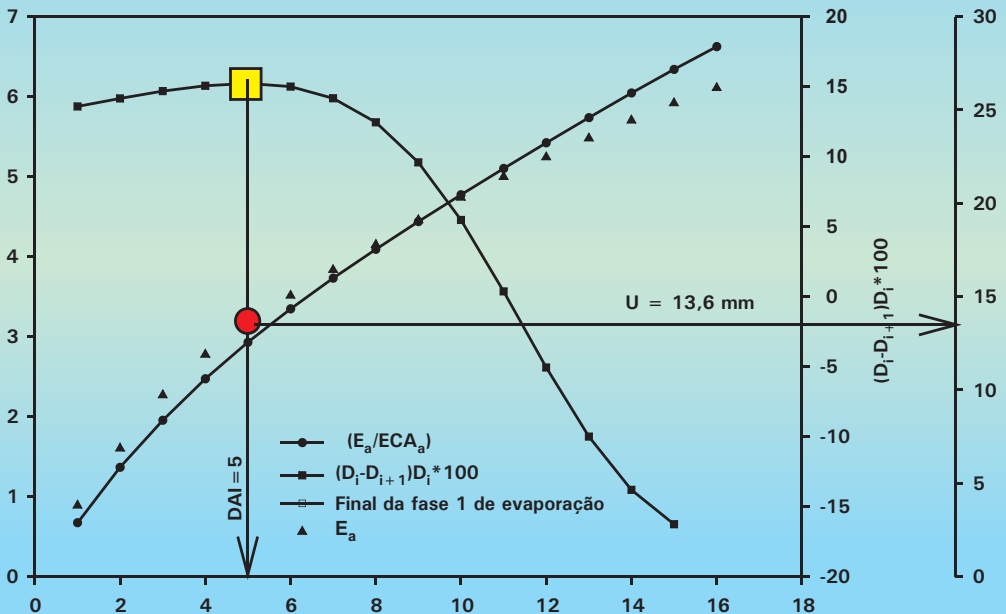


Modelo de Ritchie descrição e aplicação





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Março, 2005

Documentos 133

Modelo de Ritchie descrição e aplicação

Lineu Neiva Rodrigues
Juscelino Antônio de Azevedo
Olívio José Soccol
Euzebio Medrado da Silva

Planaltina, DF
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*

Rosângela Lacerda de Castro

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Ilustração da capa: *Lineu Neiva Rodrigues*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2005): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.
Embrapa Cerrados.

M689 Modelo de Ritchie: descrição e aplicação/ Lineu Neiva Rodrigues ...
[et al.]. Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2005.
29 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 133)

1. Irrigação - manejo. 2. Evapotranspiração. 3. Uso da água.
I. Rodrigues, Lineu Neiva. II. Série.

631.587 - CDD 21

© Embrapa 2005

Autores

Lineu Neiva Rodrigues

Eng. Agríc., Dr., Embrapa Cerrados

lineu@cpac.embrapa.br

Juscelino Antônio de Azevedo

Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Cerrados

juscelin@cpac.embrapa.br

Olívio José Soccol

Eng. Agrôn., Dr., Departamento de Engenharia Rural

Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Av. Luiz de Camões, 2090 - CEP 88520-000

Cx. Postal 281, Lajes - SC

a2ojs@cav.udesc.br

Euzebio Medrado da Silva

Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados,

euzebio@cpac.embrapa.br

Apresentação

A agricultura, para a sociedade, apresenta diversas finalidades, todavia, pode-se destacar, como uma das mais importantes, a produção de alimentos e de fibras para uma população que se concentra em sua grande maioria nos centros urbanos. Para alimentar essa população e suprir as novas demandas nutricionais da sociedade, ter-se-á que haver o fortalecimento da agricultura irrigada, onde cada hectare cultivado pode produzir até cinco vezes mais que um não irrigado. O problema maior é que o uso da irrigação vem sendo cada vez mais questionado pela sociedade, principalmente, devido ao grande volume de água utilizado associado à baixa eficiência de irrigação. O manejo da irrigação é o principal problema ligado à baixa eficiência de uso da água, sendo que um dos métodos mais usados na sua estimativa, consiste em estimar a evapotranspiração pelo produto da evapotranspiração de uma cultura de referência, por um coeficiente de cultura. O uso dessa metodologia em algumas situações, como, por exemplo, na determinação da eficiência de uso da água por uma cultura não é adequado, uma vez que o coeficiente de cultura não permite que os efeitos da transpiração e da evaporação direta da água do solo sejam individualizados. Uma alternativa a este método são os modelos que estimam, separadamente, a evaporação direta da água do solo da transpiração da cultura. Dentre estes, o mais utilizado foi o proposto por Ritchie em 1972. Para uso desse modelo, entretanto, é necessário estimar, entre outras coisas, dois parâmetros relacionados ao tipo de solo. A metodologia para determinação desses parâmetros, embora de fácil aplicação, ainda não é bem conhecida.

Neste trabalho é apresentada uma descrição do modelo de Ritchie e dos procedimentos para estimativa de seus parâmetros e um exemplo de aplicação do modelo a uma cultura do Cerrado.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
Descrição	11
Aplicação	15
Dados necessários	15
Elementos climáticos	15
Parâmetros U e α	15
Albedo do solo e da cultura	17
Índice de área foliar	18
Aplicação	20
Parâmetros do solo U e α	21
Quantidade de água evaporada no primeiro estágio de evaporação – Parâmetro U	21
Taxa de evaporação da água do solo no segundo estágio de evaporação - Parâmetro α	23
Índice de área foliar da cultura	24
Evapotranspiração da cultura	25

Considerações Finais	26
Referências	26
Abstract	29

Modelo de Ritchie descrição e aplicação

Lineu Neiva Rodrigues

Juscelino Antônio de Azevedo

Olívio José Soccol

Euzebio Medrado da Silva

Introdução

Para a sociedade, a agricultura apresenta diversas finalidades, porém, pode-se destacar como uma das mais importantes a produção de alimentos e de fibras para uma população que se concentra em sua grande maioria nos centros urbanos. Tal propósito torna-se ainda mais importante quando se leva em consideração que a população mundial em 2030 será de proximadamente 8,3 bilhões de pessoas e que, atualmente, segundo relatório da [FAO \(2002\)](#), uma de cada seis pessoas que vive nos países em desenvolvimento está vivendo em condições de subnutrição. Para alimentar essa população e suprir as novas demandas nutricionais da sociedade, a produção mundial de alimentos terá de aumentar em cerca de 50% até o ano de 2025 ([BANGLADESH EDUCATION ADVANCEMENT FOUNDATION, 2005](#)).

