

São Carlos, SP / Fevereiro, 2025

## Coeficientes de culturas forrageiras no Brasil e aplicação para o cálculo da necessidade de irrigação

Débora Pantojo de Souza<sup>(1)</sup>, Julio Cesar P. Palhares<sup>(2)</sup> e Fernando Campos Mendonça<sup>(3)</sup><sup>(1)</sup>Engenheira-agrônoma, aluna de pós-doutorado, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. <sup>(2)</sup>Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.<sup>(3)</sup>Professor, Esalq/USP, Piracicaba, SP.

### Introdução

A busca pela conservação de recursos naturais como a água e o solo passa pelo aumento da eficiência hídrica e produtiva, tornando-se um dos grandes desafios em sistemas agropecuários. A irrigação faz parte desse contexto e vem sendo adotada em fazendas de pecuária de leite e corte (Figura 1), porém, ainda carece de orientação técnica adequada.

Uma das formas de realizar o manejo de irrigação é a adoção do balanço hídrico de cultura, que auxilia na determinação do déficit hídrico e da demanda de irrigação a partir de dados climáticos (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial) e das estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

Para dimensionar adequadamente a demanda de irrigação, estima-se a ET<sub>c</sub> utilizando o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) segundo metodologia descrita por Allen et al. (1998) e atualizada por Allen et al. (2006).

Na literatura técnico-científica nacional há alguns trabalhos que realizaram a determinação do K<sub>c</sub> para diferentes culturas forrageiras, porém, sua aplicação ainda é pouco frequente, pois a informação fica restrita a meios de divulgação científicos e é pouco acessada por técnicos e produtores. O restrito acesso às informações dificulta a adoção do balanço hídrico de cultura em campo.

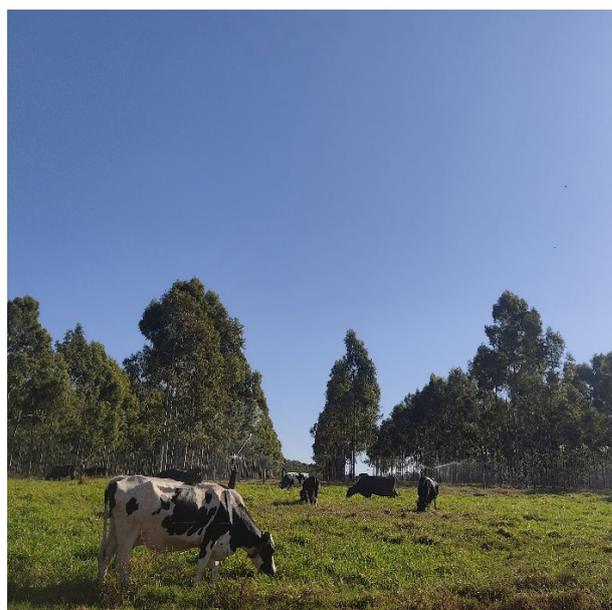


Foto: Débora Pantojo de Souza

**Figura 1.** Sistema de produção de leite em pastejo rotacionado com irrigação.

Outra dificuldade está na grande abrangência de espécies forrageiras e nos escassos estudos realizados em condições brasileiras. Além disso, nas fazendas de pecuária bovina há outras culturas produzidas para suprir a dieta dos animais, como as culturas anuais de grãos.

Por fim, pela grande diversidade climática do país, os resultados de algumas pesquisas não podem ser aplicados às regiões que possuem condições climáticas diferentes das condições em que os Kcs foram gerados, pois a ETc de uma cultura leva em conta aspectos como disponibilidade de água, tipo de solo, fatores climáticos, fenologia da planta e práticas de manejo.

Outro ponto relevante é que o Kc é uma média dos efeitos combinados da resistência estomática da planta, cobertura do solo e eficiência do uso da água, fatores que podem variar para o mesmo material genético dependendo das condições locais. Assim, para uma melhor recomendação adotou-se a Classificação Climática de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006) para agrupar e apresentar os estudos e facilitar a utilização do balanço hídrico de cultura no manejo de irrigação nas fazendas.

Este Comunicado Técnico tem o objetivo de orientar profissionais agropecuários e produtores rurais na prática do manejo de irrigação de culturas forrageiras utilizando o balanço hídrico do solo com a adoção do Kc para forragens. A publicação também objetiva reunir e apresentar os resultados de vários estudos relacionados à temática de irrigação de culturas forrageiras para servir como um referencial de consulta.

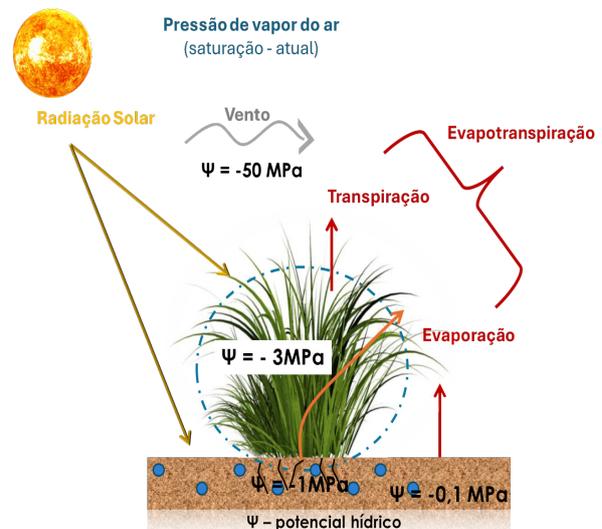
## Conceitos importantes para prática da irrigação

### Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas, dado pela diferença entre os potenciais hídricos (solo, planta e atmosfera) e a energia de evaporação advinda da radiação solar (Pereira, 2013), exemplificada na Figura 2. A evapotranspiração é dependente das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada, do suprimento de água pelo solo, da velocidade do vento e da diferença de pressão de vapor do ar (condição atual em relação ao potencial de saturação). Portanto, há diversas situações da demanda de evaporação.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um termo definido para referenciar a quantidade de água evaporada e transpirada por uma área com uma cultura hipotética em crescimento ativo, sem restrição hídrica e cobrindo totalmente o solo. Essas

características específicas fazem com que a ET<sub>o</sub> seja uma variável de referência utilizada globalmente, em



**Figura 2.** Desenho esquemático do processo de evapotranspiração.

todas as condições climáticas. Como a ET<sub>o</sub> é estimada apenas em função dos elementos meteorológicos, ela também pode ser considerada como um deles, sendo estimada com equações baseadas na temperatura do ar, na radiação solar, no déficit de pressão de vapor e na velocidade do vento. Algumas das equações para estimativas estão apresentadas a seguir, nas Equações 1 a 4. Além dessas, existem outras metodologias de estimativa e de mensuração descritas em Pereira et al. (2013).

