

XVIII CONIRD

São Mateus, 27/07 a 01/08/2008

OF. 9: Projetos em agricultura irrigada,
sistemas de automações e adequações
da água para a irrigação

O CASO DOS COEFICIENTES DE
CULTURA (Kc)



HISTÓRICO

- 2001: XI CONIRD – Fortaleza
- 2002: XII CONIRD – Uberlândia
- 2003: XIII CONIRD – Juazeiro
- 2004: XIV CONIRD – Porto Alegre

Coeficiente de Cultura (Kc)

- O QUE É Kc?
- É a razão entre a evapotranspiração máxima ou potencial da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo), isto é:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo}$$

Por que determinar Kc?

- Um modo de racionalizar a água de irrigação.
- Outras consequências:
 - Redução no custo de produção;
 - Minimizar o impacto da irrigação sobre o meio ambiente.
- Antes, porém, deve-se ter consciência de outras perdas de água (baixa eficiência): vazamentos, desuniformidade de irrigação, manejo de irrigação sem critérios técnicos etc.

O que é ETc?

- É um processo dinâmico da água que ocorre no sistema solo-planta-atmosfera, a partir do momento em que a água é aplicada natural (através da **chuva**) e/ou artificialmente (através da **irrigação**) sobre um cultivo agrícola.
- Portanto, toda água que entra pela planta e participa de seus processos metabólicos, incluindo a fotossíntese, faz parte da constituição dos seus tecidos e é transpirada por ela. A **transpiração (T)** é a maior parcela da quantidade total de água que passa pela planta, podendo alcançar até 99%. A água que é diretamente evaporada pela superfície do solo é a **evaporação (E)**. A integração dos dois termos ($E + T$) constitui-se o que se denomina de **evapotranspiração (ET)**.

O que é ETc?

- No início do ciclo de cultura anual (por exemplo, grãos), quando a superfície do solo não está totalmente coberto pela cultura, a parcela da evaporação (E) é grande, mas vai-se diminuindo à medida que a cultura vai cobrindo toda a superfície do solo.
- Também na condição de irrigação localizada, em que apenas parte da superfície do solo é umedecida, a evaporação é minimizada.
- Outra condição em que se restringe a E é o método de preparo de solo para o plantio. Uma boa técnica para a redução de E é o Plantio Direto sobre a palhada (restos ou incorporação de uma cultura anterior no solo).

O que é ET máxima e real (ETr)?

- ET máxima ou potencial é a evapotranspiração que ocorre numa situação em que não haja fatores limitantes tanto na planta (como ataque de pragas e doenças) quanto no solo (como disponibilidade de água e de nutrientes insuficientes) que possam impedir que a planta transpire em sua condição máxima em uma determinada situação de clima local.
- Portanto, toda vez que surgir um fator limitante que impeça a condição máxima de evapotranspiração esta passa a ser a real, por isso a ETr é sempre menor ou igual a ETm.

O que é ETo?

- A **ETo** (evapotranspiração de referência, anteriormente denominada de potencial, **ETp**) é o mesmo processo descrito para a **ETc**, entretanto, neste caso, a cultura é específica, dita de referência, que anteriormente considerava-se a grama ou a alfafa, em pleno desenvolvimento vegetativo, cobrindo completamente a superfície do solo e bem suprida de água.
- Atualmente, **ETo** tem uma nova definição: é uma cultura hipotética, semelhante à grama, cujo modelo físico-matemático que a expressa é o de **Penman-Monteith**, com parâmetros estabelecidos pela **FAO** (Allen et al., 1998*).

