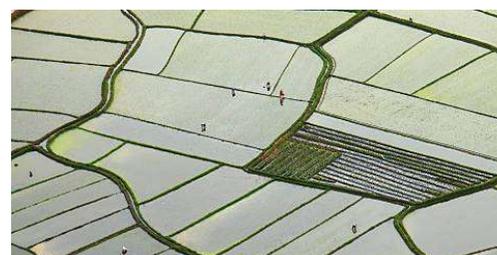




INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

Departamento de Ciências e
Engenharia de Biosistemas



Recursos Hídricos

MÓDULO 2 NECESSIDADES DE REGA DAS CULTURAS

Aula 1 – Necessidades hídricas Evapotranspiração cultural

I. NECESSIDADES HÍDRICAS DAS CULTURAS

1. Conceitos;
2. Obtenção da evapotranspiração de uma superfície cultivada;
3. O método dos coeficientes culturais; Coeficiente cultural simples
4. Evapotranspiração cultural para condições padrão;
 - 4.1 Fatores que determinam o coeficiente cultural
 - 4.2 Variação do coeficiente cultural simples com as fases fenológicas;
 - 4.2.1 K_c ini e sua correção de acordo com o padrão de humedecimento do solo
 - 4.2.2 K_c mid e sua correção climática
 - 4.2.3 K_c end e a sua correção de acordo com a data de colheita e as condições climáticas
 - 4.3 Construção da curva dos coeficientes culturais (próximo ppt)

1. Conceitos

□ **Evapotranspiração de referência, E_{To}** (Allen et al., 1998):

taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0.12 m, uma resistência de superfície constante de 70 s m⁻¹ e um albedo de 0.23, semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva verde de altura uniforme, em crescimento activo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água.

□ **Evapotranspiração cultural em condições padrão, E_{Tc}** (Allen et al., 1998):

taxa de evapotranspiração de culturas sem doenças, bem fertilizadas, cultivadas em grandes campos, com condições ideais de água do solo, e alcançando a plena produção para o clima em questão.

□ **Evapotranspiração em condições não padrão, $E_{Tc\ adj}$** (Allen et al., 1998):

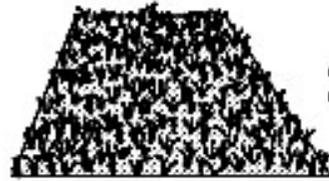
taxa de evapotranspiração das culturas cultivadas em condições de gestão e ambientais que diferem das condições padrão. (ex. presença de pragas e de doenças, salinidade do solo, baixa fertilidade do solo, escassez ou excesso de água, densidade deficiente). É calculada ajustando K_c para todos os tipos de condições que não as padrão.

Clima

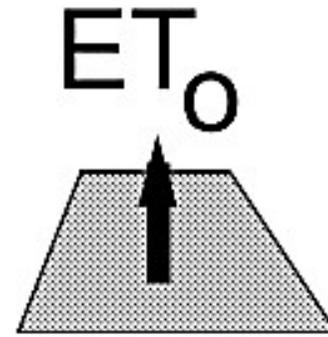


Radiação
Temperatura
Velocidade do vento
Humidade relativa

Cultura de referência:
Relva



=



Relva bem
abastecida de água

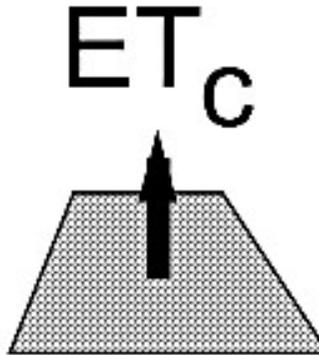
Coefficiente cultural, K_c

ET_0

x



=



Condições agrónomas ótimas
Bom abastecimento de água

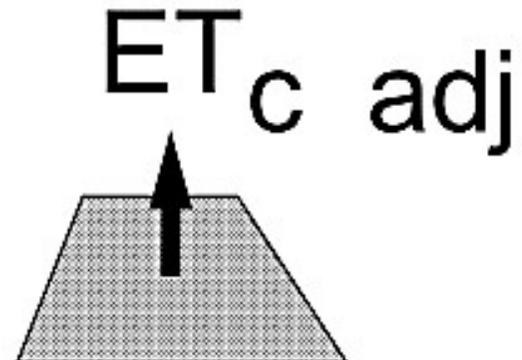
$K_s \times K_c$

ET_0

x



=



Stress hídrico e
ambiental

2. OBTENÇÃO DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE CULTIVADA

□ Para haver evaporação de água:

- Superfície húmida ➤ plantas, solo
- Energia (calor latente de evaporação) ➤ R_n
- Remoção do vapor de água
 - gradiente de humidade ➤ e_s superfície, $(e_s - e_a)_{ar}$
 - transporte (difusão / convecção) ➤ r_a e r_s

2. OBTENÇÃO DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE CULTIVADA

☐ Métodos de medição

- balanço de energia (razão de Bowen, método das flutuações instantâneas);
- balanço da água do solo determinado em campos cultivados ou lisímetros;
- lisímetros de pesagem

☐ Métodos de estimação

- Equação de Penman-Monteith

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

energia → $\Delta(R_n - G)$
 gradiente de humidade → $\frac{(e_s - e_a)}{r_a}$
 transporte do vapor de água → $\frac{r_s}{r_a}$

Há que ajustar o albedo e as resistências aerodinâmica e de superfície às características da cultura específica.

Albedo

albedo da superfície
de cultura-solo



radiação líquida da superfície, R_n ,
principal fonte de energia para o
processo de evaporação.

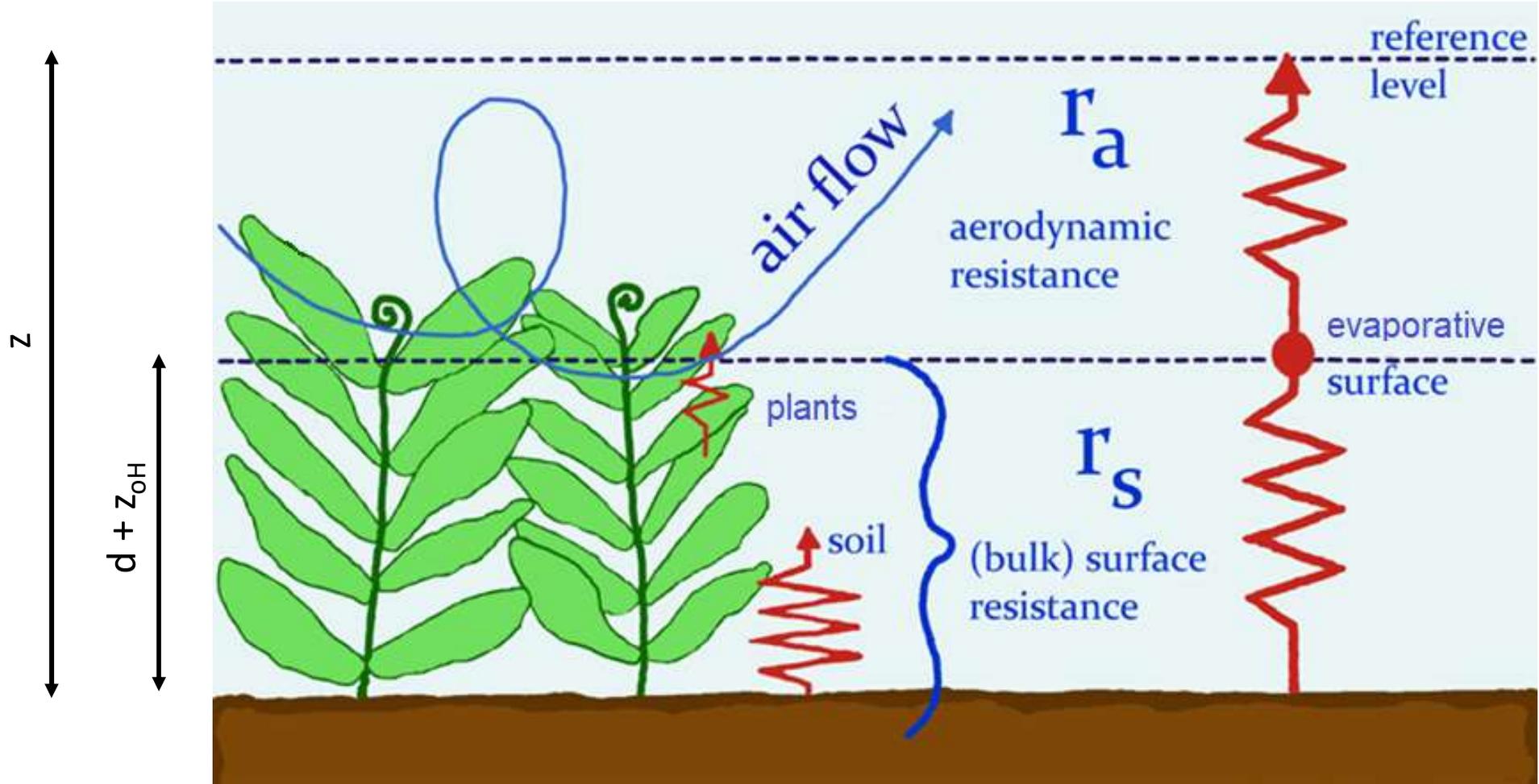
$$R_n = R_{ns} + R_{nl}$$

$$R_{ns} = R_{solar} - \alpha R_{solar}$$

Tipo de coberto		albedo
Solo	seco e claro	0.40
	escuro e húmido	0.05
Culturas agrícolas		0.18 – 0.25
Florestas		
	folha caduca	0.15 – 0.20
	coníferas	0.05 – 0.15



Resistências



$$r_a = \frac{\ln[(z - d) / z_o] \ln[(z - d) / z_{oH}]}{k^2 u_z}$$

$$r_s = (r \text{ plantas}, r \text{ solo})$$

$$r \text{ plantas} = \overline{r_{st}} \quad ?$$

- r_a tanto mais pequeno quanto maior
- a altura da cultura
 - a velocidade do vento

O albedo e as resistências (sobretudo a resistência de superfície) são difíceis de estimar porque variam continuamente durante a estação de crescimento, com as condições climáticas, com o desenvolvimento da cultura, e com a humidade da superfície do solo.

Havendo falta de informações consolidadas sobre as resistências aerodinâmicas e do copado para as diversas superfícies cultivadas, o método FAO Penman-Monteith é usado apenas para estimar ETo



- A FAO recomenda o uso do **método dos coeficientes culturais** para calcular a evapotranspiração cultural, E_{Tc}

3 MÉTODO DOS COEFICIENTES CULTURAIS

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

ET_c evapotranspiração cultural [mm d⁻¹],
 Coeficiente cultural K_c [adimensional],
 ET_o evapotranspiração de referência [mm d⁻¹].

Fase	Mês	Dia	ET _o (mm dia ⁻¹)	K _c	ET _c (mm dia ⁻¹)
Sementeira	5	26	3.05	0.3	0.91
	5	27	2.76	0.3	0.83
	5	28	3.52	0.3	1.06
	5	29	3.97	0.3	1.19
	5	30	5.28	0.3	1.58
	5	31	5.57	0.3	1.67
	6	1	5.58	0.3	1.67
	6	2	5.67	0.3	1.70
	6	3	5.18	0.3	1.55
	6	4	5.58	0.3	1.67
	6	5	5.71	0.3	1.71
	6	6	5.27	0.3	1.58
	6	7	6.51	0.3	1.95
	6	8	5.09	0.3	1.53
6	9	5.56	0.3	1.67	
6	10	6.01	0.3	1.80	
Desenvolvimento	6	11	6.45	0.32	2.08
	6	12	6.06	0.35	2.09
	6	13	5.94	0.37	2.18
	6	14	5.53	0.39	2.16
	6	15	6.40	0.41	2.64
	6	16	6.30	0.44	2.74
	6	17	7.52	0.46	3.44
	6	18	6.33	0.48	3.04
	6	19	7.14	0.50	3.59
	6	20	6.42	0.53	3.37
	6	21	3.81	0.55	2.08
	6	22	5.92	0.57	3.37
	6	23	6.11	0.59	3.62
	6	24	4.39	0.62	2.70
	6	25	3.53	0.64	2.25
	6	26	4.11	0.66	2.71
	6	27	4.33	0.68	2.96
	6	28	4.73	0.71	3.33
6	29	4.85	0.73	3.53	
6	30	5.09	0.75	3.82	
7	1	6.81	0.77	5.26	
7	2	7.94	0.80	6.31	
7	3	6.94	0.82	5.68	

- O coeficiente cultural K_c varia predominantemente com as características específicas da cultura e em extensão limitada com o clima;
- Tal facto possibilita a transferência de **valores padrão** de K_c entre locais e entre climas;
- Esta tem sido a razão para a aceitação do método dos coeficientes culturais

As ***condições padrão*** referem-se a:

- culturas cultivadas em grandes áreas e
- com excelentes condições agronómicas (densidade, fertilização, ausência de pragas e doenças ...) e de água do solo;

As diferenças na Evapotranspiração (evaporação + transpiração) entre as culturas e a superfície de relva de referência podem ser integradas:

- a) num único coeficiente, o coeficiente cultural simples (K_c) ou
- b) separadas em dois coeficientes: um cultural basal (K_{cb}) e um coeficiente de evaporação do solo (K_e), i.e., $K_c = K_{cb} + K_e$.

