

COEFICIENTE DA DE CULTURA DUAL PARA O MILHO EM QUATRO ÉPOCAS DE PLANTIO NO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA, ALAGOAS

RUI PALMEIRA MEDEIROS¹, GUILHERME B. LYRA², JOSÉ LEONALDO DE SOUZA³, GUSTAVO B. LYRA⁴, RICARDO A. FERREIRA JUNIOR⁵, JOSÉ EDMILSON D. DE BRITO¹

1 - Eng. Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL, rui@mei.com;

2 - Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Maceió, AL;

3 - Meteorologista, Prof. Associado, Instituto de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL;

4 - Meteorologista, Prof. Adjunto, Depto. de Ciências Ambientais, Instituto de Florestas, UFRRJ, Seropédica - RJ;

5 - Mestrando em Produção Vegetal Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Rio Largo – AL;

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009 - GrandDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções, Belo Horizonte, MG

RESUMO: A definição do coeficiente cultura em períodos pré-definidos é essencial no cultivo de milho em sequeiro, visando definir estratégias de plantio para que a cultura obtenha seu potencial produtivo. A pesquisa foi conduzida no município de Arapiraca, AL, com o objetivo de avaliar o coeficiente da cultura dual (K_c) em quatro épocas de cultivo (06/05, 19/05, 10/06 e 30/06 do ano de 2008). Aplicou-se o método sugerido no boletim FAO-56 para ajustar o coeficiente da cultura dual ($K_c = K_s K_{cb} + K_e$) às condições edafoclimáticas da região, em que, K_{cb} é coeficientes basal da cultura, K_s o de redução por déficit de água e K_e o coeficiente de evaporação da água do solo. O K_{cb} ajustado para o estágio intermediário apresentou valores entre 1,05 (06/05) e 1,10 (30/06), enquanto no estágio final K_{cb} foi de 0,40 (06/05) a 0,45 (30/06). Para ambos os estádios, K_{cb} ajustado se aproximou do valor tabelado à medida que as datas de plantio (10 e 30/06) foram próximas da metade do período úmido da região. O K_{cb} varia em relação às épocas de cultivo, sendo necessário ajusta-los as condições edafoclimáticas locais. Nos cultivos com plantio em 10 e 30/06, o K_c foi severamente penalizado na fase intermediária e final, sendo inferior a K_{cb} , devido ao déficit de água no solo, com K_s menor que 0,5.

PALAVRAS-CHAVE: Boletim FAO-56, Penman-Monteith, épocas de plantio.

DUAL CROP COEFFICIENT FOR FAO-56 GUIDELINE OF MAIZE IN FOUR SOWINGS DATES IN ARAPIRACA, ALAGOAS STATE, BRAZIL

ABSTRACT: The definition of crop coefficient in pre defined periods is essential in cultivation of maize in rainfed, to define strategies for the crop planting, in a way that crop attains its productive potential. The research was conducted in the Arapiraca region, state of Alagoas, Brazil, to evaluate the dual crop coefficient (K_c) in four sowings (May 6th and 19th and June 10th and 30th in the year of 2008). The method suggested in the FAO-56 guideline to adjust the dual crop coefficient ($K_c = K_s K_{cb} + K_e$) soil-climatic conditions of the region was adapted, where, K_{cb} is the basal crop coefficients, K_s reduction water deficit, and K_e the rate of evaporation of soil water. The K_{cb} adjusted for the intermediate stage showed values between 1.05 (May 6th) and 1.10 (June 30th), while in the final stage K_{cb} was 0.40 (May 6th) to 0.45 (June 30th). For both stages, K_{cb} approached the tabulated value (1.15 and 0.45) as the dates of planting (June 10th and 30th) were close to half of the wet season in the region. The K_{cb} depends on sowings dates, being necessary to adapt them to local edafic-climatic conditions. For crops with sowing on June 10th and 30th, the values K_c were severely reduced in intermediate and final stages, being less than K_{cb} , due to water deficit in soil, with K_s lower than 0.5.

KEYWORDS: FAO-56 Guideline, Penman Monteith, sowings dates.