O cumprimento de tal meta passa fundamentalmente pelo fortalecimento da agricultura irrigada onde cada hectare cultivado pode produzir até cinco vezes mais que um não irrigado. O problema é que o uso da irrigação vem sendo cada vez mais questionado pela sociedade, principalmente, pelo fato de que 70% das águas derivadas dos cursos de água para uso humano são aproveitadas para fins de irrigação ([FAO, 2002](#)), sendo que, desses, aproximadamente a metade se perde no sistema sem ser efetivamente utilizada pela cultura ([POSTEL, 2000](#)). O fato se agrava ainda mais quando se constata que cerca de 11,6% do total de água disponível no planeta já está sendo utilizado ([SHIKLAMANOV, 1990](#)).

[Seckler \(1998\)](#) reporta que aproximadamente metade do aumento da demanda de água que ocorrerá até 2025 pode ser suprida com a melhoria da eficiência dos sistemas de irrigação. Observando esses sistemas, atualmente em operação, constata-se que o principal problema associado à baixa eficiência de uso da água é o manejo da irrigação, ou seja, a correta definição da quantidade de água e do momento certo de sua aplicação.

Dentre os diversos métodos existentes para realizar o manejo da irrigação, têm-se destacado, pela sua operacionalidade e praticidade, aqueles que estimam o consumo de água pelas culturas, ou seja, a evapotranspiração (ET) ou o uso consuntivo. A ET constitui a transferência de água na forma de vapor do sistema solo-planta para a atmosfera e depende essencialmente da energia disponível para o processo de evaporação da água ([REICHARDT, 1985](#)). Quando essa transferência se dá do solo para a atmosfera, recebe o nome de evaporação (E) e, quando ocorre da planta para a atmosfera, é chamada de transpiração (T). Apesar da similaridade física, o processo de evaporação da água do solo não é idêntico ao da (T), pois, mesmo com total abertura estomática, a resistência à difusão do vapor da água é maior nas folhas que na água livre ([CHANG, 1968](#)).

Dos vários métodos utilizados para cálculo da ET, o que alcançou maior popularidade foi o proposto por [Doorenbos e Pruitt \(1977\)](#), segundo o qual a ET é calculada pelo produto da evapotranspiração de uma cultura de referência (ET_o), por um coeficiente de cultura (kc). O uso desse método em algumas situações, como por exemplo, na determinação da eficiência de uso da água por determinada cultura não é adequado, uma vez que o kc não permite que os efeitos da transpiração e da evaporação direta da água do solo sejam individualizados. Além disso, a obtenção de valores confiáveis da evapotranspiração de uma cultura utilizando esse método requer, além de uma estimativa adequada da ET_o, coeficientes de cultura adequados. O kc depende, sobretudo, do estágio de desenvolvimento da cultura e do conteúdo de água no perfil do solo (função principalmente das chuvas e da irrigação). A principal dificuldade na utilização desse método consiste na obtenção de valores de kc adequados para a região.

Uma alternativa ao método proposto por [Doorenbos e Pruitt \(1977\)](#) é o uso de modelos que estimam, separadamente, a (E) e a (T), como, por exemplo, os modelos propostos por [Black et al. \(1970\)](#), [Ritchie \(1972\)](#), [Kanemasu et al. \(1976\)](#), [Tanner e Jury \(1976\)](#). [Ritchie e Johnson \(1990\)](#) comentam que esses

modelos, usados na estimativa da ET, não têm sido utilizados no manejo da irrigação, em virtude, principalmente, da necessidade de se conhecer a variação do índice de área foliar (IAF) da cultura. Entre esses modelos, o de [Ritchie \(1972\)](#) é o mais utilizado. Ele foi desenvolvido para calcular a ET de culturas plantadas em linha em que o suprimento de água no solo não é limitado, e a cultura não está em estágio avançado de maturação ou senescência. Esse modelo se mostrou adequado para estimar a ET nas mais diferentes condições climáticas, tipo de cultura e de solo e vem sendo muito usado em modelos de crescimento de plantas.

Para uso do modelo de Ritchie, faz-se necessário estimar, entre outras coisas, dois parâmetros relacionados ao tipo de solo. A metodologia para determinação desses, embora de fácil aplicação, ainda não é bem conhecida. Dessa forma, foi objetivo deste trabalho:

- i) descrever o modelo de Ritchie e utilizá-lo na estimativa da evapotranspiração de uma cultura no Cerrado; e
- ii) apresentar metodologias para estimativa de seus parâmetros de solo e do índice de área foliar da cultura.

Descrição

O modelo descrito na seqüência baseia-se nos trabalhos de Ritchie (1972), de [Ritchie e Johnson \(1990\)](#) e de [Jones e Ritchie \(1990\)](#).

O modelo de Ritchie, em sua formulação básica, considera as duas primeiras fases de evaporação da água do solo descritas por [Philip \(1957\)](#) e comprovadas, posteriormente por [Idso et al. \(1974\)](#). Segundo esses autores, a secagem do solo pode ser descrita como um processo de três fases ou estádios, sendo que a primeira é caracterizada por uma evaporação relativamente elevada e controlada pelas condições atmosféricas. A segunda inicia-se a partir do instante em que a água do solo não puder mais ser transmitida à superfície dele a uma velocidade suficiente para satisfazer a demanda atmosférica. Nessa fase, a taxa de evaporação diminui, inicia-se um processo de secagem da superfície do solo e o fluxo se processa tanto na fase líquida quanto na de vapor. A terceira fase tem sido caracterizada por uma taxa de evaporação reduzida e constante.

[Ritchie \(1972\)](#) apresentou uma descrição matemática simples para o processo da (E), considerando as duas primeiras fases de secagem descritas por [Philip \(1957\)](#) e dois parâmetros para representá-las (U e α). O parâmetro U representa a quantidade de água que evapora na fase 1, e α é uma constante representativa da difusividade da água na superfície do solo durante a segunda fase de secagem.

Durante o primeiro estágio de secagem do solo, a evaporação direta (E_1) pode ser calculada pela equação 1 ou pela equação 2, conforme o valor do índice de área foliar.

$$E_1 = ET_{MAX} (1 - 0,43 IAF) \text{ se } IAF < 1 \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{ET_{MAX}}{1,1} e^{-0,4 IAF} \text{ se } IAF \geq 1 \quad (2)$$

em que:

E_1 é a evaporação direta da água do solo durante o primeiro estágio de secagem, mm dia⁻¹; ET_{MAX} a evapotranspiração máxima, mm dia⁻¹; e IAF o índice de área foliar, adimensional.