### Equação 1 - Método do Penman-Monteith

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \frac{\gamma 900 u_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Em que:

R<sub>n</sub> - Saldo de radiação (MJ/m<sup>2</sup>d)

G - Fluxo de calor no solo = 0,03 R<sub>n</sub> (MJ/m<sup>2</sup>d)

γ - Constante psicrométrica (kPa/°C) = 0,063 kPa/°C

u<sub>2</sub> - Velocidade do vento a 2 metros (m/s)

e<sub>s</sub> - Pressão de vapor do ar saturado (kPa), com a temperatura média (T)

$$e_s = 0,6108 * 10^{\frac{(7,5 * T)}{237,3 + T}}$$

e<sub>a</sub> - Pressão atual de vapor (kPa), com a umidade relativa média do ar (UR<sub>média</sub>)

$$e_a = \frac{(UR_{med} * e_s)}{100}$$

T - Temperatura média (°C)

s - Taxa da variação de pressão de vapor do ar

(kPa/°C), considera es e T:

$$s = \frac{(4098 * e_s)}{(237,3 + T)^2}$$

Equação 2 – Método de Hargreaves & Samani: desenvolvido para a região de clima árido ou semiárido

$$ET_o = 0,0023 * Q_o * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (17,8 + T_{med}) * NDP \quad (2)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência

Q<sub>o</sub> = Irradiância solar extraterrestre (mm/d)

T<sub>max</sub> ou T<sub>min</sub> – Temperatura máxima e

Temperatura mínima do período

T<sub>med</sub> – Temperatura média do período

NDP – Número de dias do período

Equações 3 e 4 – Método de Thornthwaite-Camargo – Temperatura Efetiva

$$\text{para } 0 \leq T_{ef} < 26,5^\circ\text{C} \quad ET_o = 16 * (10 * \frac{T_{ef}}{I})^a \quad (3)$$

para T<sub>ef</sub> ≥ 26,5°C

$$ET_o = -415,85 + 32,45 * T_{ef} - 0,43 * T_{ef}^2 \quad (4)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração potencial

T<sub>m</sub> – Temperatura média mensal, para locais com

0 ≤ T<sub>m</sub> < 26,5°C

a – Expressa disponibilidade energética do local:

$$a = 0,49239 + 1,7912 * 10^{-2} * I - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 6,75 * 10^{-7} * I^3$$

I – Caracteriza o local pela temperatura média anual normal (T<sub>a</sub>):

$$I = 12 * (0,2 * T_a)^{1,514}$$

Atualmente, pelo processamento de imagens de satélite se obtém dados de evapotranspiração, em escala diária, decendial e mensais, além de outras variáveis climáticas, como precipitação pluvial, temperatura do ar, radiação do solar. Essa pode ser uma forma de aquisição de dados para regiões que não possuem dados locais de estações meteorológicas. Também existem algumas iniciativas como o Sigma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), onde é possível visualizar a previsão do tempo através dos satélites<sup>1</sup>.

Quando temos condições não-padronizadas e uma cultura específica, a evapotranspiração é

identificada como evapotranspiração de cultura (ET<sub>c</sub>), sendo definida como a quantidade de água utilizada por uma cultura em qualquer fase do seu desenvolvimento, bem suprida hidricamente. Dessa forma, a ET<sub>c</sub> varia em função do desenvolvimento da cultura e, principalmente, de sua área foliar.

### Coefficiente de Cultura (Kc)

Por definição, o coeficiente de cultura (Kc) é um fator adimensional que relaciona a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e a Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), conforme a equação abaixo.

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (5)$$

O coeficiente foi desenvolvido para facilitar a estimativa da demanda hídrica das culturas a partir dos valores de ET<sub>o</sub>. Diversos estudos foram feitos para correlacionar valores de ET<sub>c</sub> e ET<sub>o</sub> e, assim, determinar os valores de Kc, que geralmente variam de 0,10 a 1,50.

Tal como a ET<sub>c</sub>, os valores de Kc variam ao longo do ciclo da cultura. Isso pode ser visualizado de acordo com a referência de tempo utilizada nos ciclos das culturas, que pode ser: Dias Após a Semeadura (DAS), Dias Após a Emergência de plântulas (DAE), Dias Após o Corte (DAC) ou Dias Após o Pastejo (DAP). Essas correlações são práticas e de fácil adoção, porém, pode haver erros de estimativa devido às diferenças climáticas entre as diversas regiões climáticas. Muitos valores de Kc são determinados durante três a quatro fases ao longo do desenvolvimento da cultura: inicial, desenvolvimento, meio e final. Tais fases são definidas de acordo com o DAS ou DAE (Figura 3).

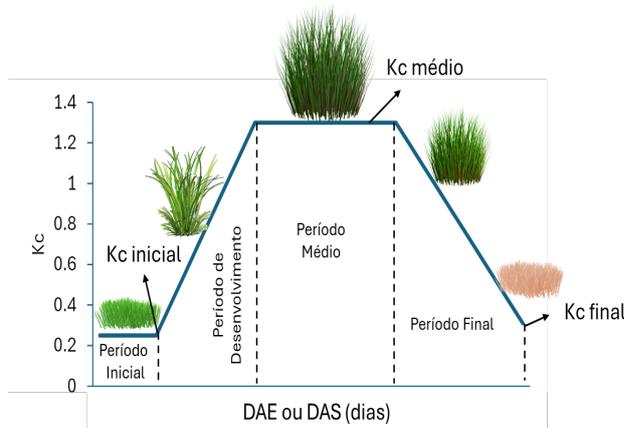


Figura 3. Modelo clássico da evolução do coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo de cultivo, baseado em Dias Após a Emergência (DAE) ou Dias Após a Semeadura (DAS).

<sup>1</sup> Disponível em: <https://sigma.cptec.inpe.br>

Outra abordagem foi adotada em trabalhos que fazem correlações entre o  $K_c$  e variáveis biométricas, tais como a altura da planta (AP) e o índice de área foliar (IAF). Neste caso, são necessárias medições dessas variáveis no campo para estimar o  $K_c$ , o que aumenta o trabalho de técnicos e produtores, caso tais medições sejam feitas in loco.

Um terceiro tipo de abordagem é o que correlaciona o  $K_c$  a uma variável climática e biológica, os graus dias de desenvolvimento (GDD). Nela são utilizados dados experimentais que relacionam o desenvolvimento da cultura e seu consumo de água à quantidade de energia disponível às culturas. A quantidade de energia que uma cultura consegue utilizar é definida em função dos limites de temperatura do ar, definidos com temperaturas base inferior ( $T_b$ ) e superior ( $T_B$ ). Tais limites são inerentes à fisiologia de cada cultura, portanto, são determinados experimentalmente. Nesse tipo de abordagem, o aumento de trabalho na propriedade é pequeno, bastando apenas aproveitar os dados de temperaturas máximas e mínimas do ar, que geralmente já são anotados.

Nesse sentido, a partir de dois modelos para determinação de  $K_c$ , um com variação constante do  $K_c$  e outra com variação senoidal dependentes dos dias de descanso de crescimento do capim Tanzânia após o pastejo, Xavier et al. (2004), propuseram um modelo logístico baseado no cálculo da unidade fototérmica (calculada pelos graus dias e o fotoperíodo) com o objetivo de calcular lâminas de irrigação para pastagem.

O manejo da irrigação pode ser realizado de diversas formas. Ao utilizar  $K_c$ , adota-se o manejo via clima, uma vez que será estimada a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) e feito o balanço hídrico de cultura em determinado período.