A aproximação a seguir deve ser seleccionada em função do objectivo do cálculo, da precisão exigida, dos dados disponíveis e o passo de tempo

Critérios para a escolha do método a) ou b)

método	Coeficiente cultural simples K_c	Coeficiente cultural dual $K_{cb} + K_e$
Objetivo do cálculo	<ul style="list-style-type: none"> - Programação e projeto da rega; - Condução da rega em tempo real para aplicações não frequentes de água (rega de superfície e por aspersão); - Esquemas de rega simples. 	<ul style="list-style-type: none"> - Investigação; - Condução da rega de alta frequência; - Rega de suplemento; - Estudos detalhados de balanço hídrico.
Passo de tempo	Diário, decendial, mensal	Diário

4 MÉTODO DO COEFICIENTE CULTURAL SIMPLES PARA O CÁLCULO EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL EM CONDIÇÕES PADRÃO (ETc)

A evapotranspiração cultural (ETc) difere da evapotranspiração de referência (ETo) devido a diferenças :

- na altura da cultura (1)
- no grau de cobertura do solo (2),
- na estrutura das plantas e do copado (3)

entre a cultura em estudo e a cultura de referência (relva)

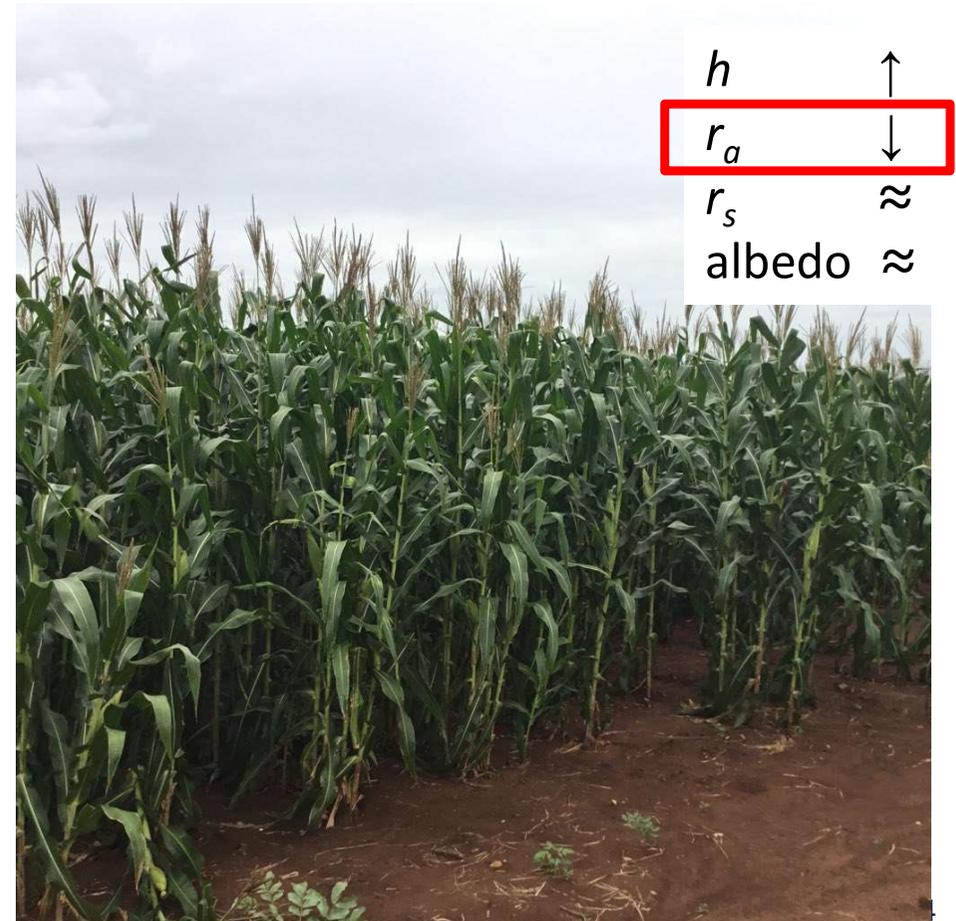
(1) **Altura da cultura:**

influencia o termo de resistência aerodinâmica, r_a , da equação de Penman-Monteith e portanto a transferência de vapor da cultura para a atmosfera.

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$



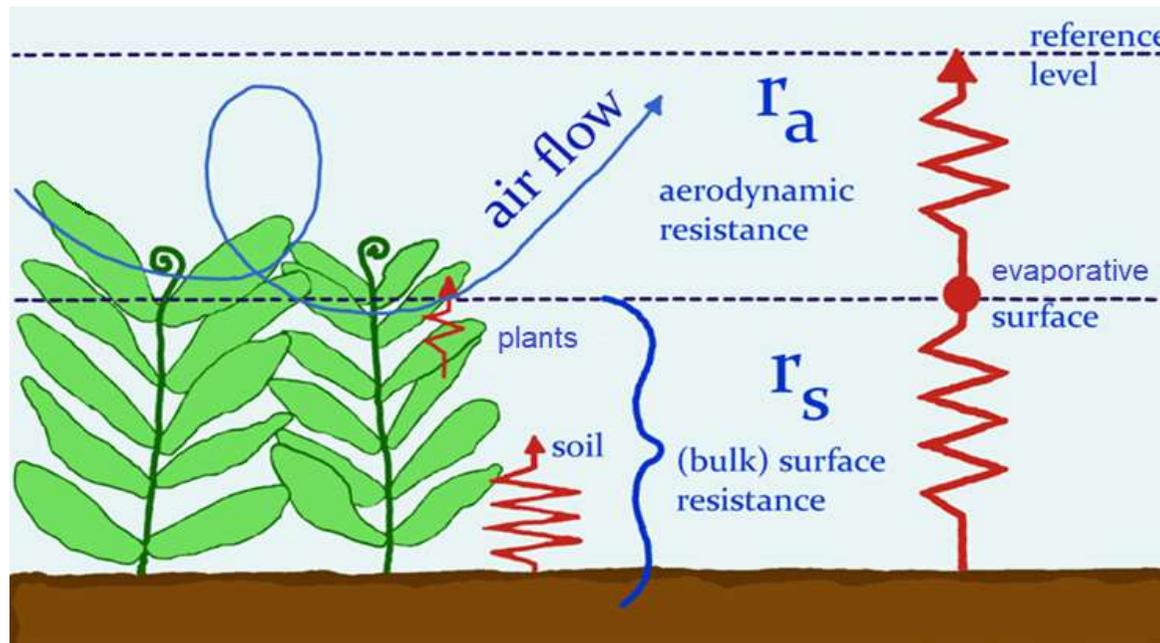
$h = 12 \text{ cm}$
 $r_s = 70 \text{ s/m}$
 albedo = 0.23



(2) **Grau de cobertura do solo:**
 Influencia o albedo (reflexão) da superfície cultura-solo (também é influenciado pela humidade superficial do solo)

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

A humidade da superfície do solo e a fração de solo coberto por vegetação influenciam também a resistência de superfície r_s .



(3) Estrutura das plantas e do coberto

A área da folha (número de estomas) e a idade influenciam a resistência de superfície à transferência do vapor, r_s , e a resistência aerodinâmica, r_a ;



4.1 FATORES QUE DETERMINAM O COEFICIENTE CULTURAL

O K_c é um coeficiente empírico que integra os efeitos atrás descritos

- a) Cultura;
- b) Evaporação do solo;
- c) Estado de desenvolvimento da cultura.

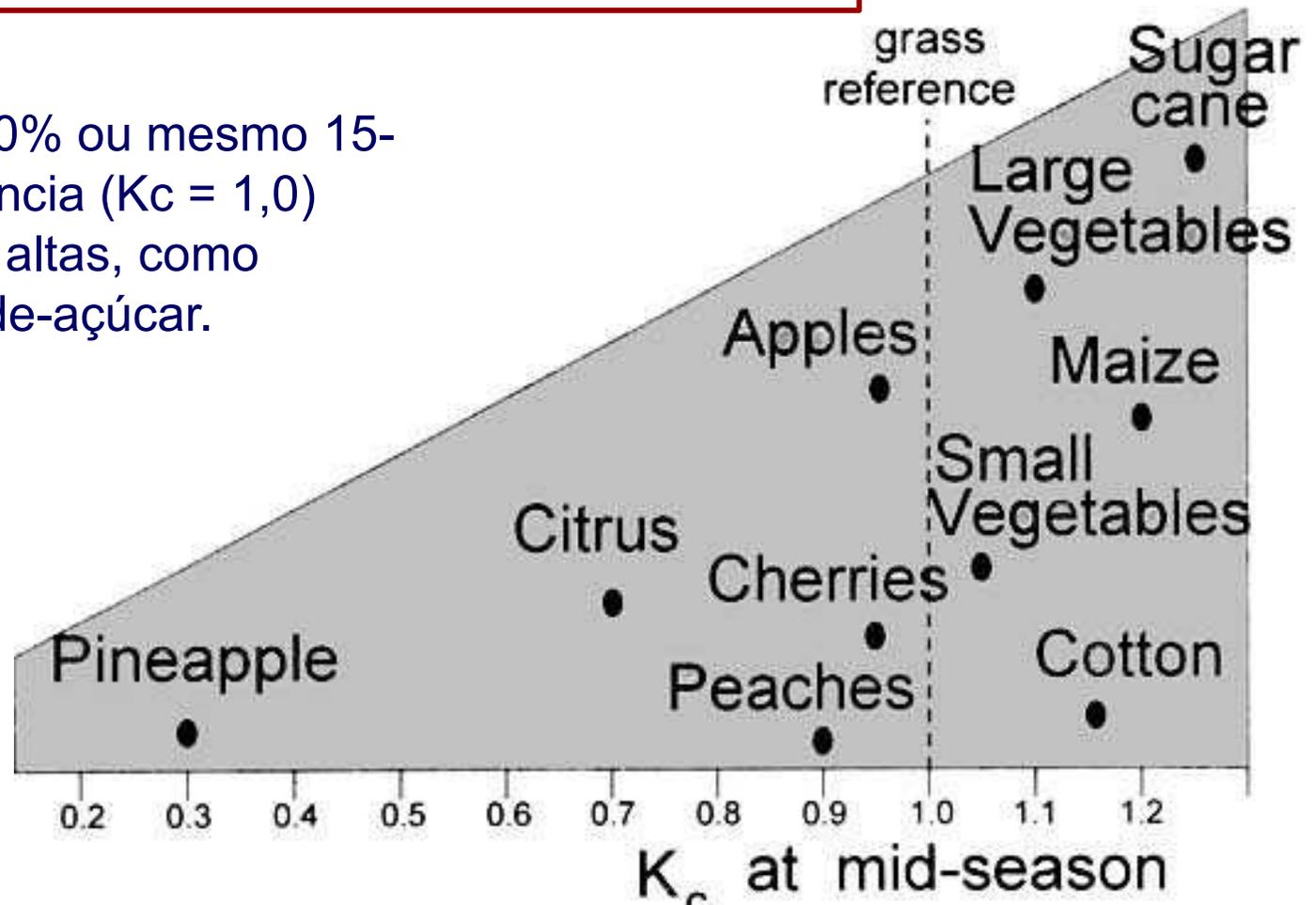
a) Tipo de cultura

Devido às diferenças no albedo, nas propriedades aerodinâmicas e nas propriedades das folhas e do estomas

Exemplos:

Culturas com espaçamentos reduzidos → $K_c > 1$
Culturas mais altas

K_c é muitas vezes 5-10% ou mesmo 15-20 % superior à referência ($K_c = 1,0$) para algumas culturas altas, como milho, sorgo ou cana-de-açúcar.



b) Evaporação do solo

Culturas de cobertura total; Kc reflete principalmente diferenças na transpiração, uma vez que a contribuição da evaporação do solo é pequena.