A ET_{MAX} é calculada pela equação 3 que se baseia no conceito de evaporação de equilíbrio (EEQ), desenvolvido por Slatyer e Mcilroy (1961) e na metodologia proposta por Jones e Kiniry (1986).

$$ET_{MAX} = \alpha_1 EEQ \quad (3)$$

sendo

$$\alpha_1 = 1,1 \quad \text{se } 5 < T_{MAX} \leq 35 \text{ } ^\circ\text{c} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = [1,1 + 0,05 (T_{MAX} - 35)] \quad \text{se } T_{MAX} > 35 \text{ } ^\circ\text{c} \quad (5)$$

$$\alpha_1 = 0,01 e^{[0,18 (T_{MAX} + 20)]} \quad \text{se } T_{MAX} \leq 5 \text{ } ^\circ\text{c} \quad (6)$$

e

$$EEQ = Rs(0,00488 - 0,00437\alpha_2)(t_d + 29) \quad (7)$$

em que:

T_{MAX} é a temperatura máxima do ar, °C; R_s , a radiação solar, MJ m⁻² d⁻¹; α_2 é o albedo da superfície solo cultura; e t_d , a temperatura média do fotoperíodo, °C.

A temperatura média do fotoperíodo é calculada pela equação 8 que é função da T_{MAX} e da temperatura mínima (T_{MIN}).

$$T_d = 0,6 T_{MAX} + 0,4 T_{MIN} \quad (8)$$

O valor de α_2 é determinado por meio da Equação 9 que relaciona o albedo da cultura (α_c) com o albedo do solo (α_s) e o IAF.

$$\alpha_2 = \alpha_c - (\alpha_c - \alpha_s) e^{(-0,75IAF)} \quad (9)$$

Para a fase 2, (E) depende do tempo transcorrido desde a troca de fase (função do parâmetro U do solo). Nessa fase, E_2 é calculada pela Equação 10, para valores individuais (E_2 , mm dia⁻¹) ou pela Equação 11 para valores acumulados (E_{2a} , mm dia⁻¹).

$$E_2 = \alpha t^{1/2} \quad (10)$$

$$E_{2a} = \alpha t^{1/2} \quad (11)$$

em que:

t é o tempo transcorrido desde a troca de fase, e α é o parâmetro que caracteriza a segunda fase de evaporação.

A transpiração ou a evaporação da água da planta é calculada em função da ET_{MAX} e do estágio de desenvolvimento da cultura, representado pelo IAF, utilizando, para isso, a equação 12 ou a 13.

$$T = ET_{MAX} [1 - e^{-IAF}] , \text{ se } IAF \leq 3 \quad (12)$$

$$T = ET_{MAX} , \text{ se } IAF > 3 \quad (13)$$

Se $E + T > ET_{MAX}$, o valor de T é recalculado pela Equação $T = ET_{MAX} - E$

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma representativo do modelo de Ritchie. Analisando esse fluxograma, pode-se constatar a importância do IAF e dos parâmetros U e α na estimativa da ET, sendo, portanto, de fundamental importância obter estimativas confiáveis.

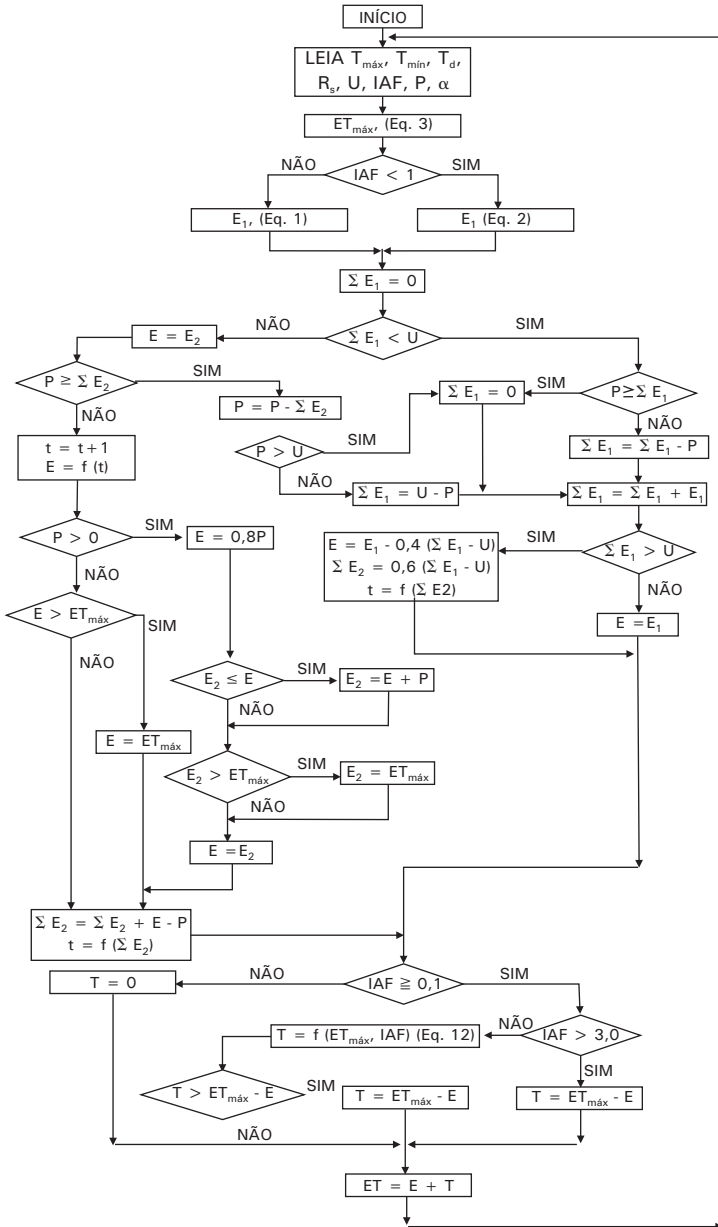


Figura 1. Fluxograma representativo do modelo de Ritchie.

Aplicação

Na seqüência, apresenta-se um exemplo de aplicação do modelo, dando ênfase aos dados necessários à execução dele e aos procedimentos utilizados no cálculo dos parâmetros U e α .

Dados necessários *Elementos climáticos*

Os elementos climáticos necessários à execução do modelo são: temperatura máxima e mínima e radiação solar.

Parâmetros U e α

Esses dois parâmetros são a essência do modelo, e seus valores dependem, basicamente, do tipo de solo. O parâmetro U representa a quantidade de água que deve ser evaporada para que se inicie a fase 2 de evaporação.