* Manual FAO 56

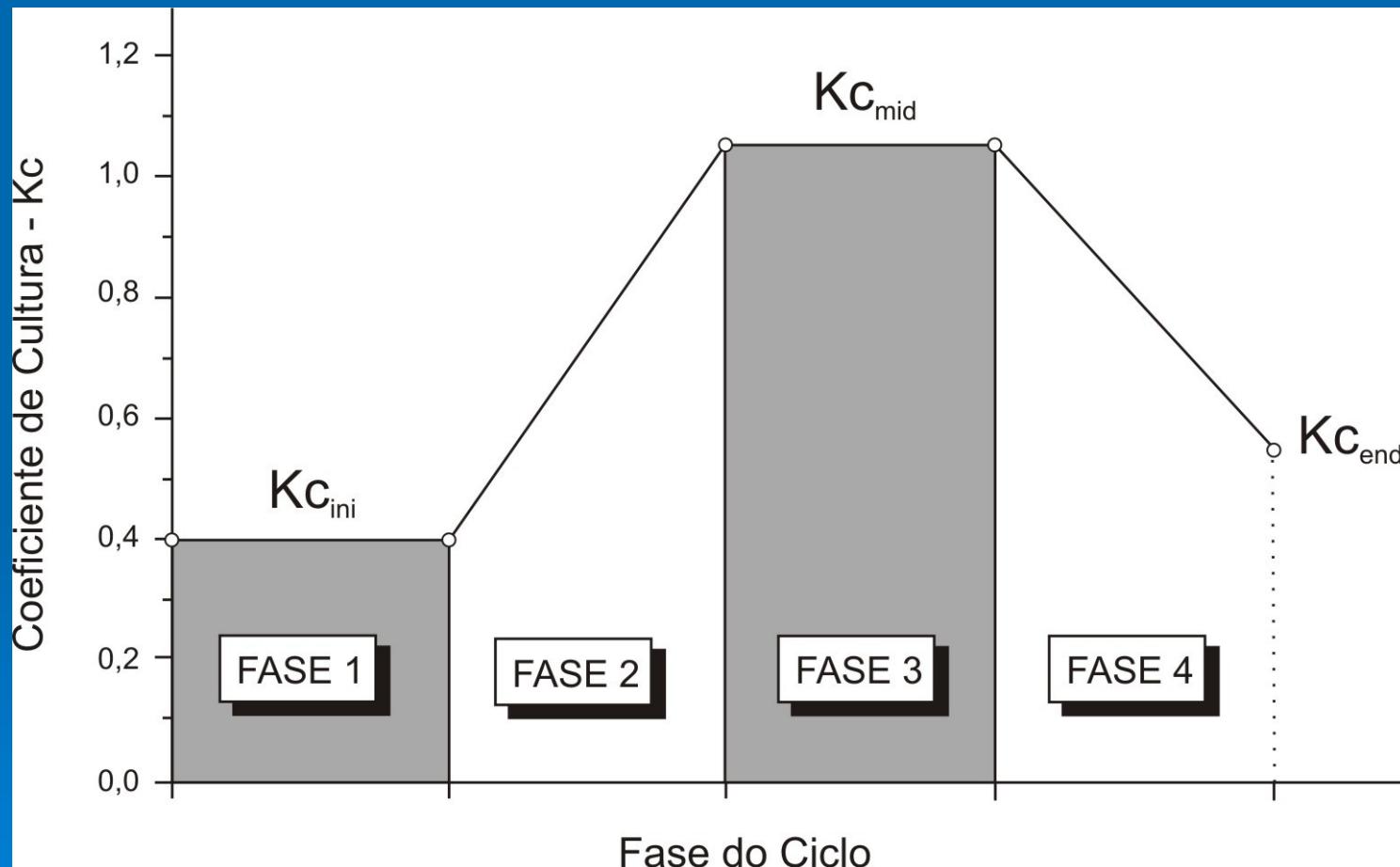
Interferências sobre o Kc:

- Como a ETc ou ETo, o Kc sofre fortemente os efeitos do clima, além da interação desse e a cultura em si, por isso o seu estádio de desenvolvimento e as suas próprias características (culturas perenes ou de ciclo anual etc.) irão estabelecer os valores para o Kc.
- O Kc na fase inicial do ciclo da cultura também sofre o efeito da freqüência de umedecimento da superfície do solo, devido essa superfície estar descoberta ou pouco vegetada.

Publicações sobre o Kc:

- Uma das primeiras publicações sobre Kc foi da FAO em seu **Manual 24 (Doorenbos e Pruitt, 1977)**, o qual apresenta gráficos e tabelas para as diversas culturas em função de freqüências (F) de umedecimento do solo e de valores de ETo (demanda evaporativa) que ocorrem nesse período.
- A mais recente publicação da FAO é o **Manual 56 (Allen et al., 1998)**.
- Em nível experimental, há diversos trabalhos que vêm utilizando a **lisimetria** como alternativa de medir diretamente a ETc e/ou ETo, de modo que se possa obter também valores de Kc. Também há outros métodos que utilizam o **Balanço de Energia** sobre a superfície evaporante (vegetação), como o método da **Razão de Bowen**, “**Eddy Correlation**” etc.