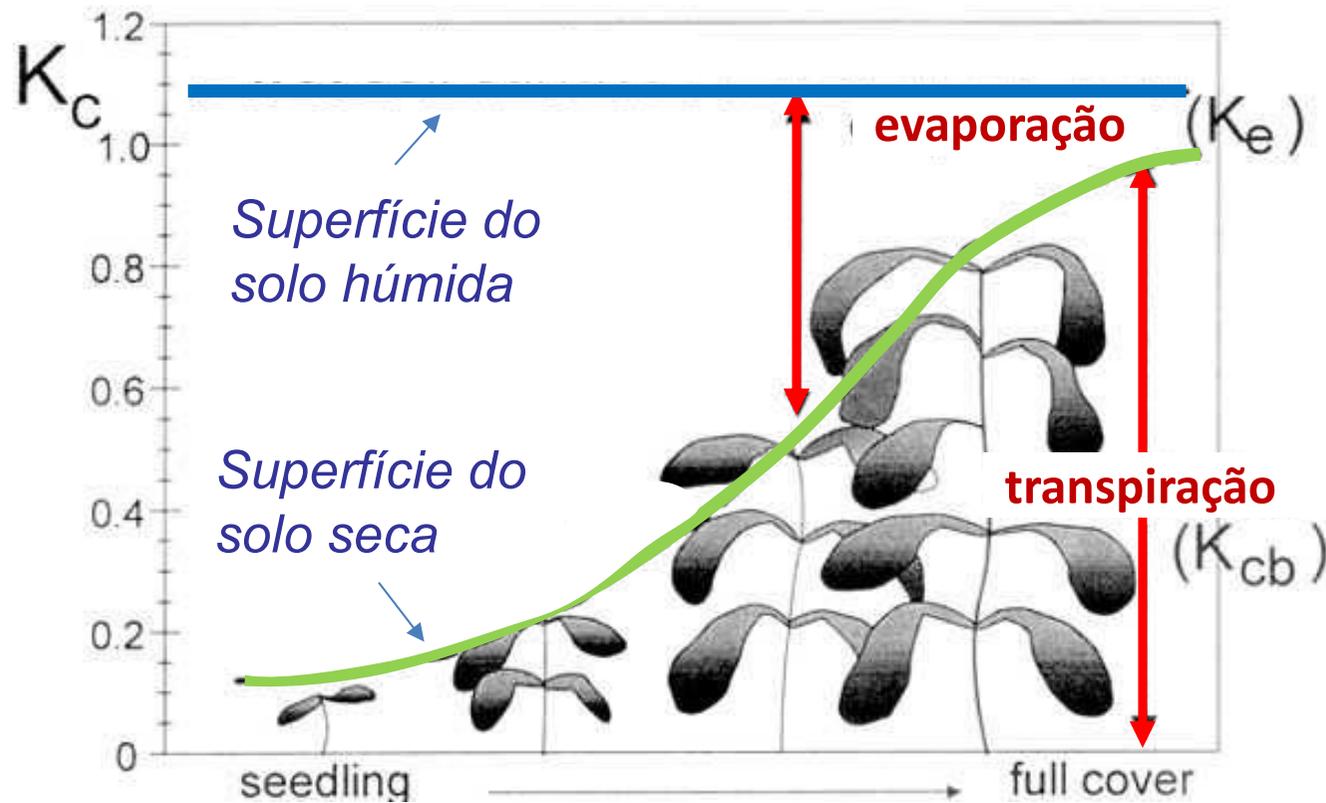
Culturas de baixa cobertura:

- Depois da chuva ou rega, o efeito da evaporação é predominante sobre o da transpiração. Nesta situação, o Kc é determinado em grande parte pela frequência com que a superfície do solo é humedecida.
- Quando o solo está molhado durante a maior parte do tempo a evaporação da superfície do solo é considerável e o Kc pode ser superior a 1
- Quando a superfície do solo está seca, a evaporação é restrita e Kc será muito pequeno, podendo atingir o valor 0.1.

No caso de culturas de baixa cobertura, as diferenças de evaporação do solo entre a cultura em estudo e a de referência podem ser consideradas com maior precisão usando o método do coeficiente cultural dual.

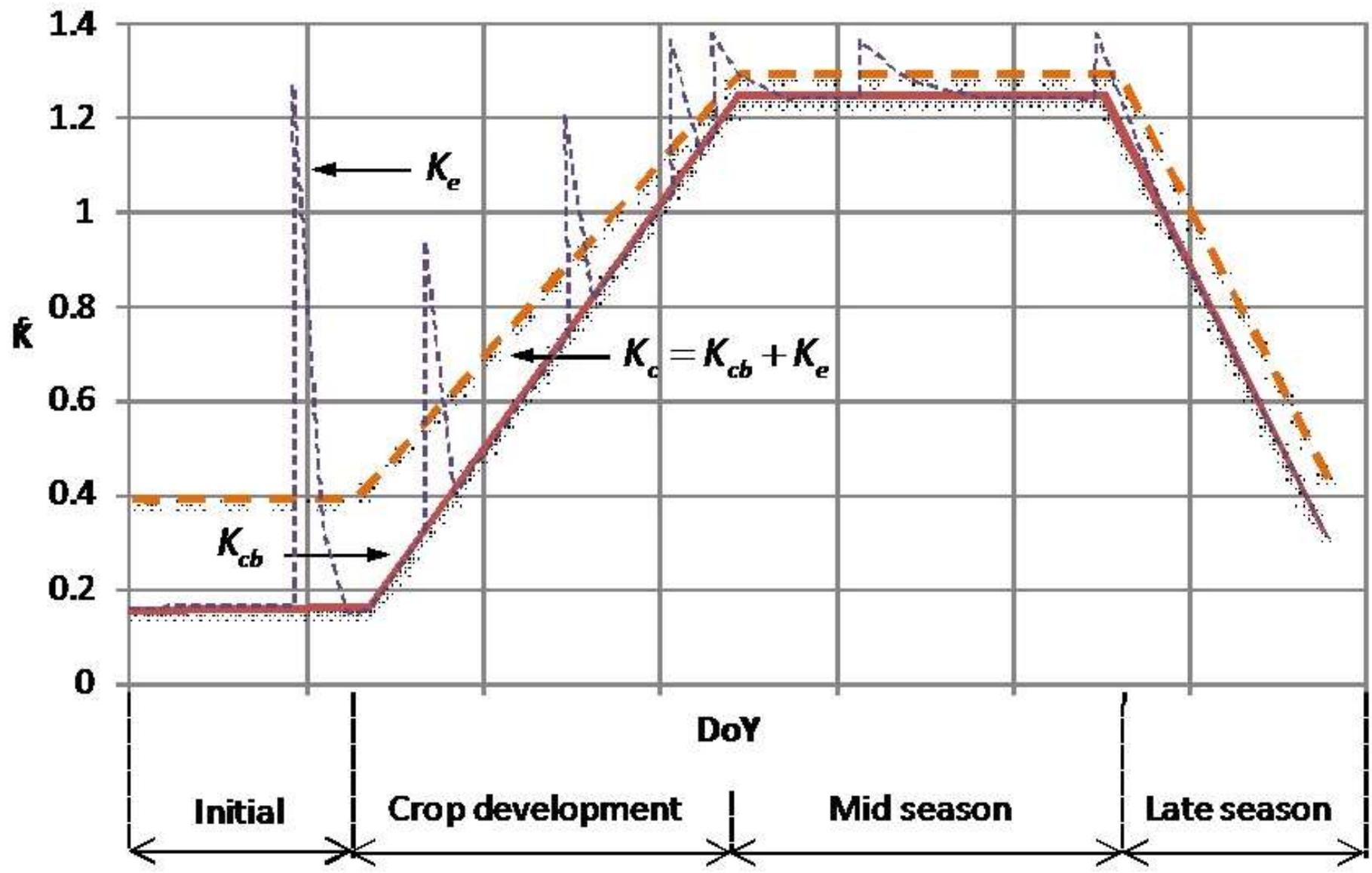
O efeito da evaporação do solo no K_c :

- solo descoberto vs solo coberto
- solo seco vs solo húmido



Linha horizontal - K_c quando a superfície do solo é mantida continuamente molhada;

Linha curva - K_c quando a superfície do solo é mantida seca, mas a cultura recebe água suficiente para sustentar a transpiração completa



c) Estádio de desenvolvimento da cultura

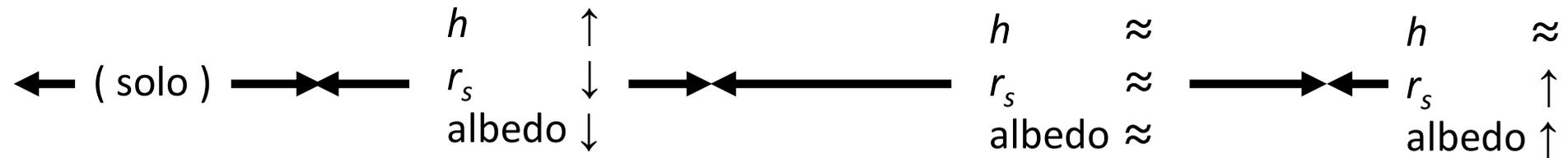
o K_c para uma determinada cultura varia ao longo do período de crescimento.

Porquê?

- O aumento da capacidade de transpiração depende do aumento da superfície estomática e, portanto, do desenvolvimento da área foliar;
- O aumento do grau de cobertura do solo implica diminuição da evaporação;

O período de crescimento duma cultura anual pode ser dividido em quatro fases de crescimento distintas:

- inicial,
- desenvolvimento da cultura,
- intermédio e
- final.



