^\circ\text{C}$, sendo este o melhor ajuste para o modelo.

A figura 2 mostra os resultados dos testes de sensibilidade do modelo. Esse resultados indicam que o termo RO é parâmetro que mais influencia no cálculo da evapotranspiração real.

Na Figura 3 são apresentadas tanto as evoluções da temperatura do dossel simuladas pelo modelo, quanto os valores da temperatura radiométrica para os horários durante o dia, quando foram feitas as medidas. Uma parte da dispersão das medidas em relação aos valores estimados é explicável pelo fato de o radiotermômetro ser capaz de registrar as flutuações de alta frequência (p. ex. passagem de uma nuvem sobre o local, cobrindo o Sol) na temperatura do dossel. O modelo idealizado por Deardorff (1978) supõe, conforme exposto anteriormente, uma frequência de um ciclo por dia para as ondas de temperatura.

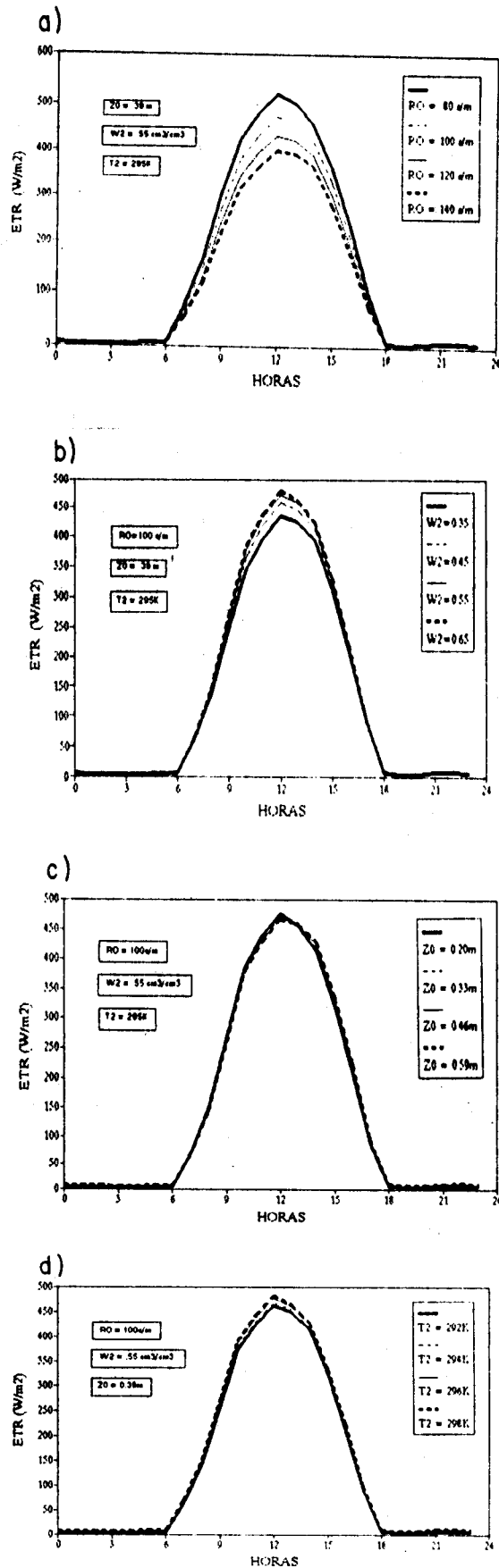


Fig. 2 - Variação da ETR como função dos seguintes parâmetros de entrada no modelo: a) RO; b) W2; c) Z0; d) T2.

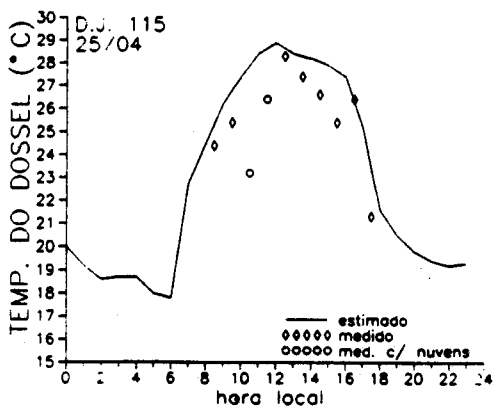
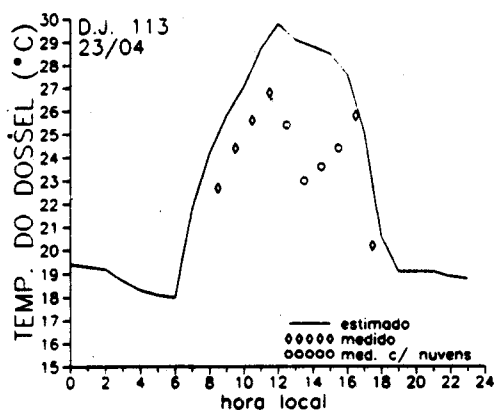
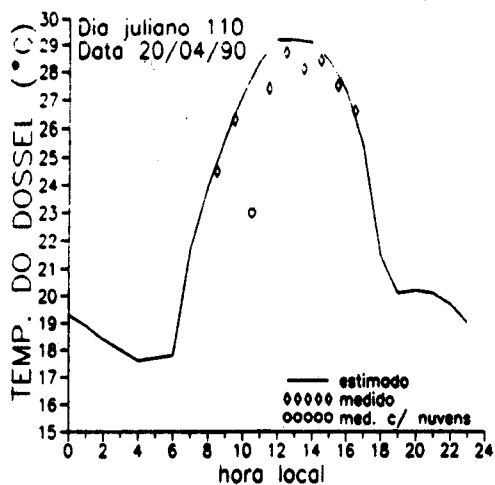


Fig. 3 - Evolução da temperatura do dossel ao longo do 110°, 113°, e 115° dias juliano. Valores medidos e valores estimados pelo modelo.