Curvas típicas do K_c para culturas de **ciclo anual**:



Determinação do Kc-ini:

- O Kc-ini é função do intervalo médio de eventos (chuva ou irrigação) de umedecimento da superfície do solo e também da demanda evaporativa da atmosfera (mensurada pela ET₀), além da magnitude do evento.
- Uma simplificação para obter o Kc-ini foi realizada por Albuquerque (2000), através de uma equação de ajuste para a família de curvas, mostrada por Doorenbos e Pruitt (1977).

Fórmula para o Kc-ini:

$$\text{Kc-ini} = 1,41704 - 0,092412.\text{ETo} - 0,11001.\text{F} + 0,0042672.\text{ETo}^2 + 0,0033743.\text{F}^2 + 0,00028724.\text{ETo}.\text{F}$$

ETo = evapotranspiração de referência (mm/dia);

F = freqüência de umedecimento da superfície do solo (dias).

Interferência do Preparo do Solo sobre o Kc-ini:

- O método de Preparo do Solo também pode interferir sobre os valores do Kc-ini;
- Normalmente, o **Plantio Direto** com Cobertura Morta (restos culturais, palhada etc.) minimiza a perda de água por evaporação da superfície do solo, o que pode reduzir os valores de Kc-ini para patamares em torno de **0,40 – 0,50**.

Determinação do Kc-mid:

- Os efeitos da diferença das propriedades aerodinâmicas entre a grama como cultura de referência e as culturas agrícolas não são apenas intrínsecas à planta em si, mas também variam com as **condições climáticas** e a **altura da cultura**.
- **Clima mais árido e condições de velocidade de vento maiores** originarão **maiores Kc-mid** e o inverso ocorrerá com clima mais úmido e menores velocidades de vento.

Fórmula para o Kc-mid

(e Kc-end > 0,45):

- Segundo Allen et al. (1998), há um valor de Kc-mid tabelado, para uma condição climática padrão de umidade relativa mínima do ar diária ($URmin$) de 45% e velocidade do vento diária a 2 m de altura (u_2) de 2 m/s. Portanto, a correção desses valores obedece à seguinte expressão em função das variáveis $URmin$ e u_2 :

$$Kc\text{-mid} = Kc\text{-mid (tab)} + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (URmin - 45)] \cdot (h/3) \cdot 0,3$$

$Kc\text{-mid (tab)}$ = valor do coeficiente de cultura tabelado para condição padrão;

u_2 = valor médio da velocidade do vento diário a 2 m da superfície, durante a fase 3 (m/s);

$URmin$ = valor médio da umidade relativa mínima diária durante a fase 3 (%);

h = altura média da planta durante a fase 3 (m).

Tabelas de Kc (FAO-56):

Coeficientes de cultivo (Kc) e médias de altura máxima de plantas (h), para cultivos sob uma condição padrão de $UR_{min} = 45\%$ e $u_2 = 2\text{ m/s}$

cultura	Kc-ini*	Kc-mid	Kc-end	Altura (h) - m
Feijão	0,40	1,15	0,35	0,4
Feijão caupi		1,05	0,35	0,4
Soja		1,15	0,50	0,5 – 1,0
Algodão	0,35	1,15 – 1,20	0,70 – 0,50	1,2 – 1,5
Mamona		1,15	0,55	2,0
Milho		1,20	0,35	2,0
Sorgo		1,00 – 1,10	0,55	1,0 – 2,0
Trigo		1,15	0,25	1,0

Valores de Kc-ini para o Cerrado:

Valores mensais mínimos, médios e máximos de coeficientes de cultura na fase inicial (Kc-ini) para culturas anuais apresentados para o Cerrado brasileiro, de acordo com o método do manual 24 da FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977) adaptado por Albuquerque e Andrade (2001)

mês	Valores do Kc-ini*		
	mínimo	médio	máximo
Janeiro	0,68	0,73	0,82
Fevereiro	0,69	0,73	0,82
Março	0,69	0,74	0,80
Abril	0,70	0,76	0,80
Maio	0,72	0,78	0,83
Junho	0,71	0,79	0,85
Julho	0,68	0,78	0,84
Agosto	0,64	0,74	0,80
Setembro	0,62	0,72	0,77
Outubro	0,66	0,72	0,76
Novembro	0,66	0,72	0,78
Dezembro	0,69	0,73	0,80
Média Geral	0,68	0,74	0,81