Considerando que o seu valor representa a mudança da fase 1 para a fase 2 de evaporação da água do solo, sua estimativa pode ser feita identificando-se o momento em que se inicia a queda na taxa de (E) . O valor de (E) , acumulado até esse momento, corresponde ao valor de U , sendo obtido na inflexão da curva traçada no gráfico evaporação acumulada em função do dia após a irrigação. Para evitar erros na determinação de U , em razão de uma variação na demanda climática, o eixo das ordenadas é, geralmente, traçado utilizando-se a relação entre a evaporação direta do solo e a evaporação medida no tanque classe A (ECA).

Quando medido em campo, o valor de U varia de aproximadamente 5 mm para solo arenoso a 14 mm para um argiloso ([RITCHIE; JONHSON, 1990](#)). O valor de U é alcançado mais rapidamente em condições de alta demanda evaporativa.

A estimativa do parâmetro α é feita utilizando-se os valores de (E) medidos a partir da mudança da fase 1 para a fase 2. O valor de α é representado pela inclinação da reta obtida da regressão linear entre os dados de evaporação acumulados no segundo estágio (E_{2a}) e a raiz quadrada do tempo em dias ([RITCHIE, 1972](#)). Vários trabalhos indicam que o seu valor varia entre 3,3 mm dia^{-1/2} (solo arenoso) a 6,0 mm dia^{-1/2} (solo argiloso).

A evaporação direta da água do solo pode ser medida utilizando-se microlisímetros de pesagem. Vários pesquisadores, [Boast e Roberson \(1982\)](#), [Walker \(1983\)](#), [Villalobos e Fereres \(1990\)](#) utilizaram esses microlisímetros e obtiveram boa relação entre os dados de evaporação da água do solo de uma superfície sem vegetação e os dados obtidos com lisímetro de pesagem.

O procedimento para cálculo da (E), utilizando-se microlisímetros de pesagem, consiste nas seguintes etapas:

i) Dia i

- a) Abertura de furos onde os microlisímetros serão alojados (essa etapa é feita apenas uma única vez).
- b) Retirada das amostras de solo (isso é feito usando o próprio microlisímetro).
- c) Pesagem das amostras (microlisímetro + solo).
- d) Alojamento das amostras de solo nos furos previamente confeccionados.

ii) Dia i + 1

- a) Pesagem das amostras retiradas do dia anterior (microlisímetro + solo).
- b) Descarte das amostras do dia anterior.
- c) Retirada de novas amostras.
- d) Pesagem das novas amostras.
- e) Alojamento das amostras de solo nos furos previamente confeccionados.

O cálculo da lâmina evaporada, mm, é feito mediante a equação

$$L_{ev(i,i+1)} = 12,7 \frac{\bar{E}}{D^2} \quad (14)$$

sendo:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (15)$$

em que:

D = diâmetro interno do microlisímetro, cm;

E_i = evaporação direta da água do solo medida no microlisímetro i , g;

n = número de repetições.

Na Figura 2a, apresenta-se detalhe da abertura dos furos onde os microlisímetros serão alojados; já, na Figura 2b, são mostrados os detalhes do momento da pesagem de um microlisímetro antes de colocá-lo no furo e de dois microlisímetros já alojados nos respectivos furos.



(a)

(b)

Figura 2. (a) Detalhes da abertura dos furos de espera onde os microlisímetros serão alojados (b) pesagem de um microlisímetro e de dois outros já alojados nos furos de espera.

Albedo do solo e da cultura

Para o cálculo da energia realmente disponível para ser utilizada na ET, faz-se necessário o conhecimento do albedo que é o coeficiente médio de reflexão da superfície para a radiação de ondas curtas (radiação solar). No modelo, usa-se uma equação empírica, função do índice de área foliar, para simular o albedo da superfície. Pela formulação proposta por [Ritchie \(1972\)](#), até a germinação, prevalece o albedo do solo (α_s) e, após a cobertura total, o albedo da cultura (α_c). Na fase intermediária, o albedo da superfície depende da inter-relação de α_s com α_c . Valores de albedo para algumas superfícies podem ser consultados em, [Tubelis \(1988\)](#), [Vianello e Alves \(1991\)](#).

Índice de área foliar

A principal limitação do uso desse modelo em programas de irrigação é a necessidade de valores diários relativos à área foliar os quais são, ainda, inexistentes para a maioria das culturas. Vários são os métodos utilizados na determinação da área foliar de plantas em condições de campo ou de laboratório ([BLACKMAN; WILSON, 1951](#); [RUCK; BOLAS, 1955](#); [WATSON et al., 1958](#)). Os métodos mais comuns requerem a destruição das plantas e os mais sofisticados têm sido desenvolvidos com base no princípio do planímetro óptico.

A resposta da planta ao estímulo do meio é variável com a espécie. A intensidade dessa resposta é analisada na forma do IAF. O IAF é uma relação que possui no numerador a superfície foliar e no denominador a superfície do solo. Ele é variável com o crescimento da cultura, mas independe do desenvolvimento dela ([OMETTO, 1986](#)). Uma solução para a estimativa do IAF foi obtida com o uso de funções de crescimento. A função de Gompertz, usada para explicar matematicamente a tendência de crescimento dos seres vivos, em razão do tempo, foi descrita por [Richards \(1969\)](#). [Baker et al. \(1975\)](#) aplicaram-na, em um cultivo, para avaliar a influência das condições ambientais nos parâmetros dessa função. Esses autores observaram que o parâmetro relacionado com as taxas de crescimento foi o mais afetado.

A influência de fatores ambientais, como a temperatura, no aumento da área foliar, possibilitou que se fizesse uma mudança na função de crescimento de três parâmetros de Gompertz, de tal modo que ela pudesse ser utilizada para simular crescimentos da área foliar para todas as culturas. Para isso, bastou substituir a variável tempo da equação original pela variável tempo térmico acumulado (TTA) ([RITCHIE; JOHNSON, 1990](#)). [Mantovani \(1993\)](#) comenta que essa função foi adequada para simular a área foliar das culturas de trigo, soja e algodão.

A estimativa dos parâmetros da função de Gompertz pode ser feita pela aplicação de técnicas de regressão não-linear ou por meio da linearização da equação. No primeiro caso, os três parâmetros podem ser estimados; já, no segundo, apenas dois parâmetros são estimados. Nesse caso, o que geralmente se faz é atribuir um valor inicial, na maioria das vezes aleatório, para a área foliar máxima por planta (A_0). [Ritchie e Johnson \(1990\)](#) sugerem que o valor inicial de A_0 seja

cinco vezes maior que o da área foliar máxima média da cultura em questão. Acrescentam que, sendo o valor de A_0 maior que a média máxima, a equação é melhor para simular a área foliar da cultura em condições de cobertura incompleta do solo. [Mantovani \(1993\)](#) mostrou a não-influência do uso de valores altos de A_0 na estimativa da área foliar das culturas de trigo, soja e algodão, para a região de Córdoba, Espanha. [Rodrigues et al. \(1998\)](#) também obtiveram o mesmo resultado para o feijão, variedade carioquinha.