Tipo de cultura

Anual

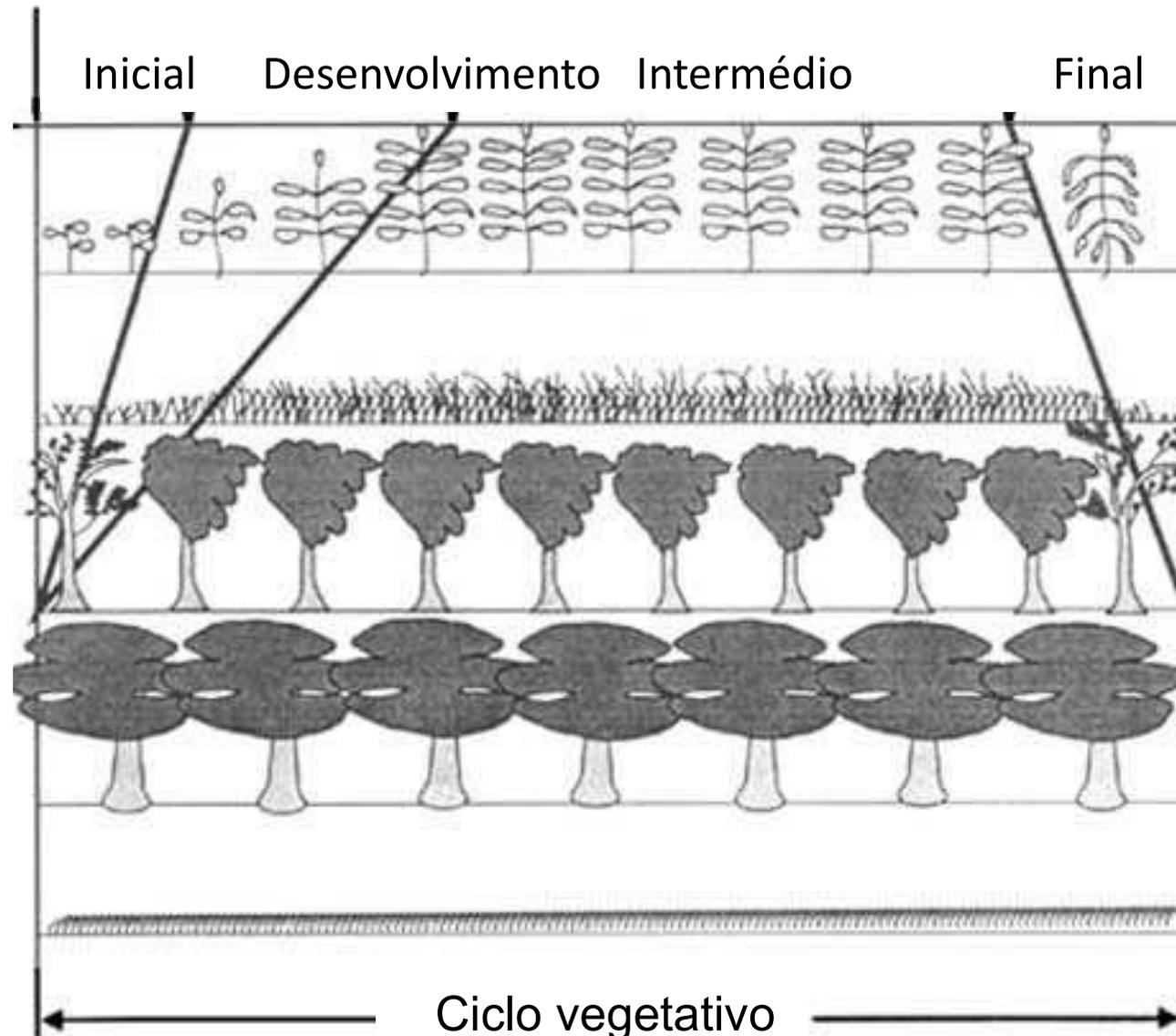
Perene

Pastos

Árvores de
folha caduca

Árvores de
folha perene

Relva de
referência



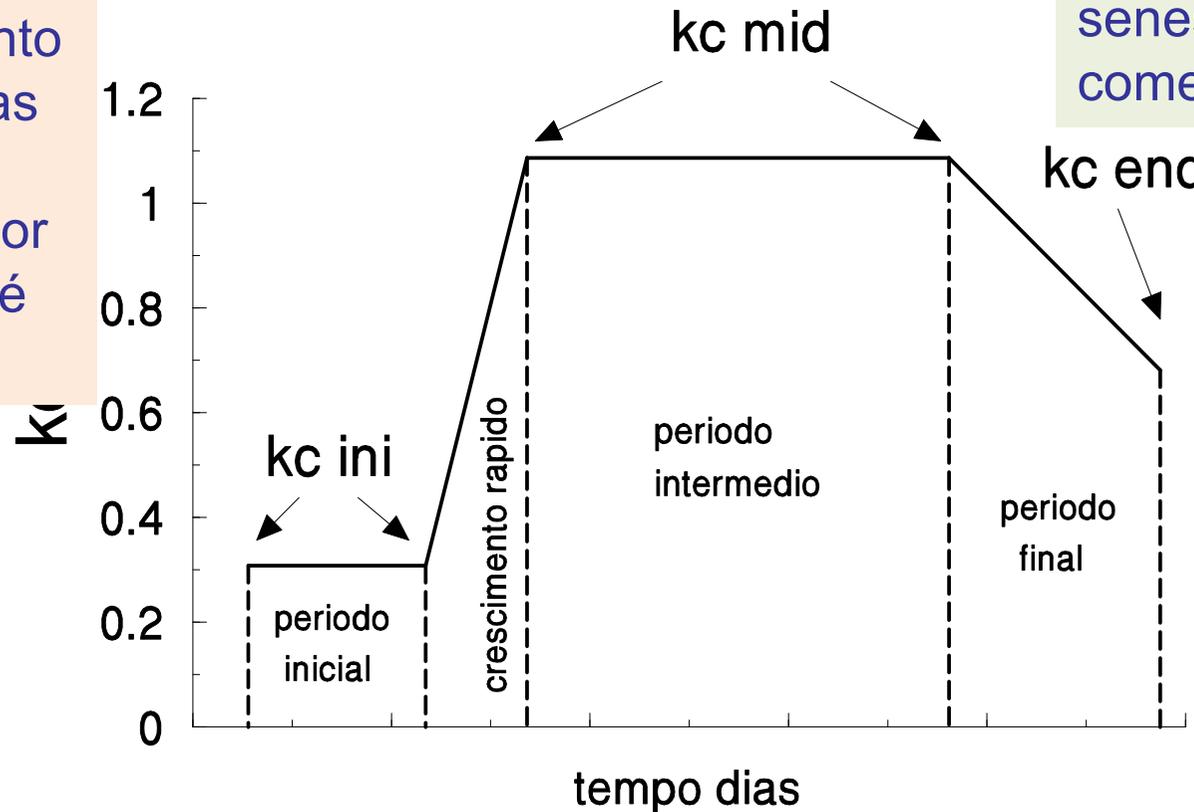
Estádios de crescimento das culturas para diferentes tipos de culturas

Curva típica do coeficiente cultural simples

Após a sementeira de culturas anuais ou após o início do aparecimento de novas folhas de plantas perenes, o valor de K_c (K_c ini) é pequeno

O valor de K_c começa a aumentar no início do desenvolvimento rápido atingindo um valor máximo (K_c mid) no desenvolvimento máximo da planta

Durante o período final de temporada, quando as folhas começam a senescer, o K_c começa a diminuir



Se o objetivo for o projecto da rega, esta curva dos K_c simples é suficiente.

Duração dos estádios de desenvolvimento para diferentes regiões climáticas

Crop	Init. (L _{ini})	Dev. (L _{dev})	Mid (L _{mid})	Late (L _{late})	Total	Plant Date	Region
a. Small Vegetables							
Broccoli	35	45	40	15	135	Sept	Calif. Desert, USA
Cabbage	40	60	50	15	165	Sept	Calif. Desert, USA
Carrots	20	30	50/30	20	100	Oct/Jan	Arid climate
	30	40	60	20	150	Feb/Mar	Mediterranean
	30	50	90	30	200	Oct	Calif. Desert, USA
Cauliflower	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desert, USA
Celery	25	40	95	20	180	Oct	(Semi) Arid
	25	40	45	15	125	April	Mediterranean
	30	55	105	20	210	Jan	(Semi) Arid
Crucifers ¹	20	30	20	10	80	April	Mediterranean
	25	35	25	10	95	February	Mediterranean
	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterranean
Lettuce	20	30	15	10	75	April	Mediterranean
	30	40	25	10	105	Nov/Jan	Mediterranean
	25	35	30	10	100	Oct/Nov	Arid Region
	35	50	45	10	140	Feb	Mediterranean

Os valores na tabela são úteis apenas como um guia geral e para fins de comparação.

Os comprimentos listados dos estádios de crescimento são valores médios para as regiões e períodos especificados e destinam-se para servir apenas como exemplos.

Observações locais de desenvolvimento das planta devem ser usadas, sempre que possível, para incorporar os efeitos da variedade vegetal, do clima e das práticas culturais.

Coeficientes culturais para culturas em condições padrão

Crop	K_{cini}^1	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
a. Small Vegetables	0.7	1.05	0.95	
Broccoli		1.05	0.95	0.3
Brussel Sprouts		1.05	0.95	0.4
Cabbage		1.05	0.95	0.4
Carrots		1.05	0.95	0.3
Cauliflower		1.05	0.95	0.4
Celery		1.05	1.00	0.6
Garlic		1.00	0.70	0.3
Lettuce		1.00	0.95	0.3
Onions				
- dry		1.05	0.75	0.4
- green		1.00	1.00	0.3
- seed		1.05	0.80	0.5
Spinach		1.00	0.95	0.3
Radish		0.90	0.85	0.3
b. Vegetables - Solanum Family (<i>Solanaceae</i>)	0.6	1.15	0.80	
Egg Plant		1.05	0.90	0.8
Sweet Peppers (bell)		1.05 ²	0.90	0.7
Tomato		1.15 ²	0.70-0.90	0.6
c. Vegetables - Cucumber Family (<i>Cucurbitaceae</i>)	0.5	1.00	0.80	
Cantaloupe	0.5	0.85	0.60	0.3
Cucumber				
- Fresh Market	0.6	1.00 ²	0.75	0.3
- Machine harvest	0.5	1.00	0.90	0.3
Pumpkin, Winter Squash		1.00	0.80	0.4
Squash, Zucchini		0.95	0.75	0.3
Sweet Melons		1.05	0.75	0.4

4.2 Variação do coeficiente cultural simples com as fases fenológicas

1. **Fase inicial (K_c ini)** : Desde sementeira até cobertura do solo de 10%

Fatores de que depende o K_c ini:

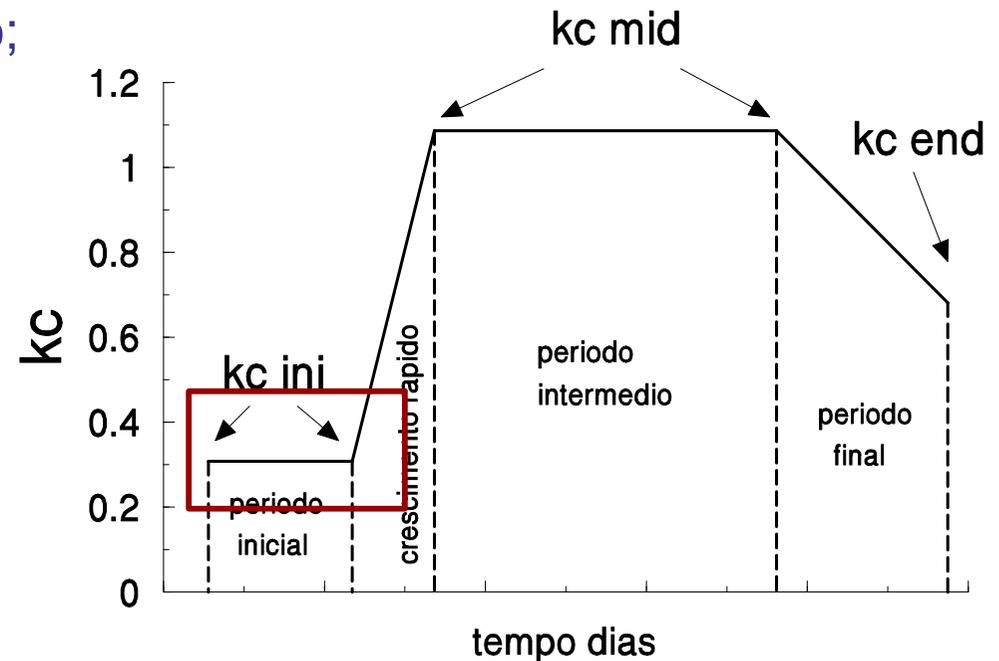
1. **Período de tempo entre eventos de humedecimento:** quanto menor for o período de tempo entre eventos de humedecimento maior será o K_c ;

2. **Poder de evaporação da atmosfera**, ou seja, ETo . Quanto maior o poder de evaporação da atmosfera, mais rapidamente o solo vai secar entre aplicações de água e tanto menor será o K_c ;

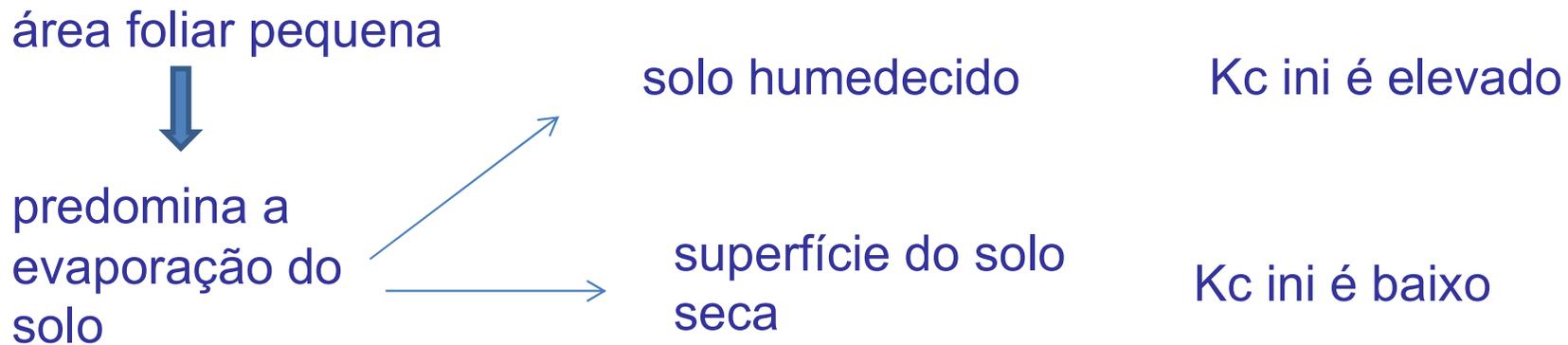
3. **Magnitude do evento:** K_c ini será menor para eventos ligeiros do que para grandes eventos de humedecimento;

Dependendo dos fatores acima referidos, o K_c ini pode variar entre:

0.1 e 1.15.