INTRODUÇÃO: A evapotranspiração da cultura (ET_c), padrão boletim FAO-56 (Allen et al., 1998), é obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (K_c). Dois métodos para estimativa de K_c são sugeridos no FAO-56, um denominado de “único”, e o outro de “dual”. Na abordagem “dual”, os processos de transpiração e da evaporação do solo são considerados separadamente na determinação de K_c , em função, respectivamente dos coeficientes basal da cultura (K_{cb}) e de evaporação da água do solo (K_e). K_{cb} representa a relação entre ET_c e ET_o quando a camada superficial do solo encontra-se seca, porém com conteúdo de água na zona radicular suficiente para manter a taxa potencial da transpiração. Em condições de déficit de água na zona radicular, K_{cb} é penalizado pelo coeficiente de redução por déficit de água no solo (K_s), enquanto, K_e representa a evaporação da água na superfície do solo, suprida pela chuva e, ou irrigação (Allen et al., 1998).

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido no município de Arapiraca, AL (09°48' S, 36°36'W, 236m) no período de maio a outubro de 2008. O solo da área experimental foi classificado como latossolo com declividade média de 2%. A variedade de milho utilizada foi a AL Bandeirantes, semeada em quatro épocas (T1 – 06/05; T2 - 19/05; T3 – 10/06 e T4 - 30/06), no espaçamento de 0,80 entre linhas (55.000 plantas ha^{-1}). A precipitação pluvial foi obtida por um pluviômetro automático (TB3, *Hydrological Services PTY. LTD.*, Austrália) instalado a 1,5 m acima do solo. As medidas de temperatura e umidade do ar foram realizadas por um termohigrômetro (HMP45C, Campbell Sci., U.S.A), a 2,0 m acima da superfície do solo e a radiação solar global (R_g) foi medida por um piranômetro (Eppley, U.S.A.). O conteúdo de água no solo foi determinado por reflectometria no domínio do tempo (CS616 *Water Content Reflectometers*, Campbell Sci., U.S.A.), com as sondas de TDR instalados a 0,30 m de profundidade. As medidas desses elementos foram realizadas com o auxílio de um *datalogger* (CR10X, Campbell Sci., U.S.A), em intervalos de 10s, sendo armazenado as médias ou acumulados a cada minuto, com exceção do TDR em que se armazenou as médias a cada cinco minutos.

A evapotranspiração de referência (ET_o), foi estimada pelo método de Penman-Monteith FAO – 56 (Allen et al., 1998), conforme a equação a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273}\right)u_2(e_s - e)}{\Delta + (1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que Rn ($MJ m^{-2} d^{-1}$) é o saldo de radiação; G ($MJ m^{-2} d^{-1}$) é o fluxo de calor no solo; u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa); e é a pressão parcial do vapor d'água do ar (kPa); T é a temperatura do ar ($^{\circ}C$); Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor de saturação em relação a temperatura média ($kPa ^{\circ}C^{-1}$) e γ é coeficiente psicrométrico ($kPa ^{\circ}C^{-1}$).

A evapotranspiração atual da cultura (ET_c), foi calculada pela seguinte expressão:

$$ET_c = K_c ET_o = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (2)$$

em que, K_c é o coeficiente de cultura, K_{cb} é coeficiente basal da cultura, K_s é o coeficiente de redução por déficit de água no solo e K_e o coeficiente de evaporação da camada superficial do solo.

Os valores de K_{cb} para a cultura do milho em condições padrões são tabelados no boletim FAO 56 (Allen, 1998), e correspondem a 0,15 (estádio inicial), 1,15 (estádio intermediário) e 0,50 (estádio final). Os valores de K_{cb} intermediário e final tabelados foram ajustados às condições climáticas locais e da cultura nas diferentes épocas de plantio pela relação:

$$K_{cb} = K_{cb(Tab)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)](h/3)^{0,3} \quad (3)$$

em que, $K_{cb(Tab)}$ é o coeficiente de cultura basal tabelado; UR_{min} (%) é a média de umidade relativa mínima durante as fases intermediária ou final, e h (m) é a altura média da planta para as fases intermediário ou final.