Para uso da equação que simula a TTA, aplicada como variável na equação de Gompertz, deve-se, antes, ter o conhecimento da temperatura basal mínima (T_b). Segundo [Ometto \(1986\)](#), T_b é um valor de energia mínima abaixo do qual a planta cessa a sua atividade metabólica. Para a cultura da cevada, a T_b equivale a aproximadamente 5 °C.

A taxa relativa ao crescimento da área foliar não é indefinidamente influenciada pelo aumento da temperatura média. Para corrigir esse erro da equação de crescimento proposto por [Ritchie e Johnson \(1990\)](#), esses mesmos autores sugerem acrescentar à equação que calcula a TTA, além da T_b , já presente nessa equação, uma temperatura crítica (T_c) que seria definida como um valor teto para a temperatura, ou seja, aquele valor de temperatura acima do qual o crescimento da área foliar cessaria.

O índice de área foliar é calculado pelo produto entre a área foliar por planta (A ; $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) pela densidade de plantio (PP ; planta m^{-2}), utilizando-se da seguinte equação:

$$IAF = A \frac{PP}{10000} \quad (16)$$

Para que fosse possível simular os valores diários de área foliar por planta, usou-se a função de crescimento de Gompertz, adaptada por [Ritchie e Johnson \(1990\)](#), conforme as equações 17 e 18.

$$A = A_0 e^{-b} e^{kTTA} \quad (17)$$

$$TTA = \sum_{i=0}^t [(T_{MAX} + T_{MIN})_i / 2 - T_b] \quad (18)$$

Aplicação

A fim de apresentar um exemplo de aplicação do modelo, utilizaram-se os dados de um experimento conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (15° 35' 30" de latitude S e 47° 42' 30" W de longitude), no período de maio a agosto de 2003. A cultura usada nesse experimento foi a cevada, variedade BR195. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro com textura argilosa. A irrigação foi realizada por pivô central, sendo o momento e a quantidade a ser irrigada definidos por tensiômetro. Os elementos climáticos necessários à execução do modelo foram coletados em estação climática instalada próxima à área experimental.

Na Figura 3, representa-se a variação das temperaturas máxima e mínima da radiação solar e da precipitação observadas durante o experimento. Os valores da temperatura máxima observados durante o experimento variaram de 31,8 °C a 24 °C, com média de 28 °C; já os valores da temperatura mínima variaram de 19,7 °C a 8,6 °C, com média de 14,3 °C.

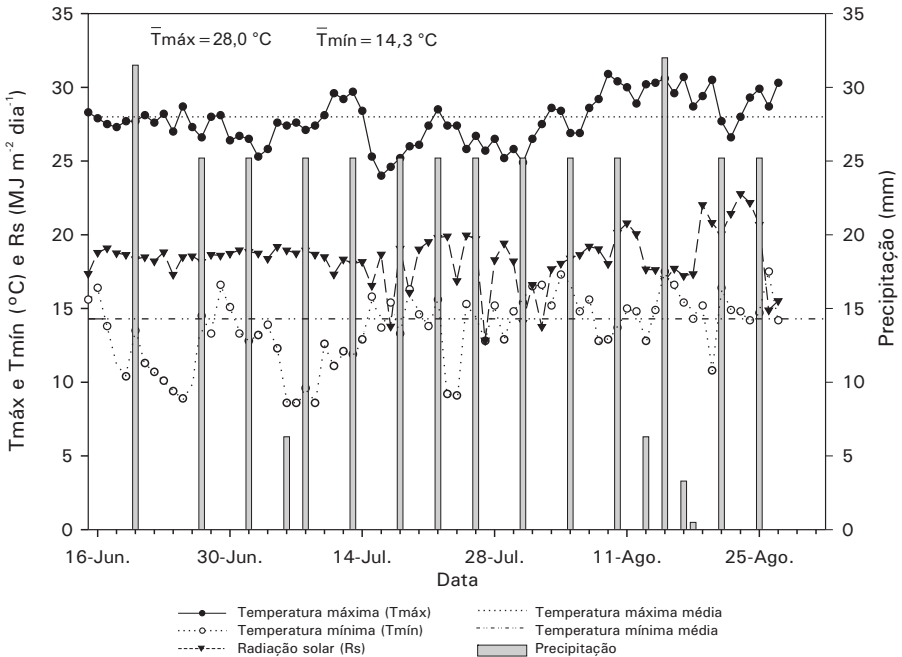


Figura 3. Valores observados das temperaturas máxima e mínima, da precipitação e da radiação solar, destacando-se os valores médios da Tmáx. e da Tmín.

Parâmetros do solo U e α

Quantidade de água evaporada no primeiro estágio de evaporação – Parâmetro U

Conforme comentado anteriormente, o processo de evaporação da água no solo pode ser dividido em três fases. A primeira depende principalmente da energia disponível e é limitada pelo parâmetro U . Para determinação do parâmetro U , foram construídos microlisímetros de tubo de PVC, com diâmetro médio de 75 mm e altura média de 120 mm. Para efeito da determinação dos parâmetros, utilizaram-se três microlisímetros instalados, um próximo ao outro, em local representativo da área experimental. Iniciaram-se os testes após o umedecimento do solo. Os microlisímetros foram cravados no solo, com o auxílio de uma marreta e de uma tábua para minimizar a quebra da estrutura do solo. Depois de cravados, os microlisímetros eram retirados e limpos, tendo seus fundos tampados, com a finalidade de evitar perda de solo, drenagem e extração de água pelas raízes da cultura. Em seguida, eles eram pesados e acondicionados em orifícios previamente preparados no solo. No dia seguinte, os microlisímetros eram novamente pesados e uma nova amostra era colocada no lugar da antiga que era descartada. A diferença das pesagens fornecia a quantidade de água evaporada.

Na [Figura 4](#), representa-se a variação temporal da evaporação da água do solo e da evaporação no tanque classe A. Nessa figura, observa-se que, no início, quando o solo ainda está úmido, os valores da (E) são bastante altos, porém, diminuem com o passar do tempo, atingindo valores menores no final do teste, o que confirma a expectativa de queda na (E) com o secamento do solo. Pode-se, ainda, notar que elevadas demandas atmosféricas, representadas pelos altos valores de ECA influem na taxa de evaporação da água do solo na fase 1, mas não influem no seu valor na fase 2. A influência da variação da demanda atmosférica na (E) durante a fase 1, pode ser verificada analisando, no gráfico, a (E) referente ao segundo dia do teste. Observa-se que uma redução na demanda atmosférica, indicada pela redução no valor de ECA , implicou, também, a redução da (E) .