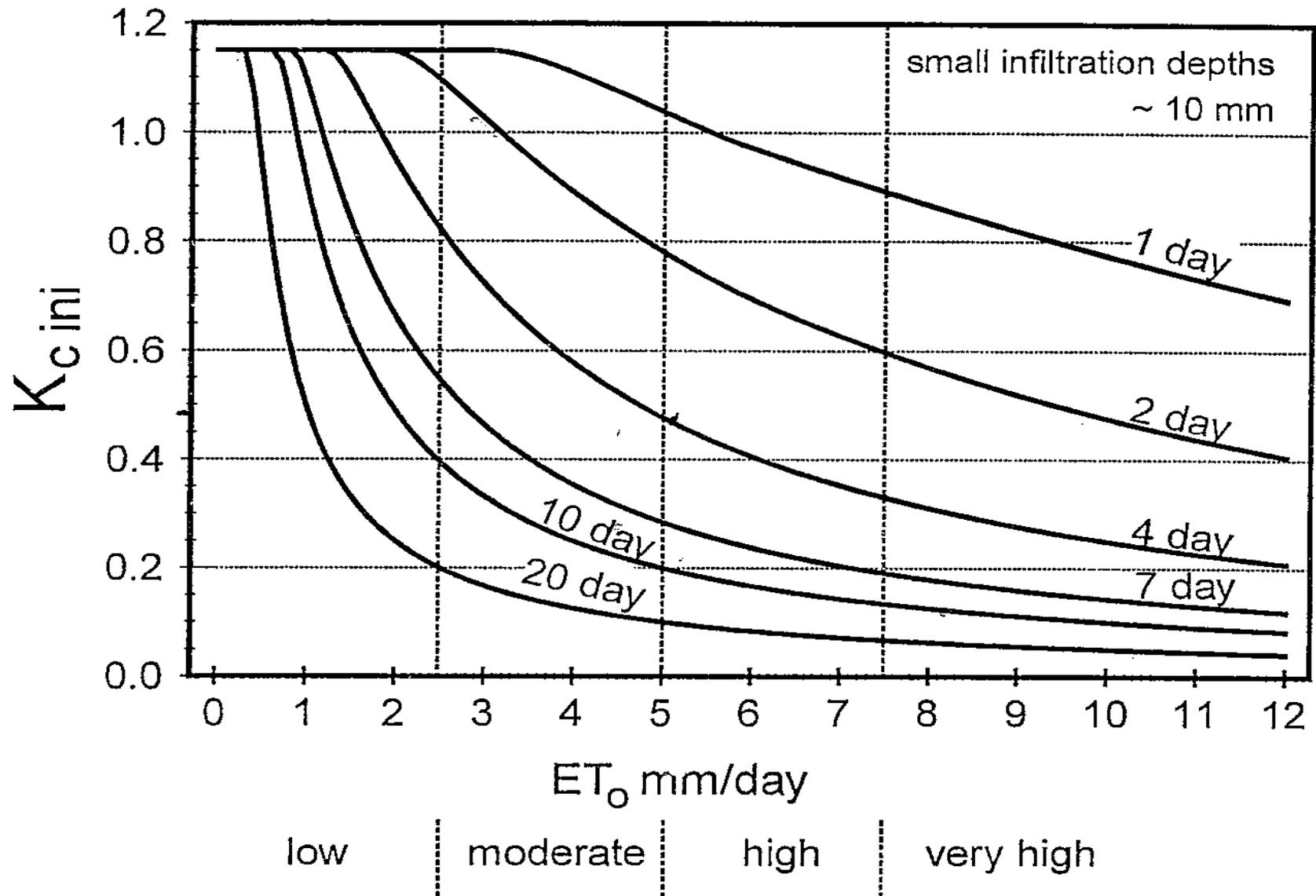
Os valores tabelados de K_c ini são apenas aproximações e devem ser corrigidos considerando:



Estimativas gerais para K_c ini em função da frequência de humedecimento, da ET_o e da magnitude do evento para um solo de textura média.

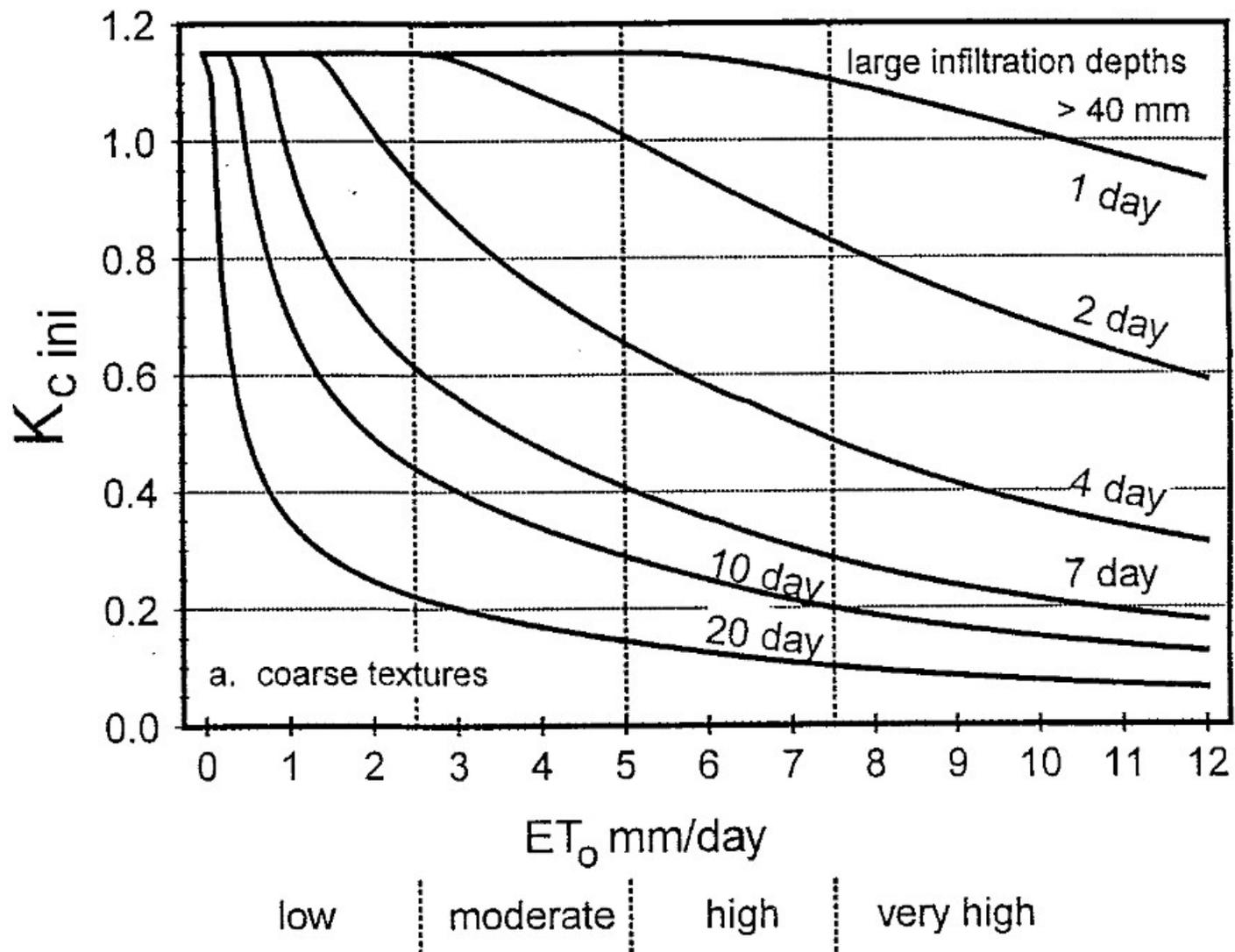
Intervalo entre eventos	Poder evaporativo (ET_o)			
	baixo 1-3 mm/dia	moderado 3-5 mm/dia	elevado 5-7 mm/dia	Muito elevado > 7 mm/dia
< semanal	1.2 - 0.8	1.1 - 0.6	1.0-0.4	0.9 - 0.3
semanal	0.8	0.6	0.4	0.3
> semanal	0.7 - 0.4	0.4 - 0.2	0.3 - 0.2	0.2 - 0.1

1) Eventos **ligeiros** de humedecimento:
precipitação e rega de alta frequência

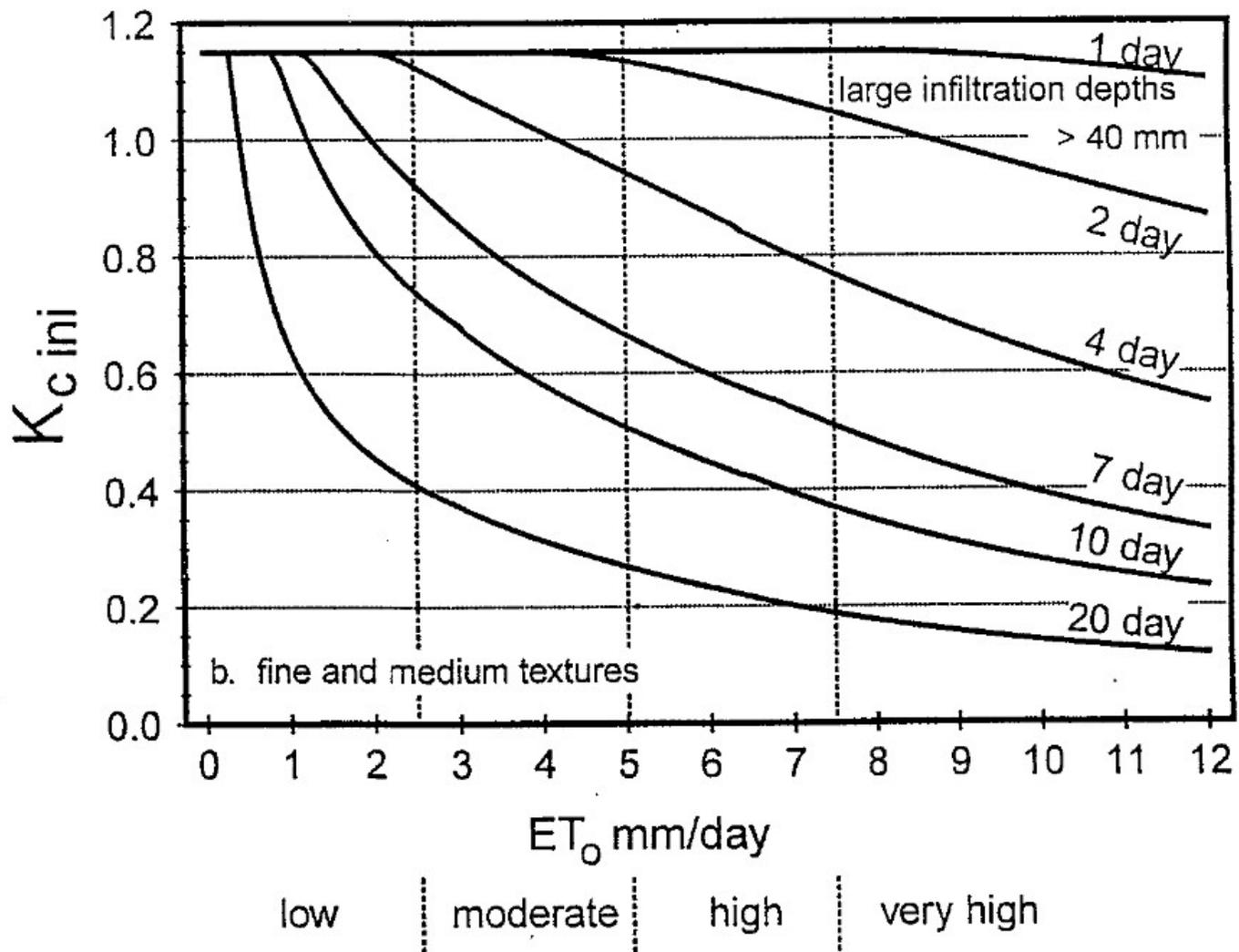


2) Eventos **significativos** de humedecimento:
> 40 mm, rega de superfície e por aspersão

a) Em solos arenosos



b) Em solos limosos e argilosos



3) Eventos **médios** de humedecimento (dotações, D , entre 10 e 40 mm):

$$K_{C\ ini} = K_{C\ ini\ 1} + \frac{[K_{C\ ini\ 2} - K_{C\ ini\ 1}]}{(40 - 10)} (D - 10)$$

sendo

$K_{C\ ini\ 1}$ o valor de $K_{C\ ini}$ para alturas de 10 mm

$K_{C\ ini\ 2}$ o valor de $K_{C\ ini}$ para alturas infiltradas de 40 mm e

D a altura de água média infiltrada (mm)