Buscando ilustrar a ordem de grandeza dos valores de evapotranspiração estimados pelo modelo, foi feita uma análise comparativa com os valores de evapotranspiração potencial estimados a partir da aplicação de um coeficiente de conversão (K_p) nos valores de evaporação de tanque "Classe A". De acordo com Ometto (1981), para a velocidade média do vento de 213 km.dia^{-1} e umidade média do ar de 69% (valores para o período de ajuste), pode-se utilizar um $K_p = 0,72$.

O valor da evapotranspiração real estimado pelo modelo (27,3mm acumulado) compara-se ao da evapotranspiração potencial (28,5mm acumulado) no período (do 110° ao 115° dia juliano). Os valores de evapotranspiração real estimados para a cultura do milho (ETR est.), bem como os de evapotranspiração potencial medidos na estação do CPAC através do tanque "Classe A" (ETP), encontram-se na Tabela 3

Esta semelhança entre o valor da evapotranspiração real estimado pelo modelo e o valor da evapotranspiração potencial estimado através do tanque "Classe A" pode ser explicada pela disponibilidade de água no solo, na região das raízes. Antes do período estudado havia ocorrido precipitação (51mm em 9 dias), e o solo estava com sua umidade volumétrica próxima do seu valor de saturação.

A Figura 4 mostra os valores dos fluxos de energia estimados para um dia típico do período, utilizando o conjunto de parâmetros que apresentou o melhor ajuste para a temperatura radiométrica do dossel. A proporção entre os fluxos está de acordo com a literatura (ver, por exemplo, Taconet et al., 1986; Soares et al., 1987)

Tabela 3 - Evapotranspiração real estimada e evapotranspiração potencial.

Dia	ETR est (mm)	ETP (mm)
110	5.3	5.7
111	3.7	3.4
112	3.8	4.3
113	4.6	4.8
114	4.7	5.1
115	5.2	5.2
Total	27.3	28.5

4 - Conclusões

1 - Através da utilização de Informações sobre a temperatura do dossel, obtidas por uma técnica de sensoriamento remoto sobre a cultura do milho (*Zea mays*, L.), foi demonstrado que, com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, é possível inverter o modelo para estimar parâmetros da vegetação, no caso a resistência à transpiração, admitindo que outros parâmetros, aos quais o modelo apresenta sensibilidade, sejam conhecidos. Surgem assim indicações de que este tipo de parametrização pode ser usado para estimar a evapotranspiração em escala regional, mediante uso de dados de satélite na faixa do infravermelho termal

2 - A resistência à perda de água pelo dossel (R_0) mostrou, nos testes de sensibilidade, ser o parâmetro mais influente para o ajuste do modelo.

3 - Com o melhor ajuste do modelo foi obtido um valor para a evapotranspiração no período (27,3mm), comparável ao obtido para a evapotranspiração potencial através do tanque "Classe A" (28,5 mm).

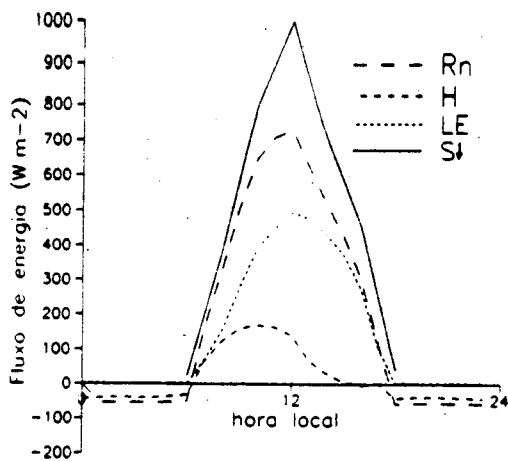


Fig. 4 - Saldo de radiação (R_n), fluxos de radiação global (S), calor latente (LE) e calor sensível (H) para o 115º dia juliano.

Referências Bibliográficas

Barros Neto, O.O. Estimativa de evapotranspiração para a cultura do milho - Uma técnica de modelagem utilizando Sensoriamento Remoto para ajuste. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. no prelo

Cihlar, J.; Dobson, M.C.; Schmugge, T.; Hogeboom, P.; Janse, A.R.P.; Baret, F.; Guiot, G.; Le Toan, T.; Pampaloni, P. Procedures for the description of agricultural crops and soils in optical and microwave remote sensing studies. **International Journal of Remote Sensing**, 8(3):427-439, 1987.

Deardorff, J.W. Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. **Journal of Geophysical Research**, 83(4):1889-1903, 1978.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (EMBRAPA). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro, 1978. 455p. (Boletim Técnico)

Ometto, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981.

Soares, J.V. **Caractéristiques spatiales et temporelles d'une région agricole observée à l'aide d'un radiomètre dans le infrarouge thermique aéroportés**. (Thèse de Doctorat d'Ingénieur)-Université de Paris VII, Paris, 1986.

Soares, J.V.; Bernard, R.; Taconet, O.; Vidal-Madjar, D.; Weill, A. Estimation of bare soil evaporation from airborne measurements. **Journal of Hydrology**, 99(34):281-296, 1987.

Taconet, O.; Bernard, R.; Vidal-Madjar, D. Evapotranspiration over an agricultural region using a surface flux/temperature model based on NOAA-AVHRR data. **Journal of Climate Applied Meteorology**, 25(3):284-307, 1986.