Os valores de K_{cb} foram interpolados considerando o comprimento dos estádios de desenvolvimento sugeridos no boletim FAO-56 para a cultura de milho e de 20 dias na fase inicial, 35 na de crescimento, 40 na intermediária e 30 na final, correspondendo a um ciclo total de 125 dias. Quando o solo estava molhado, considerou-se que a evaporação ocorreu à taxa potencial, e $(K_s K_{cb} + K_e)$ assumiu o valor de $K_{c_máx}$. Quando a superfície do solo encontrou-se seca, ocorreu redução na evaporação, e o coeficiente de evaporação (K_e) foi calculado a partir da seguinte relação:

$$K_e = \text{mín} \left\{ K_r (K_{c_máx} - K_{cb}), f_{umd} K_{c_máx} \right\} \quad (4)$$

em que: $K_{c_máx}$ é o coeficiente de cultivo máximo; K_r é o coeficiente de redução da evaporação, dependente da depleção da água na superfície do solo, e f_{umd} é a fração do solo exposta à radiação solar e molhada ($f_{umd} = \text{mín}\{1 - f_c, f_w\}$), em que, f_w é a fração média da superfície molhada, $f_w = 1$, no caso da chuva, f_c é a fração de cobertura do solo pelo cultura e mín indica a seleção do valor mínimo separado pela vírgula dentro das chaves $\{ \}$.

$$f_c = \left[\frac{(K_{cb} - K_{c_mín})}{(K_{c_máx} - K_{c_mín})} \right]^{(1+0,5h)} \quad (5)$$

O coeficiente de cultivo máximo ($K_{c_máx}$) foi determinado pela equação:

$$K_{c_máx} = \text{máx} \left\{ \left[1,2 + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\text{mín}} - 45)] (h/3)^{0,3} \right], (K_{cb} + 0,05) \right\} \quad (6)$$

em que, $\text{máx}(\)$ é o valor máximo dos parâmetros nas chaves e separados por vírgula.

O coeficiente de redução da evaporação do solo (K_r), foi calculado a partir da equação:

$$K_r = \text{máx} \left\{ (TEW - D_{e,i-1}) / (TEW - REW); 0 \right\} \quad (7)$$

em que: $D_{e,i-1}$ (mm) é a profundidade acumulada de evaporação (depleção) da camada superficial do solo no final do dia $i-1$ (dia anterior); TEW [= $1000 (\theta_{cc} - 0,5 \theta_{pm}) Z_e$] é a capacidade total de água evaporável; REW (mm) é a água facilmente evaporável e Z_e (m) é a profundidade da camada superficial do solo sujeita a evaporação. A depleção D_e foi determinada pelo balanço de água na camada superficial do solo (Lyra et al., 2007).

O coeficiente de redução por déficit de água no solo (K_s) foi determinado pela expressão:

$$K_s = (TAW - Dr) / (TAW - RAW) = (TAW - Dr) / [(1 - p)TAW] \quad (8)$$

em que, Dr (mm) é a depleção da umidade na zona radicular; TAW [= $1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) z_r$] é capacidade de água disponível na zona radicular; RAW (= $p TAW$) é a água facilmente disponível e p é a fração de água disponível total, que a planta pode extrair sem sofrer estresse, sendo 0,55 para o milho; θ_{cc} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) é o conteúdo de água na capacidade de campo; θ_{pm} ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) é o conteúdo de água no ponto do murchamento e Z_r (m) é a profundidade efetiva do sistema radicular. Dr foi determinada de forma similar a D_e pelo balanço de água no solo.

A determinação da evaporação E (mm), foi feita através da expressão:

$$E = K_e ET_o \quad (9)$$

O escoamento superficial foi estimado, a partir de um modelo semi-empírico descrito por Campbell e Diaz (1988), calculado, como segue:

$$R = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad (10)$$

em que, R (m) é o escoamento superficial.; P (m) é a precipitação pluvial, para a condição de que: se $P \leq 0,2 S$, então o escoamento superficial será zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores da precipitação pluvial acumulada, para todo o ciclo, variaram de 571,5 mm, para o tratamento T1, a 341,1 mm para o tratamento T4. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram valores de 470,1 mm e 385,8 mm, respectivamente. Verificou-se que a distribuição dos totais da precipitação pluvial apresentou tendência decrescente, à medida que as épocas de semeadura tornaram-se mais tardias. O tratamento T1 apresentou 103 dias com chuvas, o que representou 91% dos dias do ciclo, com chuvas, ou seja, frequência de um evento por dia com uma intensidade média, no período, de $5,6 \text{ mm dia}^{-1}$. No tratamento T2, verificou-se uma precipitação total de 470,1 mm durante a

estação de crescimento, compreendidos no período de 83% dos dias do ciclo total da cultura. A intensidade média de precipitação foi de 4,9 mm dia⁻¹. O tratamento T3 teve um ciclo de 113 dias com precipitação pluvial total, durante o período, de 385 mm, ocorridos em 80% dos dias do ciclo da cultura. A intensidade de precipitação foi de 4,8 mm dia⁻¹. O tratamento T4, correspondente à última época de semeadura, apresentou um ciclo de 112 dias com uma precipitação pluvial total de 341,1 mm, sendo este total distribuído durante 70 dias, com uma intensidade média de 4,9 mm dia⁻¹.