Os valores de coeficiente de  $K_c$  então serão originários de estudos específicos e podem ser adotados para a mesma cultura em outros locais, desde que as condições climáticas sejam semelhantes.

## Planejamento da irrigação baseada no $K_c$

Uma das formas de planejamento da irrigação é a utilização do balanço hídrico de cultura, no qual são usados valores de  $K_c$  para o cálculo da evapotranspiração de cultura ( $E_{Tc}$ ) e é calculado

o saldo de armazenamento de água no solo, por meio da diferença entre as entradas de água (chuva e irrigação) e as saídas (escoamento superficial, evapotranspiração e drenagem profunda).

No planejamento com balanço hídrico de cultura, a lâmina máxima de irrigação a ser aplicada é determinada calculando-se a Irrigação Real Necessária (IRN) e a Irrigação Total Necessária (ITN). A IRN é igual à diferença entre máximo armazenamento de água no solo ( $ARM_{máx}$ , ou armazenamento à capacidade de campo), e o armazenamento crítico ( $ARM_{crít}$ ), que é o limite de umidade do solo em que a cultura é capaz de absorver água sem estresse por déficit hídrico.

$$IRN = ARM_{máx} - ARM_{crít} \quad (6)$$

Em que,

IRN – Irrigação real necessária, mm

$ARM_{máx}$  – Armazenamento máximo de água no solo, mm

$ARM_{crít}$  – Armazenamento crítico de água no solo, mm

Outra forma de se entender a IRN é através da Capacidade Real de Água no Solo (CRA). Se o solo contém em seu armazenamento um valor menor que a CRA, necessita-se de irrigação. A lâmina de irrigação (mm) a ser aplicada será igual a quantidade de água necessária para completar o armazenamento de água no solo, considerando qual a cultura e profundidade do sistema radicular.

A ITN é a quantidade de água que deve ser retirada da fonte de água para que a planta receba a IRN, considerando as perdas no processo de irrigação, principalmente a evaporação de água. A ITN é calculada considerando-se a eficiência de aplicação do sistema de irrigação ( $E_a$ ), da seguinte forma:

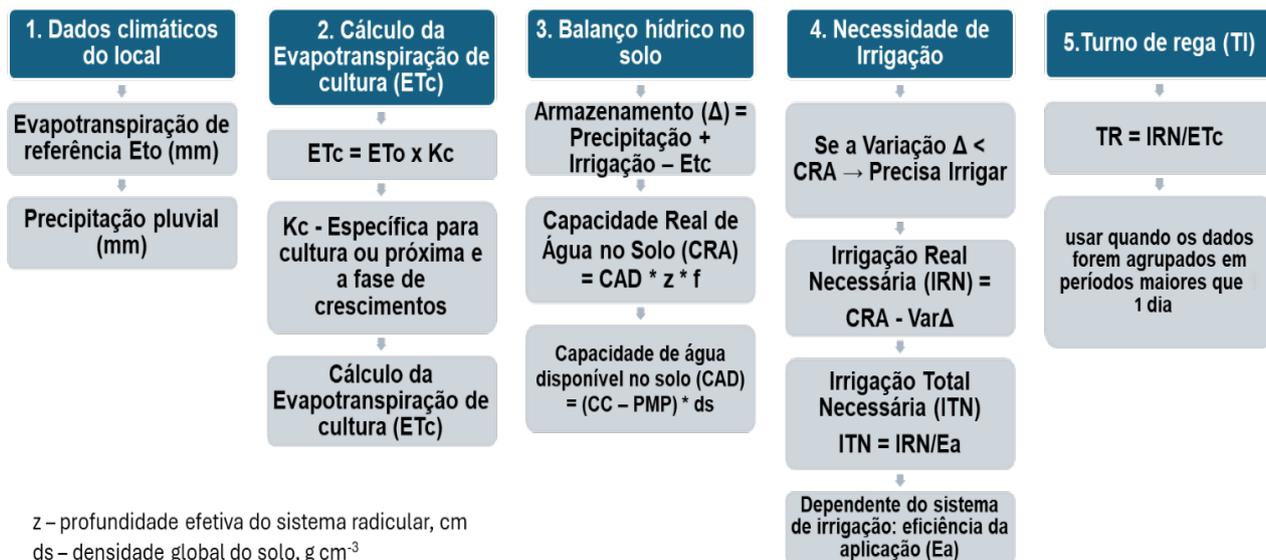
$$ITN = IRN / E_a \quad (7)$$

Em que,

ITN – Irrigação Total Necessária, mm

$E_a$  – Eficiência de aplicação do sistema de irrigação, decimal

Para facilitar a compreensão da aplicação do método, na Figura 4 apresentam-se as informações necessárias e o processo de cálculo.



z – profundidade efetiva do sistema radicular, cm  
 ds – densidade global do solo, g cm<sup>-3</sup>  
 CC – umidade do solo à capacidade de campo, g g<sup>-1</sup>  
 PMP – umidade do solo no ponto de murcha permanente, g g<sup>-1</sup>  
 f - Fator de disponibilidade ou de esgotamento de água disponível

**Figura 4.** Esquema para estimativa de necessidade de irrigação pela adoção dos Kc e do balanço hídrico de água no solo

Para o cálculo da necessidade de irrigação são necessários os valores da ETo e precipitação pluvial (PP) do local. Esses dados podem ser obtidos em estações meteorológicas, que podem estar na própria fazenda ou pertencer a redes nacionais de estações, tais como o Sistema Agritempo<sup>2</sup> e o Banco de Dados Meteorológicos do Inmet<sup>3</sup>.

De posse dos valores, é necessário definir o intervalo de tempo que será utilizado nos cálculos. Para o balanço hídrico de cultura, os mais utilizados são: diário, semanal e decendial. Esse período também definirá o turno de rega e todas as outras medições. O turno de rega é influenciado pela quantidade de água necessária calculada e a ETc diária.

A ETc será calculada segundo a Equação 1, adotando-se os Kc conforme a cultura e a fase de crescimento. Os valores de ETc são considerados como saída do balanço hídrico e os valores de entrada são considerados a PP e a irrigação.

Além dos dados climáticos, será necessário o valor da capacidade de água disponível no solo (CAD) da área a ser irrigada. Para o cálculo da CAD é necessário realizar em laboratório as

análises de densidade de solo (ds, g cm<sup>-3</sup>), umidade na capacidade de campo (CC, g g<sup>-1</sup>) e ponto de murcha permanente (PMP, g g<sup>-1</sup>). Dependendo da caracterização do perfil do solo, esses valores podem estar disponíveis na literatura técnico-científica.

Uma das formas de calcular a CAD é considerando a água disponível (AD) e a profundidade das raízes, a AD pode ser estimada com as frações de silte, argila e areia no do solo. Com a nova atualização do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), foi lançado uma calculadora para AD<sup>4</sup> (Araujo Filho et al. (2022) propuseram valores médios de AD para diferentes tipos de solo e equações de estimativa de AD pelas características do solo.

Os parâmetros citados acima são importantes para verificar a capacidade real de água no solo (CRA). Além disso, a CRA considera a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (z) e o fator de disponibilidade ou de esgotamento de água disponível (f). O valor de z varia segundo os estágios de desenvolvimento da cultura e o fator f depende da classificação da cultura e da ETc (Tabela 1).