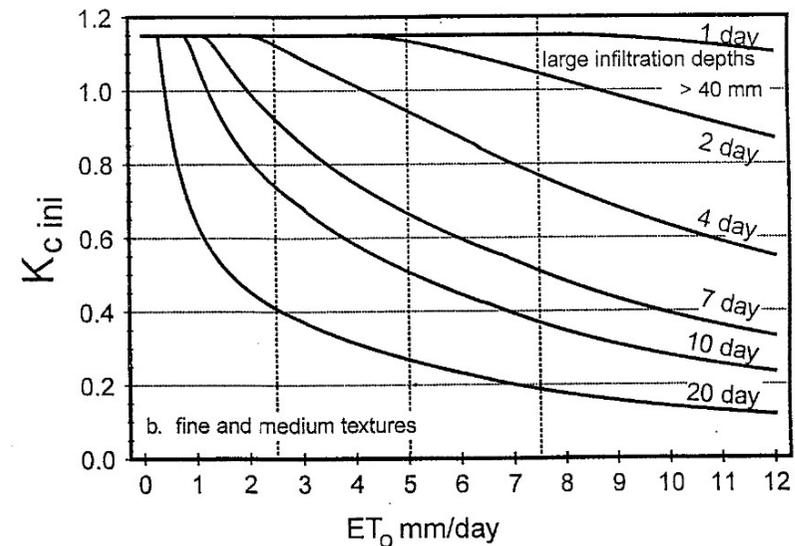
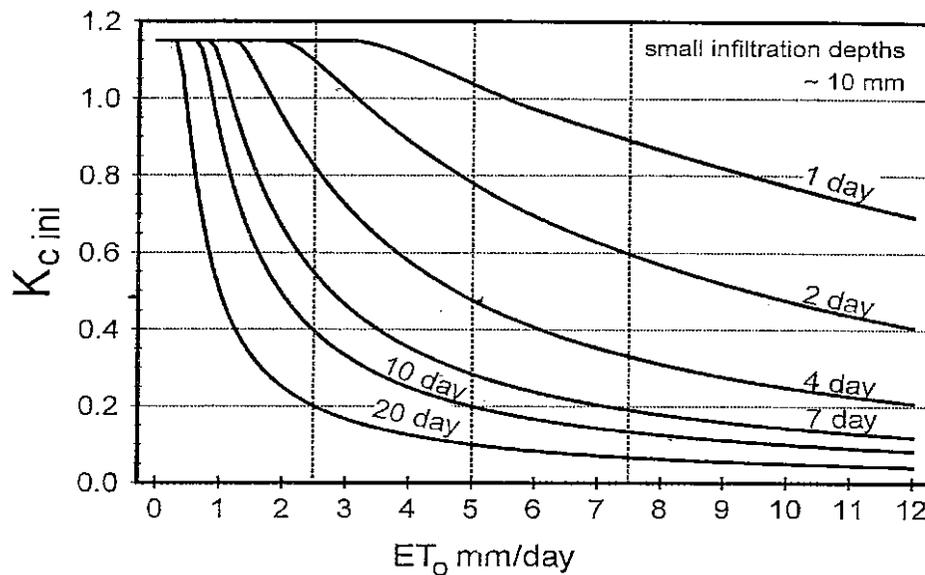
Exercício 1:

Determine o valor de K_c ini para as seguintes condições.

- O período inicial ocorreu no mês de Maio ($ET_o = 4 \text{ mm dia}^{-1}$)
- Intervalo entre acontecimentos : 5 dias
- Altura média das precipitações/rega ocorridas : 18 mm
- Textura do solo: limosa

($K_c \text{ ini} = 0.614$)

Resolução : interpolação linear entre os K_c ini de 10 mm e 40 mm



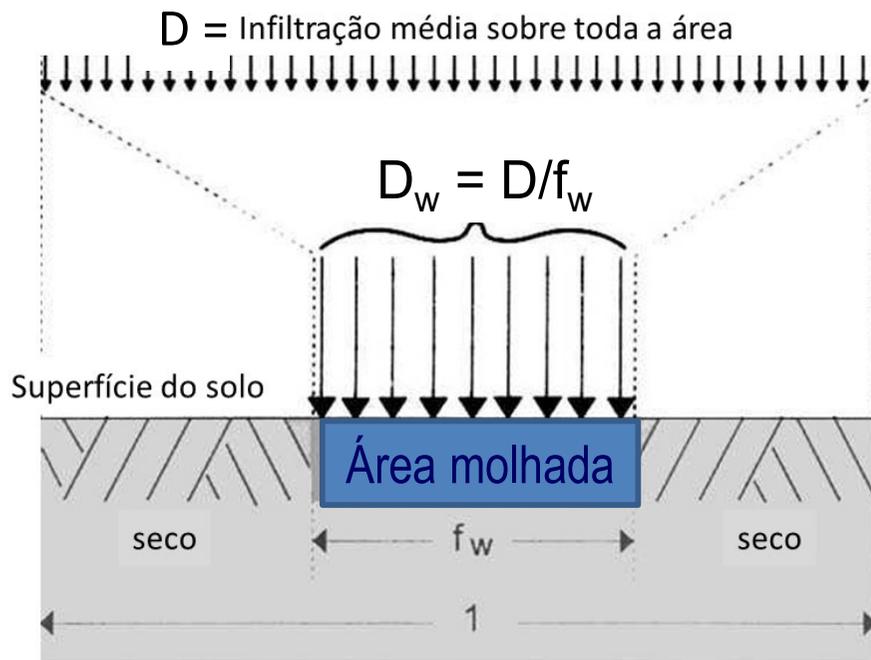
Ajustamento do K_c ini quando a superfície do solo é humedecida parcialmente



Rega gota a gota : fração da superfície molhada, f_w , pode ser apenas 0.3 ou 0.4.

Rega por sulcos: fração da superfície molhada pode variar de 0.3 a 1.

Evento de humedecimento	f_w
Precipitação	1.0
Rega por aspersão	1.0
Rega por canteiros	1.0
Rega por faixas	1.0
Rega por sulcos (camalhão estreito)	0.6...1.0
Rega por sulcos (camalhão largo)	0.4... 0.6
Rega por sulcos alternados	0.3...0.5
Rega localizada	0.3... 0.4



D = infiltração sobre toda a área

D_w = infiltração sobre a área molhada

f_w = fração de solo humedecido

Procedimento

a) Multiplicar o K_c ini tabelas/gráficos pela fração de solo humedecido, f_w

$$K_{c \text{ ini}} = f_w K_{c \text{ ini}} \text{ (tabela ou gráfico)}$$

b) A dotação de rega expressa em mm sobre toda a área deve ser corrigida para a área humedecida

$$D_w = \frac{D}{f_w}$$

sendo
 D_w a dotação de rega na área humedecida [mm],
 D a dotação de rega para toda a área [mm].

Exercício 2:

Determine o valor de K_c ini e da evapotranspiração cultural nas condições do exercício 1, se a cultura for regada por gota a gota de 2 em 2 dias (dotação = 12 mm expressa em altura equivalente sobre toda a área. A fracção de solo humedecido é 0.4. Não ocorreu precipitação durante o período inicial.

(Solução: $K_c \text{ ini} = 0.42$; $ET_c = 1.7 \text{ mm d}^{-1}$)

$K_{c\ ini}$ para árvores e arbustos

- O $K_{c\ ini}$ depende da frequência de humedecimento do solo, cobertura do solo por infestantes, densidade das árvores e da existência de mulch (principalmente para cobertura do solo < 50 %)
- Para um pomar decíduo, o $K_{c\ ini}$ pode ser:
 - tão elevado quanto 0.8 ou 0.9, se existir cobertura do solo com infestantes,
 - tão baixo quanto 0.3 ou 0.4 quando a superfície do solo é mantida nua e o humedecimento é pouco frequente.



Crop	$K_{c\text{ini}}$ ¹	$K_{c\text{mid}}$	$K_{c\text{end}}$
m. Grapes and Berries			
Berries (bushes)	0.30	1.05	0.50
Grapes			
- Table or Raisin	0.30	0.85	0.45
- Wine	0.30	0.70	0.45
Hops	0.3	1.05	0.85
n. Fruit Trees			
Almonds, no ground cover	0.40	0.90	0.65 ^{1B}
Apples, Cherries, Pears ¹⁹			
- no ground cover, killing frost	0.45	0.95	0.70 ^{1B}
- no ground cover, no frosts	0.60	0.95	0.75 ^{1B}
- active ground cover, killing frost	0.50	1.20	0.95 ^{1B}
- active ground cover, no frosts	0.80	1.20	0.85 ^{1B}
Apricots, Peaches, Stone Fruit ^{19, 20}			
- no ground cover, killing frost	0.45	0.90	0.65 ^{1B}
- no ground cover, no frosts	0.55	0.90	0.65 ^{1B}
- active ground cover, killing frost	0.50	1.15	0.90 ^{1B}
- active ground cover, no frosts	0.80	1.15	0.85 ^{1B}
Avocado, no ground cover	0.60	0.85	0.75
Citrus, no ground cover ²¹			
- 70% canopy	0.70	0.65	0.70
- 50% canopy	0.65	0.60	0.65
- 20% canopy	0.50	0.45	0.55
Citrus, with active ground cover or weeds ²²			
- 70% canopy	0.75	0.70	0.75
- 50% canopy	0.80	0.80	0.80
- 20% canopy	0.85	0.85	0.85

²¹ These K_c values can be calculated from Eq. 98 for $K_{c\text{min}} = 0.15$ and $K_{c\text{full}} = 0.75$, 0.70 and 0.75 for the initial, mid season and end of season periods, and $f_{c\text{eff}} = f_c$ where f_c = fraction of ground covered by tree canopy (e.g., the sun is presumed to be directly overhead). The values listed correspond with those in Doorenbos and Pruitt (1977) and with more recent measurements. The midseason value is lower than initial and ending values due to the effects of stomatal closure during periods of peak ET. For humid and subhumid climates where there is less stomatal control by citrus, values for $K_{c\text{ini}}$, $K_{c\text{mid}}$ and $K_{c\text{end}}$ can be increased by 0.1 - 0.2, following Rogers et al. (1983).

$K_{c\ ini}$ para a cultura do arroz com alagamento

Quando a lâmina de água no canteiro de arroz apresenta uma profundidade de 0.10-0.20 m, a ET_c durante o estágio inicial é constituída principalmente por evaporação da água.

O $K_c\ ini$ na tabela dos K_c da FAO (Tabela 12) é 1.05 para um clima sub-húmido com velocidade do vento calma a moderada.

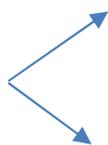
O $K_c\ ini$ deve ser ajustado para o clima local, conforme indicado no quadro seguinte (Quadro 14 do FAO 56)

$K_{c\ ini}$ para a cultura do arroz e para vários tipos de clima

Humidade	Velocidade do vento		
	ligeira	moderada	forte
Árido e semiárido	1.10	1.15	1.20
Sub-húmido a húmido	1.05	1.10	1.15
Muito húmido	1.00	1.05	1.10