Conforme comentado anteriormente, o valor de U representa a mudança da fase 1 para a fase 2 de evaporação da água do solo, e seu valor é obtido na inflexão da curva traçada no gráfico evaporação acumulada em função do dia após a irrigação. A identificação desse ponto, na maioria das vezes, não é direta, conforme pode ser evidenciado na [Figura 5](#).

Fazendo uma análise visual da curva representativa de $\Sigma (E_a/ECA_a)$, em função do dia após a irrigação, na [Figura 5](#), nota-se que os pontos referentes aos dias 4, 5 e 6 são potenciais a serem o ponto de inflexão. A escolha do ponto 4, por exemplo, implicaria um valor de $U = 11,9$ mm. Entretanto, se o ponto correto fosse o 6, estar-se-ia cometendo um erro de 21% na estimativa de U .

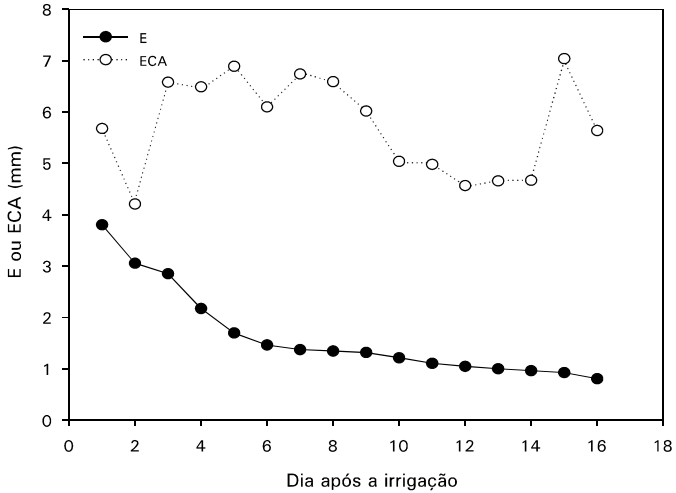


Figura 4. Evaporação direta da água do solo (E) e evaporação do tanque Classe A (ECA).

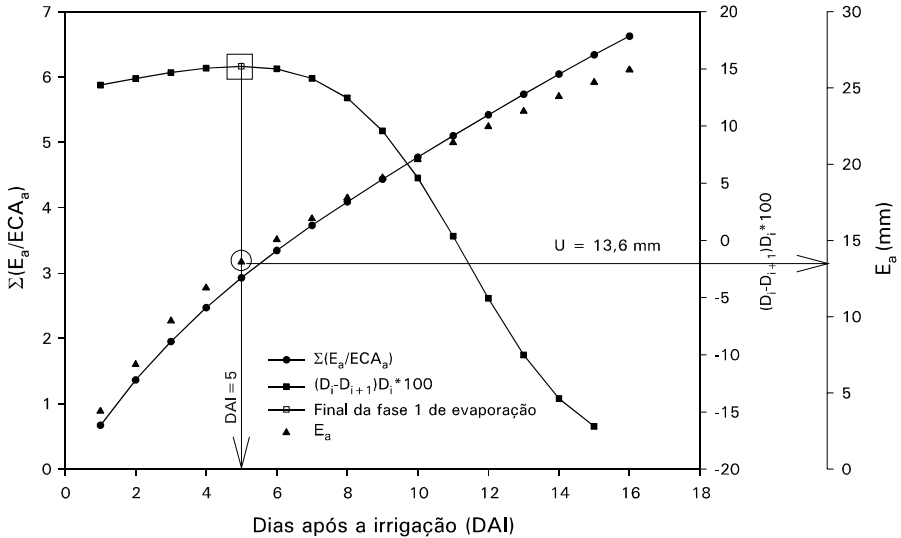


Figura 5. Curvas representativas da razão entre a evaporação acumulada da água do solo (E_a) e a evaporação acumulada do tanque Classe A (ECA_a), eixo Y a esquerda, da razão entre a diferença do valor da derivada de primeira ordem no dia i pelo seu valor no dia $i+1$ e a derivada no ponto 2, eixo Y a direita, e da evaporação acumulada, eixo Y mais à direita. Destaca-se o final da fase 1 de evaporação (DAI = 5) e o valor do parâmetro U .

Com o intuito de melhorar a precisão na estimativa de U , ajustou-se uma curva aos valores de $\Sigma (E_a/ECA_a)$ em função do dia após a irrigação. De posse da curva ajustada, calculou-se a derivada de primeira ordem e seu valor relativo a cada dia do teste. De posse desses valores, traçou-se o gráfico percentual da razão entre a diferença do valor da derivada no dia i pelo seu valor no dia $i + 1$ e a derivada no ponto 2. Analisando, agora, a curva representativa de $(D_i - D_{i+1})/D_i * 100$ em função do dia após a irrigação, na [Figura 5](#), fica evidente que o final da Fase 1 de evaporação ocorreu no dia 5, sendo, portanto, o valor de $U = 13,6$ mm.

Taxa de evaporação da água do solo no segundo estágio de evaporação - Parâmetro α

O parâmetro α ($\text{mm dia}^{-0,5}$) que representa a taxa de variação da (E) no segundo estágio de evaporação (E_{s2}), foi determinado utilizando-se os valores de (E) medidos a partir da mudança da fase 1 para a fase 2. O valor de α é representado pela inclinação da reta obtida da regressão linear entre os dados de evaporação acumulada no segundo estágio (E_{s2a}) e a raiz quadrada do tempo, em dias. Na Figura 6, apresenta-se o resultado da regressão, no qual se constata que o valor de $\alpha = 4,95$ $\text{mm dia}^{-0,5}$.