<sup>2</sup> Disponível em: Agritempo: <https://www.agritempo.gov.br/br/>

<sup>3</sup> Disponível em: Inmet: <https://bdmep.inmet.gov.br/>

<sup>4</sup> Disponível em: (<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacionalde-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/classificacao-de-solo>).

A necessidade de irrigação é verificada conforme o armazenamento de água no solo ( $\Delta$ ); se for menor que a CRA, necessita-se irrigar. A Irrigação Real necessária (IRN) será igual à diferença entre a CRA e a variação no armazenamento ( $\Delta$ ), desconsiderando a probabilidade de ocorrência de chuva.

O cálculo da Irrigação Total Necessária (ITN) considera a eficiência de aplicação do sistema de irrigação ( $E_a$ ) e o turno de rega (TR), que também pode ser definido de acordo com a ETC.

Na Figura 5 é apresentado um exemplo de cálculo da lâmina de irrigação baseado em  $K_c$ , considerando as seguintes características:

- Localidade: São Carlos/SP
- Dados climáticos:  $E_{To}$  e precipitação pluvial (PP)
- Turno de rega (irrigação): 7 dias
- CAD do solo = 85 mm/m
- Cultura: capim Marandu
- $K_c$  adotado = 0,90
- Eficiência de aplicação da irrigação ( $E_a$ ) = 80%

**Tabela 1.** Fator de disponibilidade ou de esgotamento de água disponível (f) para diferentes grupos de culturas e faixas de Evapotranspiração de cultura (ETC).

Fator de disponibilidade ou de esgotamento de água disponível (f)										
Classificação		ETC (mm dia <sup>-1</sup> )								
Grupo	Culturas	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Batata, Cebola, Pimentão	0,50	0,43	0,30	0,30	0,25	0,23	0,20	0,20	0,18
2	Banana, ervilha repolho, tomate, uva	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,23
3	Alfafa, amendoim, citros, feijão, girassol, trigo	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,43	0,38	0,35	0,30
4	Algodão, cana de açúcar, milho, pastagem soja, sorgo	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,43	0,40

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

Dia	$E_{To}$	$K_c$	$E_{Tc}$	PP	I	$\Delta = (PP+I)-E_{Tc}$	Varição $\Delta$	Fator "f"	z	CRA	Irrigação	Lâmina	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		adm	(m)	(mm)	1 - SIM 2 - NÃO	(mm)	
0 (irrigação anterior)	3.90	0.90	3.51	0	35	31.49	31.49	0.7	0.45	26.8	2	0.0	
1	3.88	0.90	3.49	0.00	0	-3.49	28.00	0.7	0.45	26.8	2	0.0	
2	3.57	0.90	3.21	5.00	0	1.79	29.79	0.7	0.45	26.8	2	0.0	
3	3.99	0.90	3.60	0.00	0	-3.60	26.19	0.7	0.45	26.8	1	0.6	
4	2.51	0.90	2.26	0.00	0	-2.26	23.93	0.8	0.45	30.6	1	6.7	
5	4.24	0.90	3.81	4.00	0	0.19	24.12	0.7	0.45	26.8	1	2.7	
6	4.40	0.90	3.96	0.00	0	-3.96	20.16	0.7	0.45	26.8	1	6.6	
7 (irrigação atual)	1.86	0.90	1.68	0.00	0	-1.68	18.48	0.88	0.45	33.7	1	15.2	
											$\Sigma$ IRN	31.7	(mm)
											ITN	39.6	(mm)
CAD (mm/m)		85											
$E_a$ (%)		80											

**Figura 5.** Exemplo de planilha para cálculo da Irrigação Real Necessária (IRN) e Irrigação Total Necessária (ITN) considerando o método de balanço hídrico de cultura. Sigla:  $E_{To}$  = Evapotranspiração de referência;  $K_c$  = coeficiente de cultura;  $E_{Tc}$  = Evapotranspiração de cultura; PP = precipitação pluvial; I = irrigação;  $\Delta$  = armazenamento de água no solo; z = profundidade do sistema radicular; CRA = Capacidade Real de água no solo.

Para melhor entendimento, serão descritos o processo de cálculo do dia zero ao dia 1:

i. Dia zero: Tendo como base o valor da  $E_{To} = 3,9$  mm e o  $K_c = 0,90$ ; o valor da  $E_{Tc}$  para esse dia foi de  $= 3,9 \times 0,9 = 3,51$  mm; considerando que

nesse mesmo dia a Irrigação foi realizada com 35 mm (considerando hipoteticamente a necessidade dos 7 dias anteriores), dessa forma o armazenamento de água no solo ( $\Delta$ ) =  $35 - 3,51 = 31,49$  mm e a variação no armazenamento (Variação  $\Delta$ ) com o mesmo valor.

Dia	$E_{To}$	$K_c$	$E_{Tc}$	PP	I	$\Delta = (PP+I)-E_{Tc}$	Variação $\Delta$	Fator "f"	z	CRA	Irrigação	Lâmina
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		adm	(m)	(mm)	1 - SIM 2 - NÃO	(mm)
0 (irrigação anterior)	3.90	0.90	3.51	0	35	31.49	31.49	0.7	0.45	26.8	2	0.0

ii. Dia 1:  $E_{To} = 3,88$  mm;  $K_c = 0,90$ ;  $E_{Tc} = 3,88 \times 0,90 = 3,49$  mm;  $\Delta = -3,49$  mm; variação  $\Delta = 31,49 + (-3,49) = 28$  mm; considerando o fator "f" e a profundidade das raízes 'z', o  $CRA = 26,8$ , ou seja, menor que a Variação  $\Delta$  (28,00), assim não há necessidade de irrigação.

Dia	$E_{To}$	$K_c$	$E_{Tc}$	PP	I	$\Delta = (PP+I)-E_{Tc}$	Variação $\Delta$	Fator "f"	z	CRA	Irrigação	Lâmina
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		adm	(m)	(mm)	1 - SIM 2 - NÃO	(mm)
0 (irrigação anterior)	3.90	0.90	3.51	0	35	31.49	31.49	0.7	0.45	26.8	2	0.0
1	3.88	0.90	3.49	0.00	0	-3.49	28.00	0.7	0.45	26.8	2	0.0

iii. O cálculo segue semelhante nos próximos dias, a partir do terceiro dia haverá necessidade de irrigação, pois a Variação  $\Delta < CRA$ , porém como a irrigação é realizada a cada 7 dias, a necessidade será calculada acumulando a necessidade diária ( $\sum IRN$ ) e considerando a Eficiência de aplicação ( $E_a$ ) para cálculo da Irrigação total necessária (ITN).  $IRN = 31,7 \times 0,80 = 39,6$  mm.

### Recomendações de $K_c$

Na Tabela 2 são apresentadas informações de trabalhos nacionais e internacionais com determinação de coeficientes de cultura ( $K_c$ ). Os trabalhos realizados fora do Brasil foram considerados por serem desenvolvidos em locais com semelhança climatológica a regiões brasileiras, para essa categorização utilizou-se as siglas da Classificação climática de Köppen-Geiger descritas na Figura 6.