* Os valores apresentados de Kc são para uma freqüência de irrigação - F (turno de rega) de 4 dias. Se $F < 4$ dias, adicionar 0,09 ao valor de Kc para cada dia a menos. Se $4 < F \leq 8$ dias, subtrair 0,07 ao valor do Kc para cada dia a mais. Se $8 < F \leq 10$ dias, subtrair 0,06 ao valor do Kc para cada dia a mais

Valores de Kc-mid para o Cerrado:

Valores mensais mínimos, médios e máximos de coeficientes de cultura da fase 3 (Kc-mid) para o milho apresentados para Cerrado brasileiro, de acordo com o método do manual 56 da FAO (Allen et al., 1998)

mês	Valores do Kc-mid		
	mínimo	médio	máximo
Janeiro	1,00	1,10	1,17
Fevereiro	1,03	1,10	1,20
Março	1,05	1,11	1,16
Abril	1,04	1,11	1,16
Maio	1,04	1,13	1,19
Junho	1,07	1,15	1,21
Julho	1,09	1,18	1,23
Agosto	1,09	1,20	1,26
Setembro	1,06	1,19	1,25
Outubro	1,05	1,15	1,21
Novembro	1,04	1,12	1,19
Dezembro	1,03	1,10	1,20
Média Geral	1,05	1,14	1,20

Estimativa do Kc-mid de diversas culturas, para o Cerrado, em função do Kc-mid do milho:

Equações de regressão linear para estimar os coeficientes de cultura da fase de florescimento (Kc-mid) para diversas culturas, em função do Kc-mid do milho