Os valores de K_{cb} corrigidos para as condições locais de umidade relativa e velocidade média do vento a 2 m de altura são mostrados na Figura 1, conforme metodologia desenvolvida por Allen et al. (1998), para os quatro tratamentos. Para o valor do K_{cb} inicial não se procede às correções, no entanto os valores de K_{cb} do período intermediário foram entre 4,3% (T4) e 8,7% (T1) inferiores ao valor tabelado, enquanto K_{cb} final mostou valores entre 10% (T4) e 20% (T1) menor do que o valor tabelado (Tab. 1). Esta variação decorre da $UR_{mín}$ média durante o período ter sido em média entre 56 (T4) e 67% (T1), enquanto a velocidade média do vento ficou em torno de 1,6 (T1) e 1,7 m s⁻¹ (T4). Como os valores tabelados foram determinados para 45% de $UR_{mín}$ e velocidade do vento de 2 m s⁻¹. A maior umidade relativa e a menor velocidade do vento, quando comparados aos valores padrões do Boletim FAO 56, resultaram na redução dos valores de K_{cb} quando corrigidos pela eq.3. Os valores de K_{cb} corrigidos se aproximaram dos valores tabelados, à medida que as datas de semeadura se tornaram mais tardias. Isso decorreu do aumento de velocidade média do vento e pela redução da umidade relativa mínima do ar, que variou -11%, entre o primeiro e o último tratamento.

Tabela 1 - Datas de colheita e coeficiente de cultivo basal (K_{cb}) corrigidos para os quatro tratamentos em função da umidade relativa mínima ($UR_{mín}$) média e velocidade média do vento (U_2).

TRAT.	DATAS		K_{cb} corrigido			U_2 (ms ⁻¹)	$UR_{mín}$ (%)
	Semeadura	Colheita	Inicial	intermediário	Final		
T1	6/mai	1/set	0,15	1,05	0,40	1,57	67
T2	19/mai	16/set	0,15	1,06	0,41	1,59	66
T3	10/jun	6/out	0,15	1,07	0,42	1,59	63
T4	30/jun	24/out	0,15	1,10	0,45	1,68	56

Os valores de K_c incorporam o fator de depleção da umidade do solo (K_s) e o fator de evaporação (K_e). Portanto o valor do K_c será o valor de K_{cb} corrigido em função da evaporação da superfície do solo e do teor de água nele contido, regido pelas forças de tensão com que a água é retida no solo. No tratamento T1, os valores de K_c permaneceram acima de K_{cb} até 78 dias após a emergência (Fig. 1A). Isso decorreu da intensidade e frequência de chuvas no período, mantendo a superfície do solo úmida e favorecendo a evaporação potencial de água. O tratamento T2, (Fig. 1B), teve tendência semelhante e, os valores de K_c permaneceram acima dos valores de K_{cb} desde a emergência, até 65 dias após a emergência, englobando todo o período inicial, de desenvolvimento e parte do período intermediário. Denotando-se que para estes dois tratamentos a evaporação influenciou os valores de K_c , mantendo estes acima do limite de K_{cb} . As maiores diferenças ocorridas nos períodos, inicial e de desenvolvimento da cultura, devem-se à maior exposição do solo, que ainda não está totalmente coberto pela cultura. Para os tratamentos T3 e T4 (Fig. 1C e 1D) verificou-se padrão diferente, que foi agravado no último tratamento (T4), onde, no início do período intermediário, por volta de 60 dias após a emergência e antes do florescimento, ocorreu queda abrupta nos valores de K_c , decorrentes tanto da redução de K_s e também de K_e , em função de redução da umidade no solo e do aumento das forças de retenção da água, pela menor frequência e intensidade das precipitações pluviais. Ao final do ciclo observou-se, ainda, elevação significativa dos valores de K_c , decorrente da ocorrência de chuvas e, tendo no componente K_c a sua maior expressão, uma vez que a cultura já se encontrava com as folhas em adiantado estado de senescência.