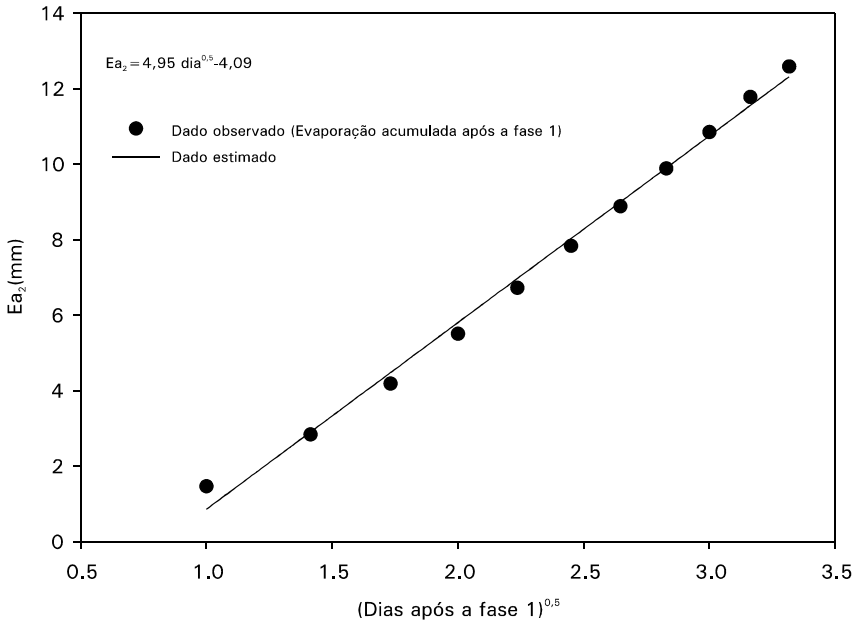


Figura 6. Pontos representativos da evaporação acumulada da água do solo no segundo estágio de evaporação (E_{s2a}) e reta de regressão ajustada aos pontos em função da raiz quadrada do tempo.

Índice de área foliar da cultura

A área foliar da cultura foi determinada uma vez por semana, quando se recolhiam todas as plantas em 0,5 metro linear, em três pontos representativos da área experimental. Depois da retirada das amostras, elas eram acondicionadas em sacos plásticos e levadas, em seguida, ao laboratório para que a área de todas as folhas das plantas fosse quantificada por meio de um planímetro eletrônico.

De posse dos valores de área foliar, foi realizada regressão não-linear para estimativa dos três parâmetros do modelo de Gompertz. Vale ressaltar que nenhuma restrição foi imposta ao ajuste.

Na Figura 7, apresenta-se a evolução da área foliar da cultura em função do tempo térmico acumulado. Observa-se, nessa figura, que, aproximadamente um mês depois da emergência, o solo estava totalmente coberto.

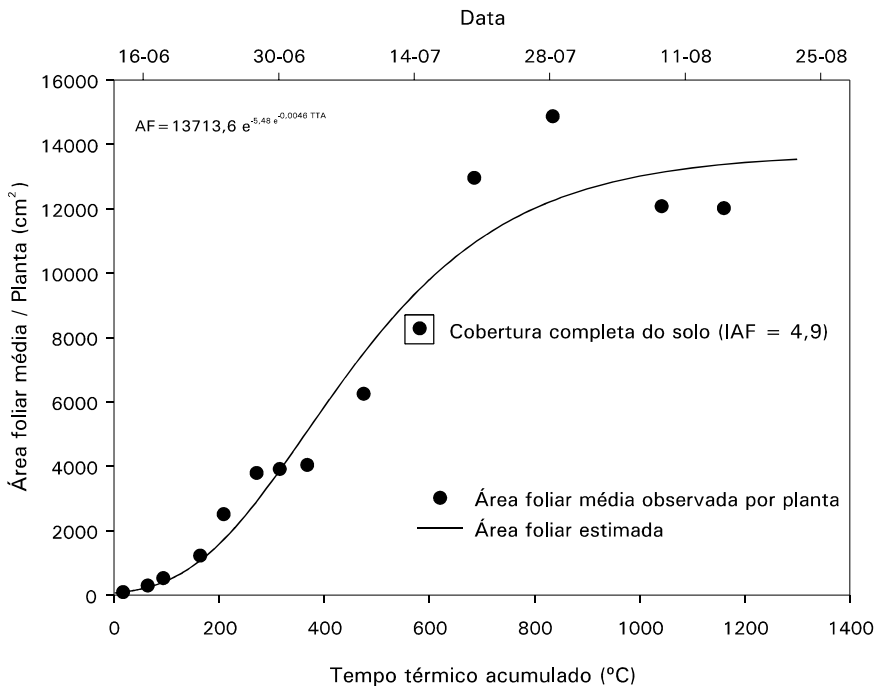


Figura 7. Pontos representativos da evolução da área foliar da cultura da cevada em função do tempo térmico acumulado e curva representativa do ajuste, destacando-se o momento em que se constatou a cobertura completa do solo.

Evapotranspiração da cultura

Os valores simulados de ET para a cultura da cevada variedade BR195 podem ser vistos na Figura 8. A ET variou de 2,68 mm, na fase inicial a 5,44 mm na fase de cobertura completa, com média de 4,03 mm durante o ciclo da cultura, sendo a evapotranspiração total igual a 387 mm.

Constatou-se que, em função das irrigações freqüentes, o modelo permaneceu a maior parte do tempo na fase 1 de evaporação. Nesta fase, conforme comentado anteriormente, uma variação na demanda implica uma conseqüente variação na ET. Tal afirmação pode ser constatada pela relativa semelhança entre a curva de ET, apresentada na Figura 8a, e a curva de evaporação do tanque Classe A, na Figura 8b, até a cobertura completa do solo (dia 197). A partir desse dia, a (T) passa a ser a única componente da ET, ou seja, a (E) é desprezada. Isso explica a grande semelhança das duas curvas, pois (T) depende basicamente da $(ET_{\text{máx}})$.

O modelo foi aplicado propositalmente até algumas semanas depois da cobertura completa do solo, com a finalidade de mostrar que ele não consegue detectar a queda no valor da ET, ou seja, o período de senescência.

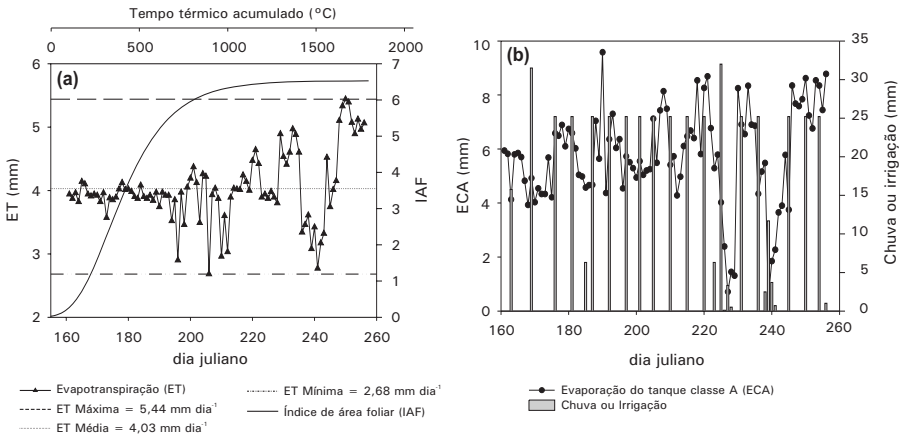


Figura 8. Curvas representativas da evapotranspiração da cultura (ET), do índice de área foliar (IAF), Figura 8a, da evaporação do tanque Classe A (ECA) e da lâmina precipitada (chuva ou irrigação), Figura 8b.