Por falta de informação para grande diversidade de espécies de forrageiras mais utilizadas no Brasil, os valores de  $K_c$  das pastagens tropicais foram divididas em três grupos principais, cada um subdividido de acordo com espécies de pastagens e as informações das cultivares com relação ao hábito de crescimento, comprimento e largura das folhas, ciclo de florescimento e altura da planta, disponíveis no aplicativo Pasto Certo® (Barrios et al., 2024).

1. Pastagens tropicais de porte baixo, com hábito de crescimento prostado com sistema de ramificações por estolões ou rizomas, exemplo: capins Tifton, Jiggs, Coastcross (gênero *Cynodon*).

2. Pastagens tropicais de porte médio (até por volta de 60 cm), com hábito de crescimento Intermediário, prostado ou semiereto apresentando folhas de largura média, os valores de  $K_c$  apresentados podem ser utilizados para:

- Braquiária Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu)
- BRS Ipyporã (*Urochloa* spp. cv. BRS Ipyporã Híbrido)
- BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás)
- BRS Piatã (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã)
- MG-5 Vitória (*Urochloa brizantha* cv. MG-5 Vitória)
- Xaraés (*Urochloa brizantha* cv. Xaraés)
- Humidicola (*Urochloa dictyoneura*)
- Ruzizensis (*Urochloa ruzizensis* cv. BRS Integra ou cv. Kennedy)

3. Pastagens tropicais de porte médio/alto (1 a 1,5 m), com hábito de crescimento cespitoso, apresentando folhas de comprimento médio/longo e mais largas do que o grupo 2, colmos com grande alongamento, os valores de  $K_c$  apresentados podem ser utilizados para:

- BRS Kurumi (*Pennisetum purpureum* (Sin. *Cenchrus purpureus* cv. BRS Kurumi)
- BRS Quênia (*Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia)
- BRS Tamani (*Megathyrsus maximus* cv. BRS Tamani)
- BRS Zuri (*Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri)
- BRS Capiçu ou Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*)
- Massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) mais baixo
- Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça)
- Paredão (*Megathyrsus maximus* cv. Paredão)
- Tanzânia (*Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia)
- Tobiatã (*Megathyrsus maximus* cv. Tobiatã)

**Tabela 1.** Fator de disponibilidade ou de esgotamento de água disponível (f) para diferentes grupos de culturas e faixas de Evapotranspiração de cultura (ETc).

Tipo	Nome comum	Nome científico	Referência da Publicação	Local do estudo	Classificação climática de Köppen-Geiger	Valores de Kc				Observação
						Kc inicial	Kc médio 1	Kc médio 2	Kc final	
Pastagem tropical Grupo 1	Tifton	<i>Cynodon spp.</i>	Sanches et al. (2019)	Piracicaba, São Paulo, Brasil	Cwa	0,85	0,93	0,93	1,03	Primavera/verão
						0,78	0,84	1,01	1,00	Outono/inverno
				Paredes et al. (2018)	Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil	Cfa	0,86	0,90	0,93	
Pastagem tropical Grupo 2	Marandu	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	Souza et al. (2021)	Piracicaba, São Paulo, Brasil	Cwa	0,51	0,75	0,9	0,85	Primavera/verão
						0,69	0,80	0,7	0,45	Outono/inverno
						0,66	0,84	0,95	0,90	Sobressemeadura com aveia preta e azevém
Pastagem tropical Grupo 3	Mombaça	<i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça	Sanches et al. (2019)	Piracicaba, São Paulo, Brasil	Cwa	0,81	0,96	1,2	1,12	Primavera/verão
						0,94	1,11	1,17	1,16	Outono/inverno
Outras pastagens	Capim Sudão	<i>Sorghum sudanense</i>	Cabral (2018)	Alegrete, Rio Grande do sul, Brasil	Cfa	0,50	0,93	1,03	0,73	
	Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Rao et al. (2012)	Vasad Gujarat, Índia	Aw	0,33	0,42	0,73	0,42	
Pastagem de clima temperado	Trevo branco	<i>Trifolium repens</i>	Bethune e Wang (2004)	Melbourne, Victoria, Austrália	Cfb	0,80	1,04	0,80		
	Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	Luz et al. (2008)	Pirassununga, São Paulo, Brasil	Cwa	0,50				
		<i>Avena strigosa</i>	Ferreira et al. (1991)	Viçosa, Minas Gerais, Brasil	Cwa	0,29	0,58	0,84	1,53	
	Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	Attarod et al. (2009)	Fuchu, Tokyo, Japão	Cfa		Kc médio = 0,65			
		<i>Lolium perene</i>	Birendra et al. (2018)	Nova Zelândia	Cfb		Kc = 0,02*h + 0,38			h - Altura de planta

Continuação Tabela 1

Tipo	Nome comum	Nome científico	Referência da Publicação	Local do estudo	Classificação climática de Köppen-Geiger	Valores de Kc				Observação
						Kc inicial	Kc médio 1	Kc médio 2	Kc final	
Palma forrageira	IPA Sertânia (IPA)	<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck	Pinheiro et al. (2024)	Serra Talhada, Pernambuco, Brasil	BSh	0,80	0,80	0,80	0,80	
	Miúda (MIU) Orelha de Elefante Mexicana (OEM)	<i>Nopalea cochenillifera</i> (L.) Salm-Dyck <i>Opuntia stricta</i>	Pinheiro et al. (2024)	Serra Talhada, Pernambuco, Brasil	BSh	0,80	0,80	0,80	0,80	
	Orelha de Elefante Mexicana (OEM)	<i>Opuntia stricta</i>	Alves et al. (2019)	Serra Talhada, Pernambuco, Brasil	BSh	0,40	0,68	0,90	0,52	Consórcio com sorgo cv. SF-15
	forage cactus	<i>Opuntia stricta</i>	Andrade et al. (2024)	Parnamiri, Pernambuco, Brasil	BSh	0,52	0,52	0,52	0,52	Consórcio com gliricídia e moringa
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i> (L.)	Suleiman et al. (2013)	Griffin, Georgia, EUA	Cfa	0,92	1,15	0,60			
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Guerra et al. (2003)	Planaltina, DF, Brasil	Aw	$Kc = 0,4026 + 0,0508 \cdot DAE - 0,0005 \cdot DAE^2$				DAE – Dias após emergência	
Outras culturas utilizadas na alimentação animal	Algodão	<i>Gossypium hirsutum</i>	Li et al. (2018) e Luo et al. (2022)	Nanchang, Jiangxi Province, China	Cfa	1,03	1,02	0,70		Cultivar precoce
			Li et al. (2018) e Luo et al. (2022)	Nanchang, Jiangxi Province, China	Cfa	1,08	1,42	0,66		Cultivar tardia
	Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Rodrigues et al. (2004) e Arf et al. (2015)	Selviria, Mato Grosso do Sul, Brasil	Aw	0,40	0,70	1,00	0,85	
			Petry et al. (2024)	Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil	Cfa	0,70	1,13	0,87		
	Cana-de-açúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Ko et al. (2009)	Uvalde, Texas, EUA	Cfa	$Kc = 0,35 - 2,01 \cdot 10^{-3} \cdot DAP + 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot DAP^2 - 1,67 \cdot 10^{-6} \cdot DAP^3$				DAP – Dias após o plantio
			Bezerra et al. (2008)	Apodi, Rio Grande do Norte, Brazil	BSh	0,75	1,09	0,80		
			Carmo et al. (2017)	Vale do São Francisco, Pernambuco, Brasil	BSh	0,55	0,83	0,87	0,52	
			Dingre e Gorantiwar (2020)	Maharashtra state, India	BSh	0,40	0,70	1,20	0,78	
	Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Silva et al. (2013)	Paraíba, Brazil	BSh	0,18	0,74	1,06	0,76	
			Avilez et al. (2018)	Andradina e Rubineia, SP	Aw	$Kc = -0,00001 \cdot DAP + 0,0054 \cdot DAP + 0,5828$				DAP – Dias após o plantio
Milho	<i>Zea mays</i>	RAO et al. (2012)	Vasad Gujarat, India	Aw	0,33	0,42	0,73	0,42		
Milho	<i>Zea mays</i>	Souza et al. (2015)	Petrolina, Pernambuco, Brasil	BSh	0,9	1,3	1,2	0,72		
		Piccinni et al. (2009)	Uvalde, Texas, EUA	Cfa	$Kc = 0,36 - 8,98 \cdot 10^{-3} \cdot DAP + 4,02 \cdot 10^{-4} \cdot DAP^2 - 2,42 \cdot 10^{-6} \cdot DAP^3$				DAP – Dias após o plantio	