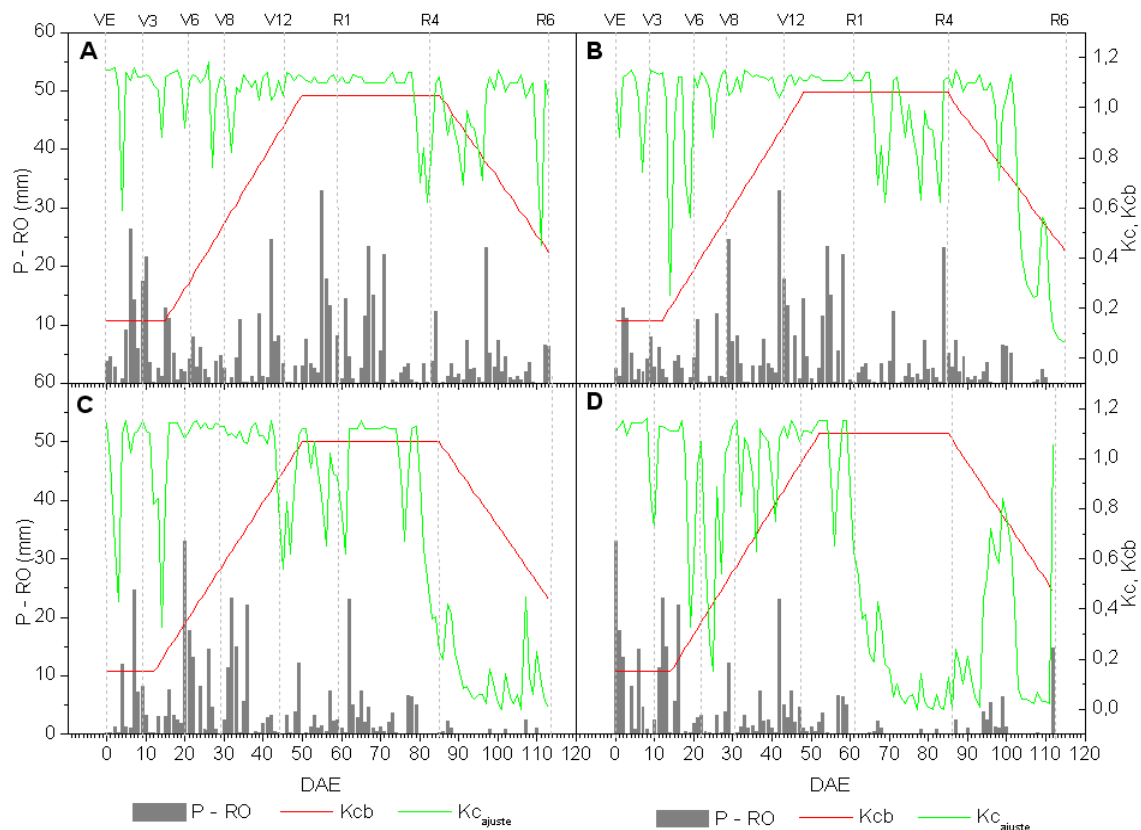


Figura 1 - Coeficiente de cultura basal (K_{cb}), coeficiente de cultura ajustado ($K_{c\text{ ajuste}}$) e precipitação pluvial menos o escoamento superficial (P-RO) em função dos dias após a emergência e dos estádios fenológicos do milho para quatro épocas de plantio, nos tratamentos T1 (A), T2 (B), T3 (C) e T4 (D).

CONCLUSÃO: Os valores de K_{cb} ajustados para os estádios intermediário e final variam em função das condições edafoclimáticas de Arapiraca - AL e se aproximam dos valores tabelados ao passo que as datas de plantio foram próximas da metade da estação úmida da região. Os valores de K_{cb} apresentados no trabalho servem como referência para planejamento e estratégia de plantio do milho de sequeiro para o município. Nos cultivos com plantio na metade da estação úmida, os valores de K_c da fase intermediária e final são severamente reduzidos por déficit de água no solo.

AGRADECIMENTO: CT-HIDRO/CNPq-504068/03-2, CNPQ Universal 479143/2007-2, FAPEAL, CAPES, CNPq-PIBIC-UFAL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).
- CAMPBELL, G., S.; DIAZ, R. Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration. In: BIDINGER, F.R.; JOHANSEN, C. **Drought research priorities for the dryland tropics**. Parancheru, India: Icrisat, 1988. p.15-26.
- DURÃES, F.O.M. **Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm>. Acesso em: 08/06/2009
- FANCELLI, A. L. & DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Livro Ceres: Piracicaba, 2004. 360p.