Considerações Finais

Este trabalho teve o objetivo de descrever o modelo de Ritchie e de apresentar um exemplo de sua aplicação. Pode-se constatar a importância da correta estimativa do índice de área foliar e dos parâmetros de solo que definem as fases de evaporação. Este modelo é adequado para uso em trabalhos de estimativa da eficiência do uso da água uma vez que estima a evapotranspiração da cultura separando a evaporação direta da água do solo da transpiração. Ressalta-se, entretanto, a necessidade de trabalhos que comparem as estimativas feitas pelo modelo com dados determinados em campo de preferência obtidos de lisímetros de pesagem.

Referências

- BAKER, C. H.; HORROCKS, R. D.; GOERING, C. E. Use of the Gompertz function for predicting corn leaf area. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.18, n. 2, p. 323-326, 1975.
- BANGLADESH EDUCATION ADVANCEMENT FOUNDATION. Advisory Service on Agricultural Research for Development. **Research in the fight against hunger and poverty**. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/laendliche-entwicklung/armut-hunger/1815.htm> > . Acesso em: 18 abr. 2005.
- BLACK, T. A.; TANNER, C. B.; GARDNER, W. R. Evapotranspiration from a snap bean crop. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 1, p. 66-69, 1970.
- BLACKMAN, G. E.; WILSON, G. L. Physiological and ecological studies in the analysis of the differential effects of light intensity on the net assimilation rate, leaf-area ratio, and relative growth rate of different species. **Annals of Botany**, London, v. 15, n. 59, p. 373-408, 1951.
- BOAST, C. W.; ROBERTSON, T. M. A micro-lysimeter method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 4, p. 689-696, 1982.
- CHANG, J. H. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine Publishing Company, 1968. 304 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for prediction crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (Tecnical note, 24).
- FAO. **The state of food insecurity in the world**. Rome, 2002. 30 p.

- IDSO, S. B.; REGINATO, R. J.; JACKSON, R. D.; KIMBALL, B. A.; NAKAYAMA, F. S. The three stages of drying of a field soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 38, n. 5, p. 831-837, 1974.
- JONES, C. A.; KINIRY, J. R. **CERES-Maize**: Simulation model of maize growth and development. College Station: Texas A&M University Press, 1986.
- JONES, J. W.; RITCHIE, J. T. Crop growth models. In: HOFFMAN, G. J.; HOWEL, T. A.; SOLOMON, K. H. (Ed.). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1990. p. 63-89.
- KANEMASU, E. T.; STONE, L. R.; POWERS, W. L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agronomy Journal**, Madson, v. 68, n. 4, p. 569-572, 1976.
- MANTOVANI, E. C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: Estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos**. 1993. 184 f. Tese (Doutorado) - Universidad de Córdoba, Córdoba.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1986. 21 p.
- PHILIP, J. R. Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. **Journal of Meteorology**, Washington, DC, v. 14, p. 354-366, 1957.
- POSTEL, S. Redesigning irrigated agriculture. In: NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 4., 2000, Phonix. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2000. p. 1-12.
- REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. 466 p.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 10, n. 29, p. 290-300, 1969.
- RITCHIE, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with an incomplete cover. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 8, n. 5, p. 1204-1213, 1972.
- RITCHIE, J. T.; JOHNSON, B. S. Soil and plant factors affecting evaporation. In: STUART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 363-390. (Agronomy Monograph, 30).

- RODRIGUES, L. N.; SEDIYAMA, G. C.; SOCCOL, O. J.; MANTOVANI, E. C. Modelo de Ritchie para determinações da transpiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 179-185, 1998.
- RUCK, H. C.; BOLAS, B. D. Studies in the comparative physiology of apple rootstocks. I. The effect of nitrogen on the growth and assimilation of mailing apple rootstocks. **Annals of Botany**, London, v. 20, p. 57-68, 1955.
- SECKLER, D.; AMARASINGHE, U.; MOLDEN, D.; SILVA, R.; BARKER, R. **World water demand and supply, 1990 to 2025: scenarios and issues**. Colombo: International Water Management Institute, 1998. 40 p. (Research Report, n.19).
- SHIKLAMANOV, I. A. Global water resources. **National Resources**, v. 23, n. 3, p. 34-43, 1990.
- SLATYER, R. O.; MCILROY, I. G. **Practical micro-climatology with special reference to water in soil-plant-atmospheric relationships**. Australia: CSIRO, 1961. p. 1-296.
- TANER, C. R.; JURY, W. A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. **Agronomy Journal**, Madson, v. 68, p. 239-243, 1976.
- TUBELIS, A. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1988. 85 p.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449 p.
- VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies. **Agronomy Journal**, Madson, v. 82, n. 6, p. 1153-1159, 1990.
- WALKER, G. K. Measurement of evaporation from soil beneath crop canopies. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 63, n. 1, p. 137-141, 1983.
- WATSON, D. J.; THORNE, G. A.; FRENCH, S. A. W. Physiological causes of differences in grain yield between varieties of barley. **Annals of Botany**, London, v. 22, p. 321-352, 1958.

The Ritchie Model description and application

Abstract – Among the several methods used to manage irrigation, the ones based on the calculation of crop water consumption or evapotranspiration are the most common. From those, the one presented by Doorenbos e Pruitt (1977) is the most used. Based on this method, the crop evapotranspiration is calculated multiplying a crop reference evapotranspiration by a crop coefficient. Applying this methodology in some situations is not convenient, for instance, in the estimative of crop water use efficiency. Besides of this, a good estimative of crop coefficient is difficult and should be done for each region, once it is site specific. Options to this method are the models that calculate the evaporation and transpiration separately. Among those, the one presented by Ritchie (1972) is the most popular. It was developed to calculate row crop evapotranspiration in situations where neither soil water deficit occur nor crop is in senescence stage. This model has been used successfully to estimate crop evapotranspiration under different climatic, soil and crop conditions. To use this model it is necessary to estimate two soil parameters. Even though the methodology to estimate these two parameters is of easy application, it is not widely known. The objectives of this paper were: i) to describe the Ritchie model and apply it to calculate the evapotranspiration of Cerrados' crop; and ii) to present methodologies to estimate both its soil parameter and the crop leaf area index.

Index terms: evapotranspiration, water management, crop coefficient.

Embrapa

Cerrados

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