Continuação Tabela 1

Tipo	Nome comum	Nome científico	Referência da Publicação	Local do estudo	Classificação climática de Köppen-Geiger	Valores de Kc				Observação
						Kc inicial	Kc médio 1	Kc médio 2	Kc final	
Outras culturas utilizadas na alimentação animal			Andrioli e Sentelhas (2009)	Cascavel, Londrina e Ponta Grossa, Paraná; Piracicaba, São Paulo Inhaúma, Lavras e Sete Lagoas Minas Gerais; Santa Helena de Goiás e Senador Canedo, Goiás	Cfa-Cascavel, Londrina e Ponta Grossa; Cwa-Piracicaba; Cwb-Lavras; Cwa-Inhaúma e Sete Lagoas; Aw - Santa Helena do Goiás e Senador Caendo	0,56	1,20	0,60		
			Rezende et al. (2017)	Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil	Am	0,52	1,17	0,65		
			Santos et al. (2014)	Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil	BSh	0,50	0,64	1,12	1,10	
			Guerra et al. (2003)	Planaltina, DF, Brasil	Aw	$Kc = -1,3554 + 0,0733 * DAE - 0,00045 * DAE^2$				DAE – Dias após emergência
	Milho silagem		Martins et al. (2013)	Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil	Cfa	0,20	1,13	0,80		
	Soja grão	<i>Glycine max</i>	Moreira et al. (2015)	Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil	Cfa	0,56	1,07	0,53		
			Antonello (2019)	Júlio de Castilho, Rio Grande do Sul, Brasil	Cfa	0,50	1,07	0,45		
			Bariviera et al. (2020)	Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil	Aw	0,6	1,102	0,93		
	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	Piccinni et al. (2009)	Uvalde, Texas, EUA	Cfa	$Kc = 0,32 + 3,28 * 10^{-3} * DAP + 5,49 * 10^{-5} * DAP^2 - 4,10 * 10^{-7} * DAP^3$				DAP – Dias após o plantio
			Tyagi et al. (2000)	Karnal India	BSh	0,53	0,82	1,24	0,85	
			Negash et al. (2023)	Melkassa Ethiopia.	Cwa	0,55	1,15	0,59		
	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> BRS Tarumã, BRS Figueira, BRS Umbu, BRS Guatambu, BRS Pastoreio	Ko et al. (2009)	Uvalde, Texas, EUA	Cfa	$Kc = 0,75 - 0,02 * 10^{-3} * DAP + 3,66 * 10^{-4} * DAP^2 - 1,54 * 10^{-6} * DAP^3$				DAP – Dias após o plantio
	<i>Triticum aestivum</i> L	Noreto et al. (2020)	Cascavel e Palotina, Paraná, Brasil	Cfa	0,35	0,68	1,10	0,71		

**Continuação Tabela 1**

Tipo	Nome comum	Nome científico	Referência da Publicação	Local do estudo	Classificação climática de Köppen-Geiger	Valores de Kc				Observação
						Kc inicial	Kc médio 1	Kc médio 2	Kc final	
Outras culturas utilizadas na alimentação animal		<i>Triticum aestivum L</i>	Pereira et al. (2023)	Maringá, Paraná, Brasil	Cfa	0,67	1,01	0,70	0,79	
		<i>Triticum aestivum L</i>	Pereira et al. (2023)	Piracicaba, São Paulo, Brasil	Cwa	0,81	1,15	1,08	1,01	
		<i>Triticum aestivum L</i>	Pereira et al. (2023)	Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil	Aw	1,19	1,28	0,86	1,11	
		<i>Triticum aestivum L</i>	Pereira et al. (2023)	Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil	Aw	1,19	1,24	1,17	1,20	
		<i>Triticum aestivum L</i>	Guerra et al. (2003)	Planaltina, DF, Brasil	Aw	0,7	1,57	0,60	0,95	

**Tabela 3.** Caracterização da classificação climática de Köppen-Geiger.

1ª Categoria	2ª Categoria	3ª Categoria	Sigla Classificação
Topical (A)		Sem estação seca (f)	Af
Temperatura média do mês mais frio > 18°C		Monção (m)	Am
		Com verão seco (s)	As
		Com inverno seco (w)	Aw
Seco (B)	Semiárido(S)	Baixa latitude e altitude (h)	BSh, BSk
Cálculo da relação de chuva e temperatura	Árido (W)	Média latitude e alta altitude (k)	BWh, BWk
Subtropical húmido (C)			
Com temperatura média do mês mais frio entre -3°C e 18°C	Clima oceânico sem estação seca (f)	Com verão quente (a)	Cfa, Cfb, Cfc
	Com inverno seco (w)	Com verão temperado (b)	Cwa, Cwb, Cwc
	Com verão seco (s)	Com curto período fresco no verão (c)	Csa, Csb, Csc
Temperado Continental (D)			
Temperatura média do mês mais frio entre <-3°C e do mais quente > 10°C	Sem estação seca (f)	Com verão quente (a)	Dfa, Dfb, Dfc, Dfd
	Sem inverno seco (w)	Com verão temperado (b)	Dwa, Dwb, Dwc, Dwd
	Sem verão seco (s)	Com curto período fresco no verão (c)	Dsa, Dsb, Dsc, Dsd
		Com inverno muito frio (d)	
Polar (E)			
Temperatura média < 10°C em todos os meses	Tundra (T)		ET
	0° < Tmédia < 10°C		EF
	Congelado (F)		
	Tmédia < 0°C		

## Considerações finais

Orientações práticas e acessíveis sobre o manejo de irrigação para culturas forrageiras, baseadas na utilização do balanço hídrico de cultura, associadas ao uso de coeficientes de cultura (Kc), irão auxiliar técnicos e produtores rurais a tomar decisões assertivas, pois a implementação da técnica de irrigação ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de disseminação de informações técnico-científicas e a variabilidade das condições climáticas.