2. Fase de desenvolvimento das culturas:

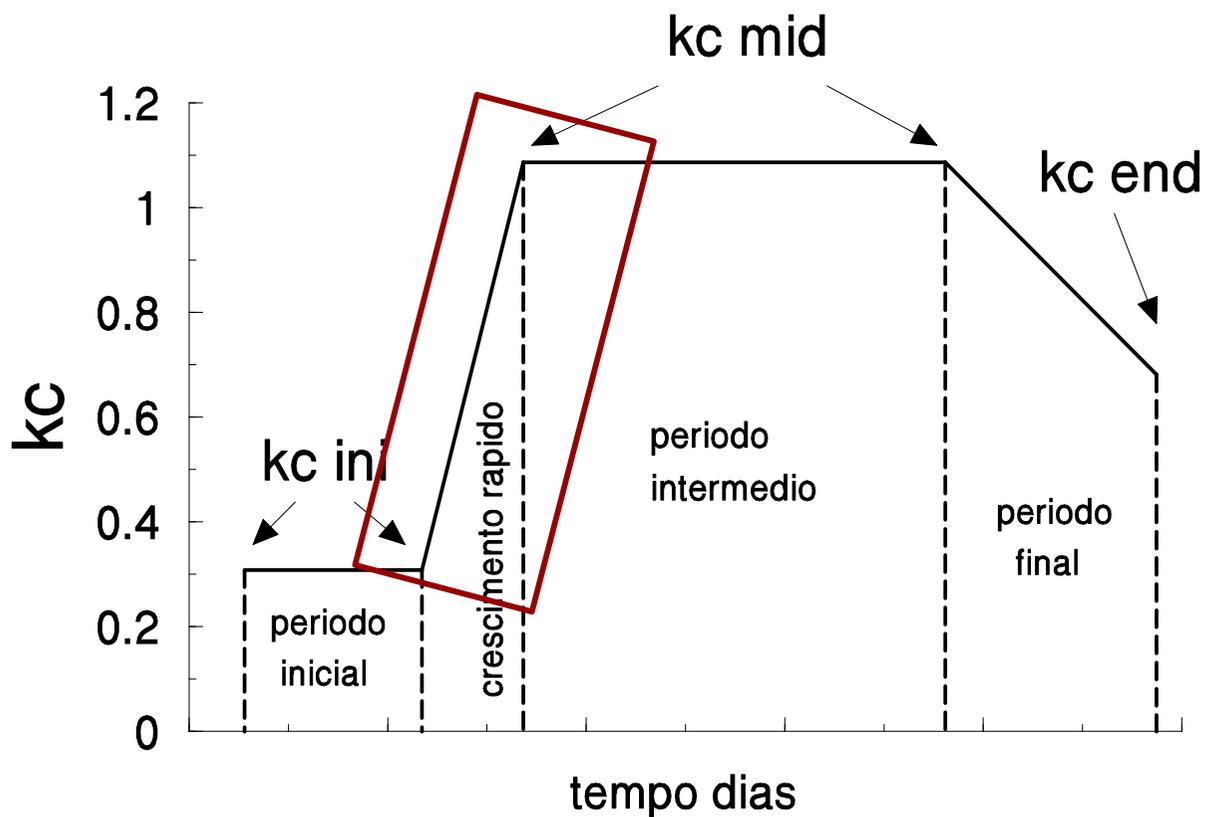
a cultura cobre cada vez mais do solo



evaporação torna-se mais restrita

transpiração torna-se gradualmente o processo principal

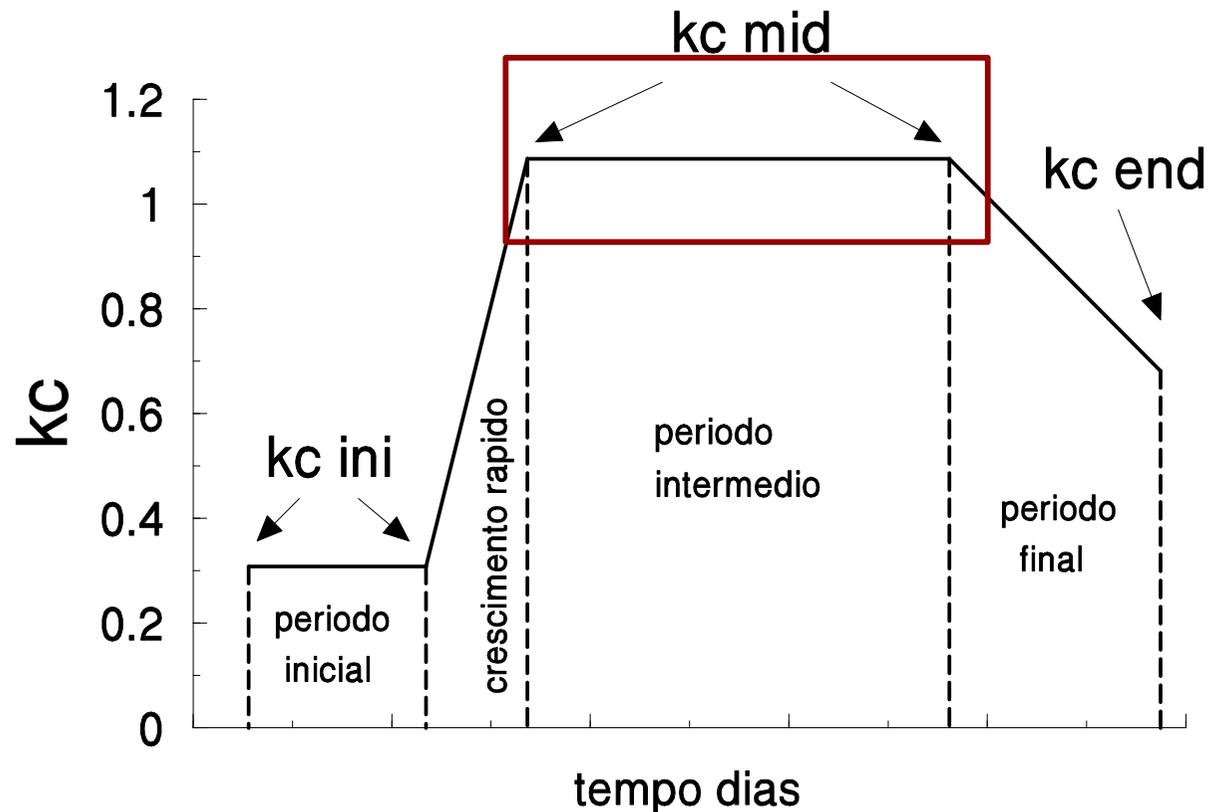
O valor de K_c vai variando de acordo com o desenvolvimento da planta



3. Fase intermédia

- Entre o início da cobertura total e o início da senescência;
- É o estágio mais longo para plantas perenes e para muitas anuais, mas pode ser relativamente curto para hortícolas, que são colhidas antes da maturação;

- O valor de K_c mid é relativamente constante;



Correcção devido ao clima

Os valores de K_c tabelados (FAO56) são valores típicos esperados para condições climáticas padrão, que se caracterizam por:

- clima sub-húmido;
- humidade relativa mínima do ar (RH_{min}) \approx 45% e
- vento moderado \Leftrightarrow velocidade média de 2 m/s.

climas mais áridos e maior velocidade de vento $\Rightarrow K_c$ 

climas mais húmidos e menores velocidades do vento $\Rightarrow K_c$ 

A utilização dos valores tabelados para outras condições requer a sua correcção através da equação:

$$Kc_{mid} = Kc_{mid_{tab}} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

sendo:

$K_{c_{mid(tab)}}$ o valor de $K_{c_{mid}}$ retirado da tabela;

u_2 o valor médio diário da velocidade do vento medida a 2 metros de altura

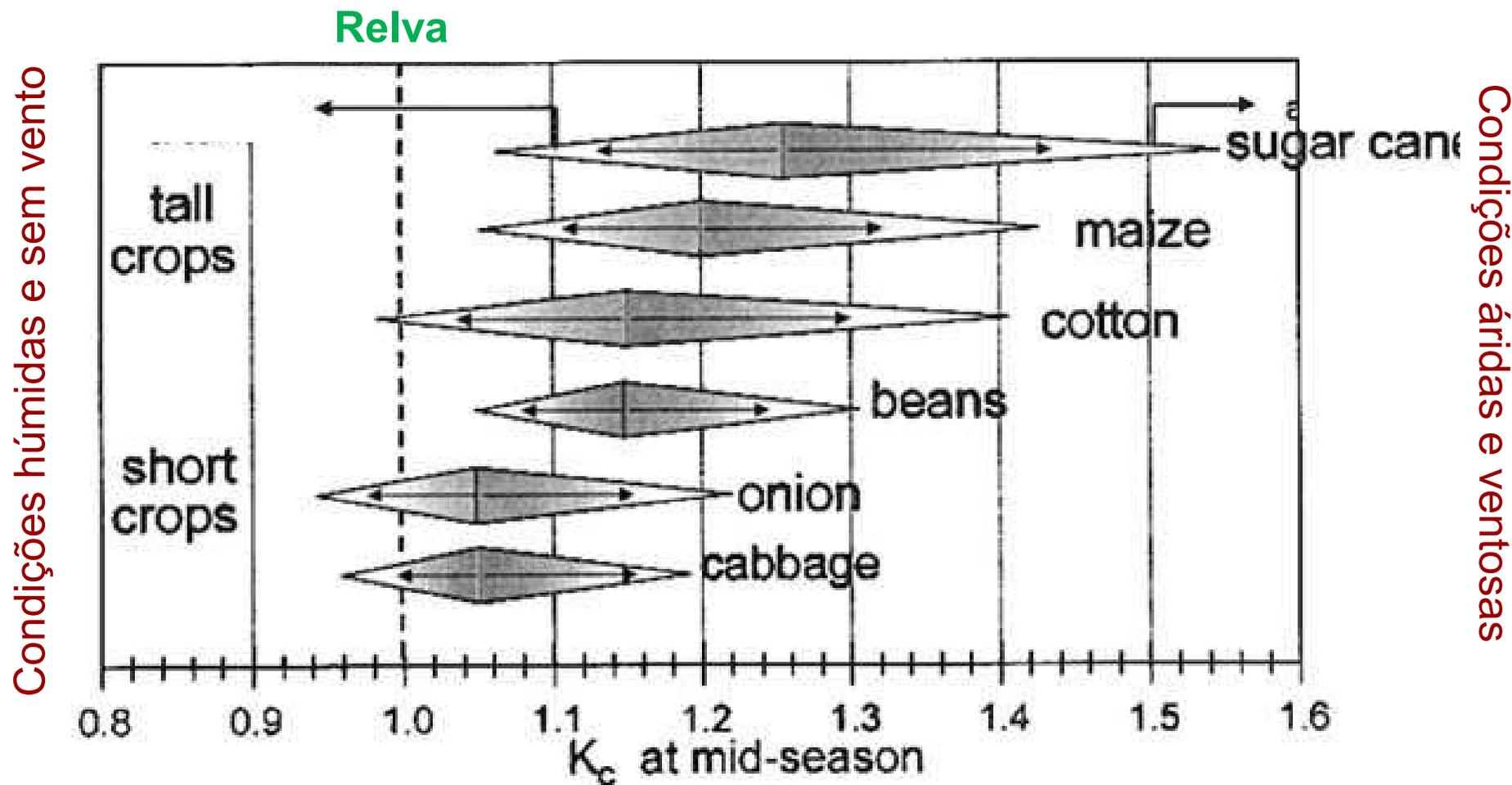
($1 < u_2 < 6$ m/s);

HR_{min} o valor médio diário da humidade relativa mínima ($20 < HR_{min} < 80$ %);

e

h a altura média da planta ($0.1 < h < 10$ m).

Gamas de valores de K_c esperados para culturas plenamente desenvolvidas em condições climáticas diferentes das condições climáticas padrão



Variações menores de K_c com o clima para culturas baixas

Exercício 3:

Determine os valores de K_c mid para a cultura do milho para os seguintes climas:

- a) clima húmido com $u = 1.3 \text{ m s}^{-1}$ e $HR \text{ min} = 75\%$;
- b) clima árido com $u = 4.6 \text{ m s}^{-1}$ e $HR \text{ min} = 44\%$.

(Solução: $K_c \text{ mid} = 1.07$; $K_c \text{ mid} = 1.30$)

Resolução:

Quadro 12 FAO 56



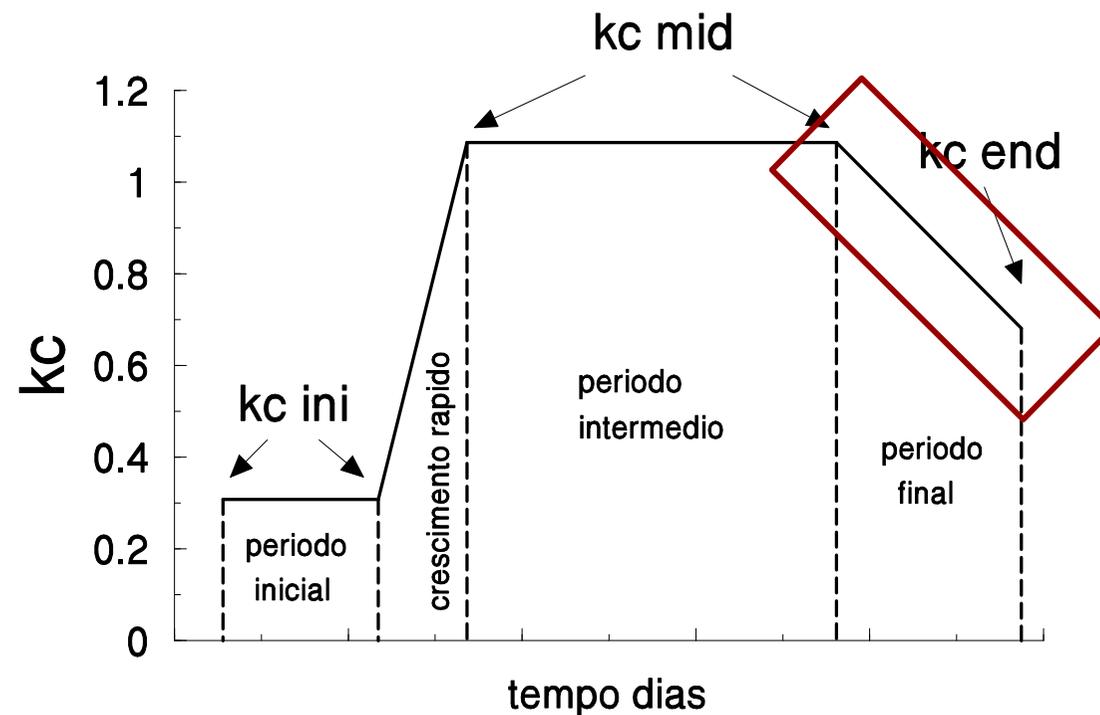
$K_c \text{ mid} = 1.2$

3. Período final, $K_{c\text{ end}}$: desde o início da senescência até à senescência completa, ou colheita

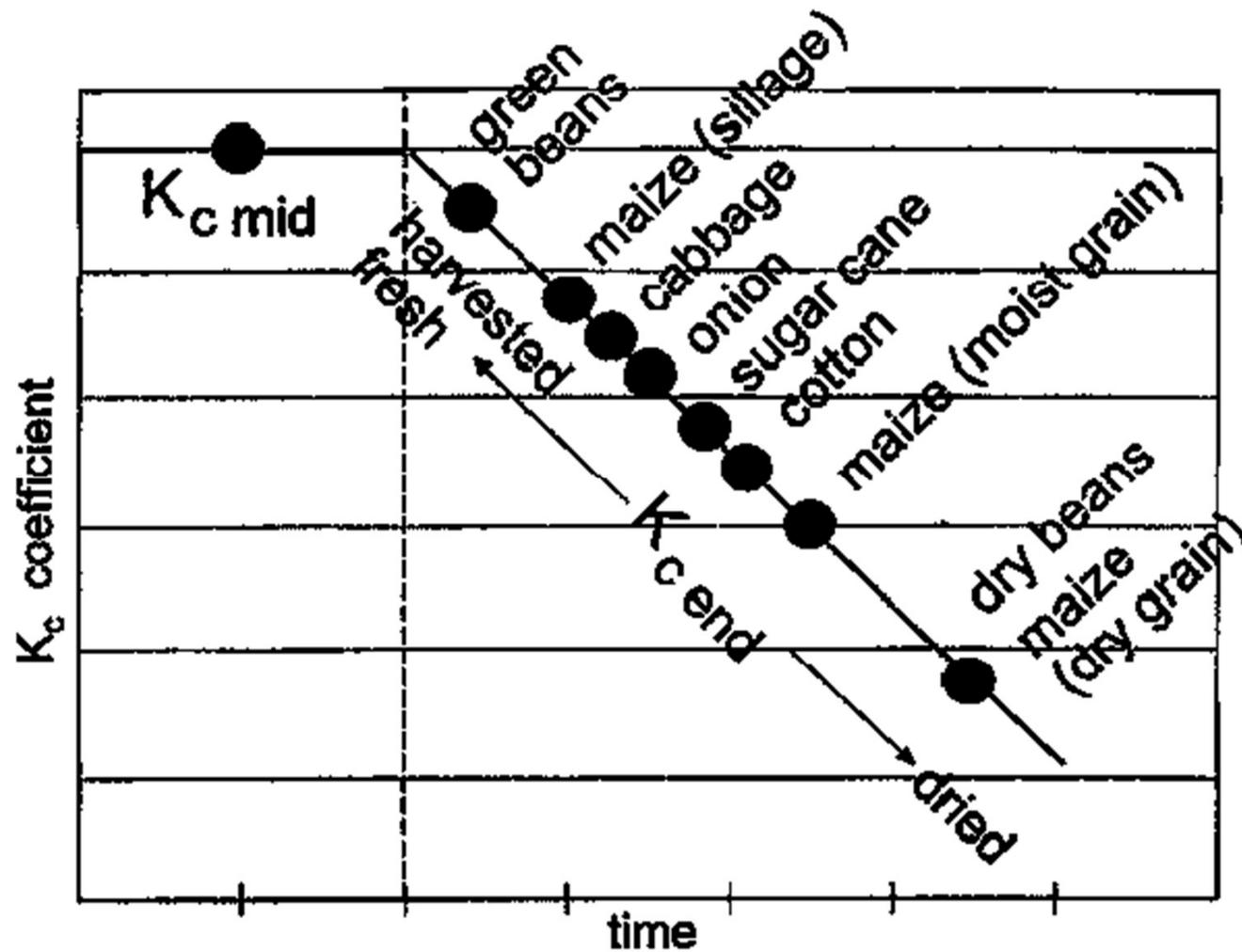
O valor de $K_{c\text{ end}}$ reflete as práticas de gestão das culturas

cultura regada com frequência e colhida em fresco $\Rightarrow K_{c\text{ end}}$ alto

colheita após senescência $\Rightarrow K_{c\text{ end}}$ baixo



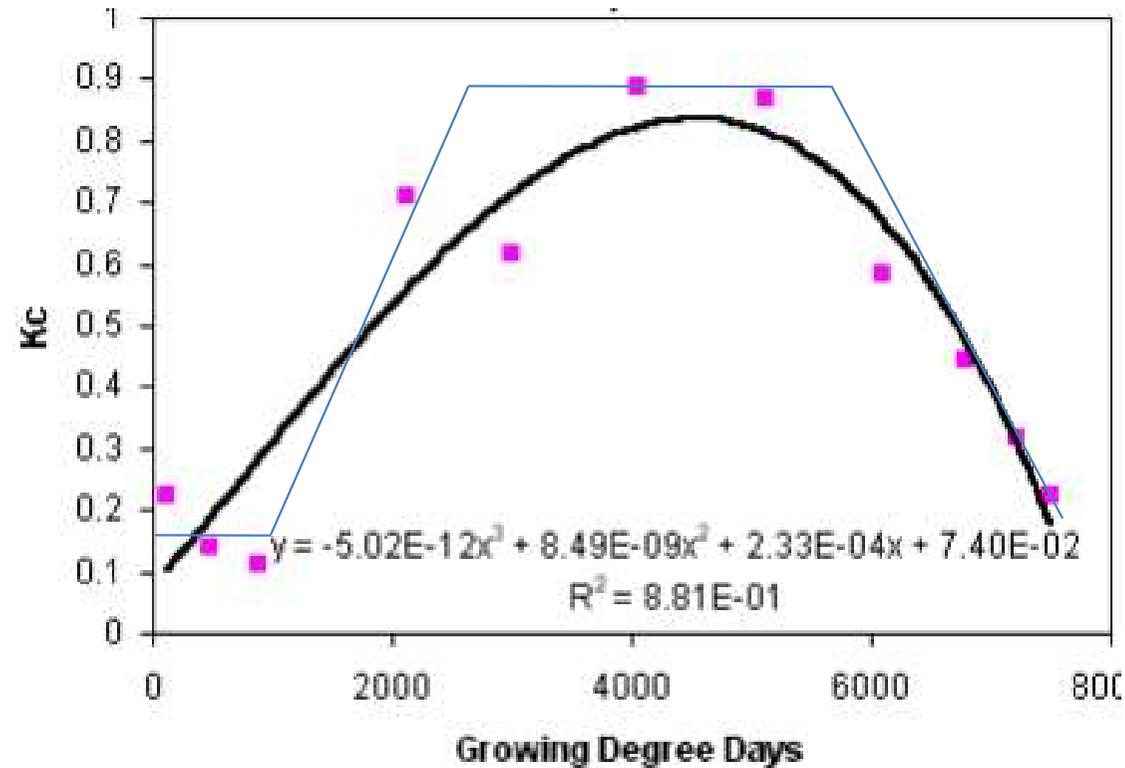
Variação do Kc com a data de colheita



Correcção para o clima

$$K_{c\ end} = K_{c\ end\ tab} + \left[0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{\min} - 45) \left(\frac{h}{3} \right)^{0.3} \right]$$

OUTRAS APROXIMAÇÕES AOS Kcs

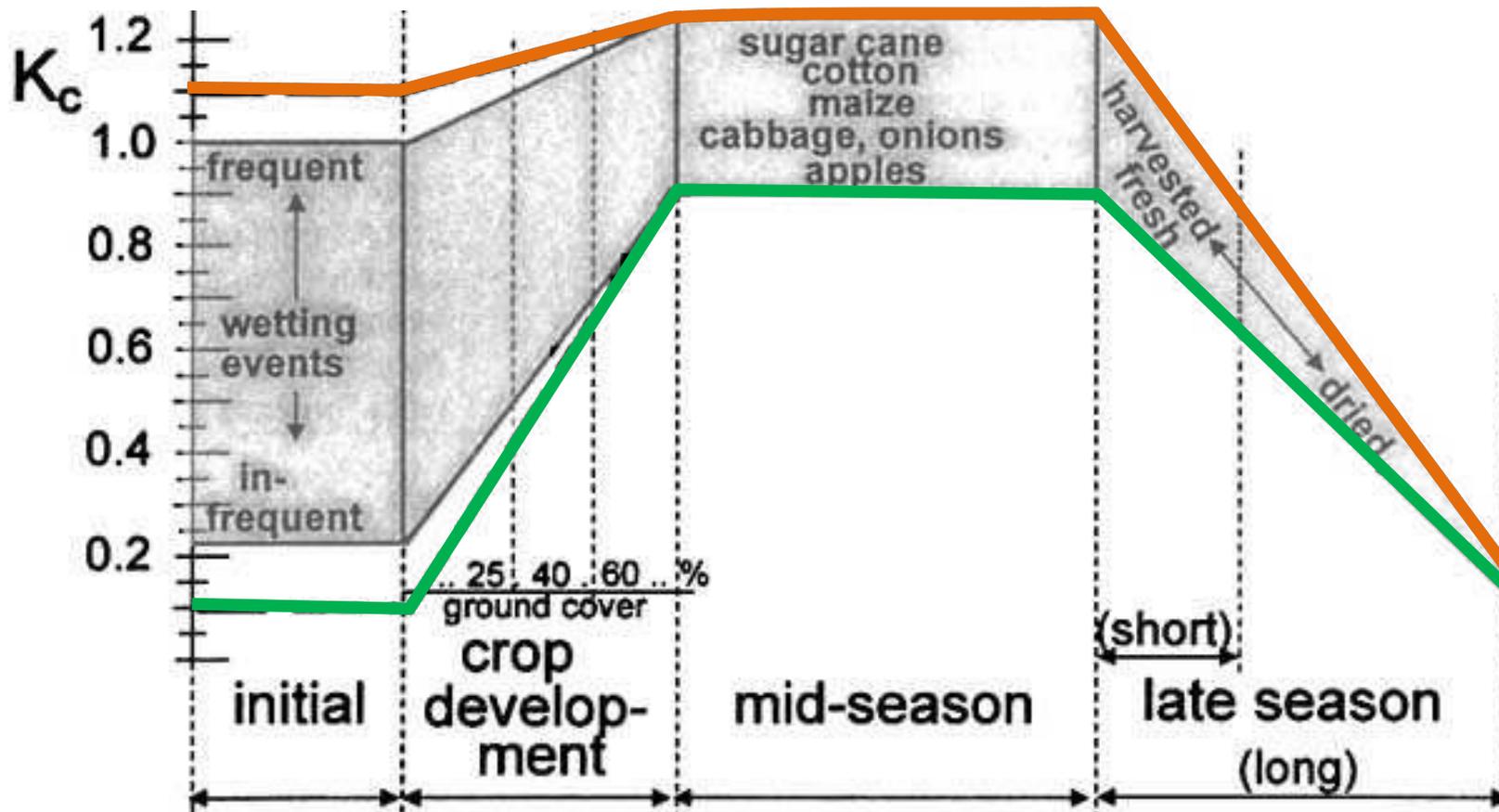


Mean values found for estimated crop coefficients were 0.57, 0.13 and 0.70 for K_e , K_{cb} and K_c respectively during initial growth stage, and 0.01, 0.81 and 0.82 for K_e , K_{cb} and K_c respectively during the mid-season stage.

Alves, M. E. B., Mantovani, E. C., Sedyama, G. C., & Neves, J. C. L. (2013). Estimate of the crop coefficient for **Eucalyptus** cultivated under irrigation during initial growth. *Cerne*, 19(2), 247-253.

Em resumo :

Variação de K_c para diferentes culturas influenciada pelos diversos fatores



Factores que afectam o K_c nos 4 estádios

Fatores	Evaporação do solo	Cobertura do solo e desenvolvimento da cultura	Tipo de cultura Humidade do ar Velocidade do vento	Tipo de cultura Data de colheita Humidade do ar Velocidade do vento
----------------	--------------------	--	--	--

Bibliografia:

- Pereira, L.S., 2004. *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa-América
- Oliveira, I., 1993. Técnicas de regadio. *Edição do Autor*.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300(9)*, p.D05109.

[Link para FAO 56](#)

Kc actualizados

- Pereira, L.S., Paredes, P., Lopez-Urrea, R., Hunsaker, D.J., Mota, M., Mohammadi Shad, Z. (2021a). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management* **243**, 106196.
- Pereira, L.S., Paredes, P., Hunsaker, D.J., López-Urrea, R., Mohammadi Shad, Z. (2021b). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management* **243**, 106466.
- Rallo, G., Paço, T.A., Puig, A., Paredes, P., Massai, R., Provenzano, G., Pereira, L.S. (2021) . Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agricultural Water Management* **250**, 106645.