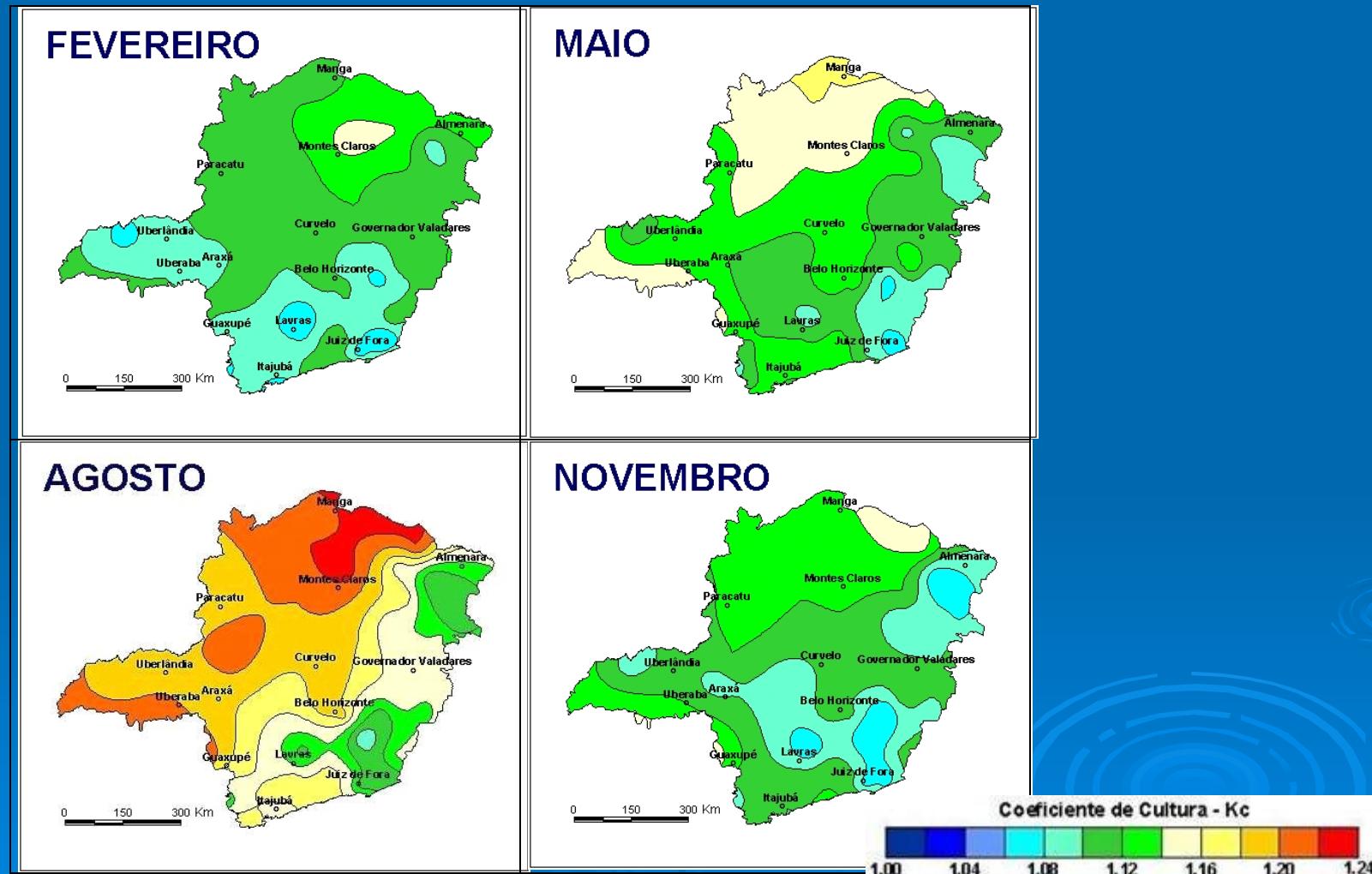
cultura	equação	Coef. correlação (r)	Altura padrão (h) ¹ - m	Kc-mid padrão ²
Algodão	$Kc^{(3)} = 0,10303 + 0,91406 \cdot Kc_{milho}$	0,99509	1,50	1,20
Feijão	$Kc^{(3)} = 0,4137 + 0,61361 \cdot Kc_{milho}$	0,99172	0,40	1,15
Girassol	$Kc^{(3)} = -0,05 + Kc_{milho}$	1	2,00	1,15
Soja	$Kc^{(3)} = 0,25541 + 0,74557 \cdot Kc_{milho}$	0,99385	0,75	1,15
Sorgo	$Kc^{(3)} = 0,13096 + 0,80737 \cdot Kc_{milho}$	0,99468	1,00	1,10
Trigo	$Kc^{(3)} = 0,18096 + 0,80737 \cdot Kc_{milho}$	0,99468	1,00	1,15

1 altura padrão (h) da cultura considerada na fase de florescimento (equação 2)

2 coeficiente de cultura padrão tabelado para condição de umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento a 2 m de altura de 2 m/s (equação 2) (Allen et al., 1998)

3 estimativa do coeficiente de cultura na fase de florescimento (Kc-mid) da cultura especificada em função do Kc-mid do milho

Valores de Kc-mid para o milho em 4 meses para o Estado de MG



O que o irrigante quer? Ou o que é preciso que façamos?

- **Conscientizar o irrigante da necessidade do manejo de irrigação;**
- **Mas depois de conscientizado, por que ele não adota?**

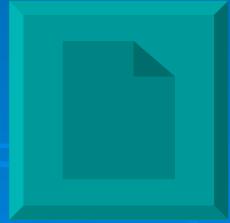
Depois de conscientizado, por que ele não adota?

- Custo da água;
- Custo da energia elétrica (em torno de 10% do custo total);
- Carência de dados edafoclimáticos;
- Prioridade das atividades;
- Falta de consultoria especializada;
- Falta da apresentação da metodologia (praticidade dessa metodologia).

E por que também a proposta de fazer uma base de dados de Kc's não saíram do papel?

- Carência de dados (?);
- Prioridade das atividades;
- Falta de “mão-de-obra” especializada;
- Falta da apresentação da metodologia (?);
- Praticidade dessa metodologia para o usuário.

Propostas

- Livro de Kc (XIV CONIRD – Porto Alegre, 2004) 
- Banco de Kc's via rede de computadores (internet)  

OBRIGADO!

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
emilio@cnpms.embrapa.br

Fone: (31) 3027-1337

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas - MG