Ao adotar a classificação climática de Köppen-Geiger para organizar e aplicar os estudos existentes, busca-se facilitar a adoção às diferentes realidades das fazendas brasileiras, promovendo uma irrigação mais eficiente.

É essencial que haja um esforço contínuo no desenvolvimento de estudos que considerem as condições locais, além do aprimoramento das técnicas de geoprocessamento e acesso mais facilitado aos dados, para que as práticas de manejo de irrigação em sistemas pecuários possam ser continuamente aprimoradas e ajustadas, garantindo a conservação dos recursos naturais.

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; SNYDER, R.; ITENFISU, D.; STEDUTO, P.; BERENGENA, J.; YRISARRY, J. B.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; PERRIER, A.; ALVES, I.; WALTER, I.; ELLIOTT, R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v. 81, n. 1-2, p. 1-22, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.007>. Acesso em: 3 dez. 2024.
- ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. da R. F.; SOUZA, L. S. B. de; CRUZ NETO, J. F. da; SANTOS, J. P. A. de S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347-356, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>. Acesso em: 6 set. 2024.
- AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. de C.; GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no noroeste paulista. **IRRIGA**, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- ANDRADE, O. B. de; MONTENEGRO, A. A. de A.; SILVA NETO, M. A. de; SOUSA, L. de B. de; ALMEIDA, T. A. B.; LIMA, J. L. M. P. de; CARVALHO, A. A. de; SILVA, M. V. da; MEDEIROS, V. W. C. de; SOARES, R. G. F.; SILVA, T. G. F. da; VILAR, B. P. UAV-Based Classification of Intercropped Forage Cactus: A Comparison of RGB and Multispectral Sample Spaces Using Machine Learning in an Irrigated Area. **AgriEngineering**, v. 6, n. 1, p. 509-525, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriengineering6010031>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- ANDRIOLI, K. G.; SENTELHAS, P. C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 653-660, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38079/1/44n07a01.pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.
- ANTONELLO, M. C. **Simulação do balanço hídrico e rendimento de grãos da soja em condições irrigada e de sequeiro no Rio Grande do Sul**. 2019. 66 f. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/23636>. Acesso em: 29 out. 2024.
- ARAUJO FILHO, J. C. de; BARROS, A. H. C.; GALVÃO, P. V. M.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, E. de P.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; XAVIER, J. P. de S.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; BACA, J. F. M.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; OLIVEIRA, F. C. S. F. de; SILVA FILHO, A. D. da; BARROS, J. P. F. G. **Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 282). E-book no formato ePub. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1143345>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; NASCENTE, A. S.; LACERDA, M. C. Espaçamento e adubação nitrogenada afetando o desenvolvimento do arroz de terras altas sob plantio direto. **Ceres**, v. 62, n. 5, p. 475-482, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1026153>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- ATTAROD, P.; AOKI, M.; BAYRAMZADEH, V. Measurements of the actual evapotranspiration and crop coefficients of summer and winter seasons crops in Japan. **Plant, Soil and Environment**, v. 55, n. 3, p. 121-127, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/324-PSE>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- BARIVIERA, G.; DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L. de; BARBIERI, J. D.; DANIEL, D. F. Dual crop coefficient for the early-cycle soybean cultivar SoyTech 815 RR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 75-81, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p75-81>. Acesso em: 25 out. 2024.

- BARRIOS, S. C. L.; CARROMEU, C.; BARRIGOSSE, F. F.; MARTUSCELLO, J. A.; CUNHA, D. de N. F. V. da; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; MATSUBARA, E. T.; SILVA, M. A. I. da. **Pasto Certo - versão 4.0**: aplicativo para dispositivos móveis e desktop sobre forrageiras tropicais. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2024. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 171). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1166788/1/Pasto-Certo.pdf>. Acesso em: 1 set. 2024.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da; FERREIRA, N. J. Estimativa da Evapotranspiração diária utilizando-se imagens digitais TM-Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000300005>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- BETHUNE, M.; WANG, Q. J. A lysimeter study of the water balance of border-check irrigated perennial pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 2, p.151-162, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/EA03049>. Acesso em: 2 out. 2024.
- CABRAL, M. C. D. **Resposta do capim Sudão irrigado na região fronteira oeste do Rio Grande do Sul**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Alegrete, Alegrete.
- CARMO, J. F. A. do; MOURA, M. S. B. de; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, L. S. B. de; LEITÃO, M. de M. V. B. R. Balanço de energia e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar por dois métodos micrometeorológicos. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 101-111, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1075029>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- DINGRE, S. K.; GORANTIWAR, S. D. Determination of the water requirement and crop coefficient values of sugarcane by field water balance method in semiarid region. **Agricultural Water Management**, v. 232, 106042, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106042>. Acesso em: 10 set. 2024.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da agua no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- FERREIRA, E. J.; BERNARDO, S.; SEDYAMA, G. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do N.; SOARES, A. A. Evapotranspiração (ETc) e coeficiente de cultura (kc) da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) irrigada. **Revista Ceres**, v. 38, n. 215, p. 25-35, 1991.
- GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; EVANGELISTA, W. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/568970/1/bolpd100.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- BIRENDRA, K. C.; MOHSEN, M.; CHAU, H. W.; CURTIS, A.; CUENCA, R.; BRIGHT, J.; SRINIVASAN, M. S.; HU, W.; CAMERON, K. Impact of rotational grazing systems on the pasture crop coefficient for irrigation scheduling. **Irrigation and Drainage**, v. 67, n. 3, p. 441-453, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ird.2210>. Acesso em: 4 nov. 2024.
- KO, J.; PICCINNI, G.; MAREK, T.; HOWELL, T. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (Kc) of cotton and wheat. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 12, p. 1691-1697, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.023>. Acesso em: 12 set. 2024.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- LI, D.; CHEN, J.; LUO, Y.; LIU, F.; LUO, H.; XIE, H.; CUI, Y. Short-term daily forecasting of crop evapotranspiration of rice using public weather forecasts. **Paddy and Water Environment**, v. 16, n. 3, p. 397-410, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10333-018-0633-3>. Acesso em: 11 set. 2024.
- LUO, W.; CHEN, M.; KANG, Y.; LI, W.; LI, D.; CUI, Y.; KHAN, S.; LUO, Y. Analysis of crop water requirements and irrigation demands for rice: Implications for increasing effective rainfall. **Agricultural Water Management**, v. 260, 107285, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107285>. Acesso em: 21 out. 2024.
- LUZ, P. H. de C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; NOGUEIRA FILHO, J. C. M.; FARIA, L. de A.; LIMA, C. G. de. Resposta da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb Schreb) à irrigação por aspersão e adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 421-426, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i3.3555>. Acesso em: 8 dez. 2024.

- MARTINS, J. D.; RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; PEREIRA, L. S. Dual crop coefficients for maize in southern Brazil: Model testing for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**, v. 115, n. 3, p. 291-310, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.03.016>. Acesso em: 29 out. 2024.
- MOREIRA, V. S.; ROBERTI, D. R.; MINELLA, J. P.; GONÇALVES, L. G. G. de; CANDIDO, L. A.; FIORIN, J. E.; MORAES, O. L. L.; TIMM, A. U.; CARLESSO, R.; DEGRAZIA, G. A. Seasonality of soil water exchange in the soybean growing season in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 2, p. 103-113, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0056>. Acesso em: 28 out. 2024.
- NEGASH, T. W.; BAYISA, G. D.; TEFERA, A. T.; BIZUNEH, K. T.; DINKU, A. G.; AWULACHEW, T. W.; BIKELA, G. A. Evapotranspiration and Crop Coefficient of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at Melkassa Farmland, Semi-Arid Area of Ethiopia. **Air, Soil and Water Research**, v. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/11786221231184206>. Acesso em: 30 out. 2024.
- NORETO, L. M.; ROSA, S. L. K.; SOUZA, J. L. M. de; KLOSOWSKI, É. S.; TSUTSUMI, C. Y.; FRANCO, F. de A. Yield components and crop estimation for wheat cultivars at different sowing times. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 4, p. 62-77, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i4.25440>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- PAREDES, P.; PAREDES, P.; SANTO, D. S.; SALMAN, M. Evapotranspiration partition and crop coefficients of Tifton 85 bermudagrass as affected by the frequency of cuttings. Application of the FAO56 dual Kc model. **Water**, v. 10, n. 5, 558, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.3390/w10050558>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- PEREIRA, R. A. A.; SILVA, E. H. F. M.; GONÇALVES, A. O.; VIANNA, M. S.; SILVA, T. J. A.; FENNER, W.; VIEIRA, P. V. D.; MARIN, F. R. Winter wheat evapotranspiration and irrigation requirements across tropical and sub-tropical producing regions in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 151, n. 1-2, p. 375-388, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04282-3>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. (ed.). **Evapotranspiração**. Campinas, SP: Fundag, 2013.
- PETRY, M. T.; TONETTO, F.; MARTINS, J. D.; SLIM, J. E.; WERLE, R.; GONÇALVES, A. F.; PAREDES, P.; PEREIRA, L. S. Evapotranspiration and crop coefficients of sprinkler-irrigated aerobic rice in southern Brazil using the SIMDualKc water balance model. **Irrigation Science**, v. 42, 0123456789, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00917-7>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- PICCINNI, G.; KO, J.; MAREK, T.; HOWELL, T. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (KC) of maize and sorghum. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 12, p. 1698-1704, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.024>. Acesso em: 18 out. 2024.
- PINHEIRO, J. C.; SILVA, L. J. V.; LOPES, B. K. A.; FERREIRA, N. L.; FONSECA, K. S.; BRITO, F. A. L. de; SILVA, T. G. F. da; BRITO, A. M. S. S.; SILVA, I. D. de L.; VINHAS, G. M.; SIMÕES, A. do N. Effects of cactus pear clone harvest seasons and times on the physicochemical and technological properties of resulting mucilage and biopolymeric films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 257, pt. 1, 128374, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128374>. Acesso em: 3 out. 2024.
- RAO, B. K.; KUMAR, G.; KUROTHE, R. S.; PANDEY, V.; MISHRA, P. K.; VISHWAKARMA, A. K.; BARAIYA, M. J. Determination of crop coefficients and optimum irrigation schedules for bidi tobacco and pearl millet crops in central Gujarat. **Journal of Agrometeorology**, v. 14, n. 2, p. 123-129, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.54386/jam.v14i2.1407>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- REZENDE, M. K. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FREITAS, P. S. L. de; ARAÚJO, A. L. F. de; SOUZA, C. H. M. de. Coeficiente de cultivo dual (Ke E Kcb) do milho safrinha para região de Dourados-MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20.; SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 5., 2017, Juazeiro. **A agrometeorologia na solução de problemas multiescala: anais**. Petrolina: Embrapa Semiárido: Univasf, 2017. p. 2876-2879. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1081115>. Acesso em: 25 ago. 2024.
- RODRIGUES, R. A. F.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Manejo de água em arroz de terras altas no sistema de plantio direto, usando o tanque classe A. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 546-556, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000300007>. Acesso em: 26 out. 2024.
- SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P. de; JESUS, F. L. F. de; MENDONÇA, F. C.; GOMES, E. P. Crop coefficients of tropical forage crops, single cropped and overseeded with black oat and ryegrass. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 6, p. 448-458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0386>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- SANTOS, W. de O.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDEIROS, J. F. de; MOURA, M. S. B. de; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do Semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 559-572, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1006618>. Acesso em: 26 set. 2024.

SILVA, V. de P. R. da; SILVA, B. B. da; ALBUQUERQUE, W. G.; BORGES, C. J. R.; SOUSA, I. F. de; DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 128, p.102-109, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.007>. Acesso em: 11 out. 2024.

SOUZA, D. P. de; SANCHES, A. C.; MENDONÇA, F. C.; PILAU, F. G.; JESUS, F. L. F. de. Crop coefficient of marandu palisade grass: an approach involving leaf area index and canopy height. **Irriga**, v. 26, n. 4, p. 924-937, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n4p924-937>. Acesso em: 23 nov. 2024.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Water requirement and crop coefficient of maize and cowpea in sole and intercropping systems. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n417rc>. Acesso em: 14 set. 2024.

SULEIMAN, A. A.; SOLER, C. M. T.; HOOGENBOOM, G. Determining FAO-56 crop coefficients for peanut under different water stress levels. **Irrigation Science**, v. 31, n. 2, p. 169-178, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0301-5>. Acesso em: 10 jul. 2024.

TYAGI, N. K.; SHARMA, D. K.; LUTHRA, S. K. Evapotranspiration and Crop Coefficients of Wheat and Sorghum. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 215-222, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(215\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(215)). Acesso em: 31 out. 2024.

XAVIER, A. C.; COELHO, R. D.; LOURENÇO, L. F.; MACHADO, R. E. Manejo da irrigação em pastagem irrigada por pivô-central pastagem irrigada por pivô-central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 233-239, 2004.

#### Embrapa Pecuária Sudeste

ERod. Washinton Luiz, Km 234  
13560-970 São Carlos, SP  
[www.embrapa.br/pecuaria-sudeste](http://www.embrapa.br/pecuaria-sudeste)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações

Presidente: *André Luiz Monteiro Novo*

Secretário-executivo: *Luiz Francisco Zafalon*

Membros: *Aisten Baldan, Gisele Rosso, Maria Cristina Campanelli Brito, Sílvia Helena Picirillo Sanchez*

#### Comunicado Técnico 118

e-ISSN 1981-206X  
Fevereiro, 2025

Revisão de texto: *Gisele Rosso*

Normalização bibliográfica: *Aisten Baldan*  
(CRB-1/2757)

Projeto gráfico: *Leandro Sousa Fazio*

Diagramação: *Maria Cristina Campanelli Brito*

Publicação digital: PDF



Ministério da  
Agricultura e Pecuária

Todos os direitos reservados à Embrapa.