



# 3. RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

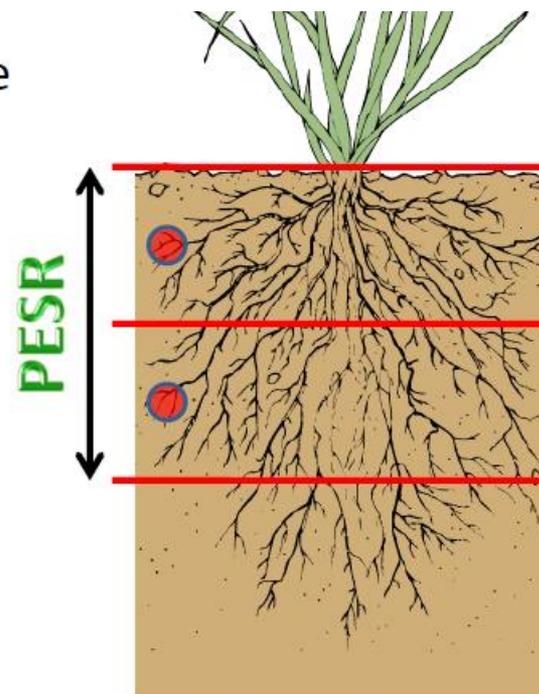
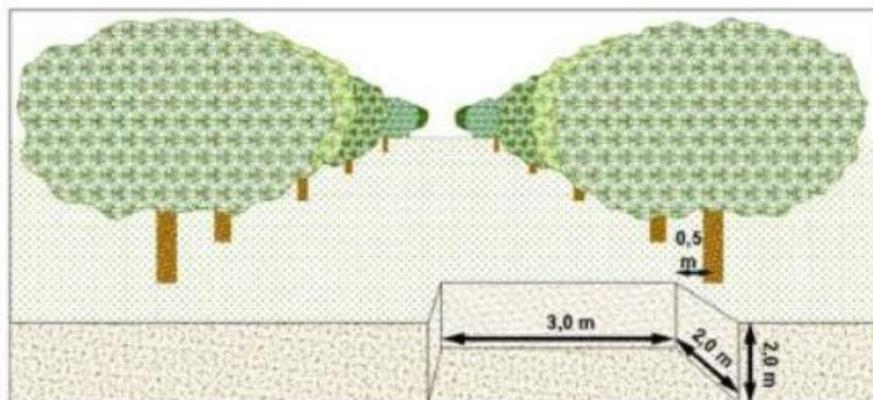
LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP

Prof. Patricia A A Marques

## CONSIDERAÇÕES SOBRE A AMOSTRAGEM NO CAMPO

A profundidade de amostragem deverá ser compatível com PESR (Profundidade efetiva do sistema radicular) ou também denominada como **Z**

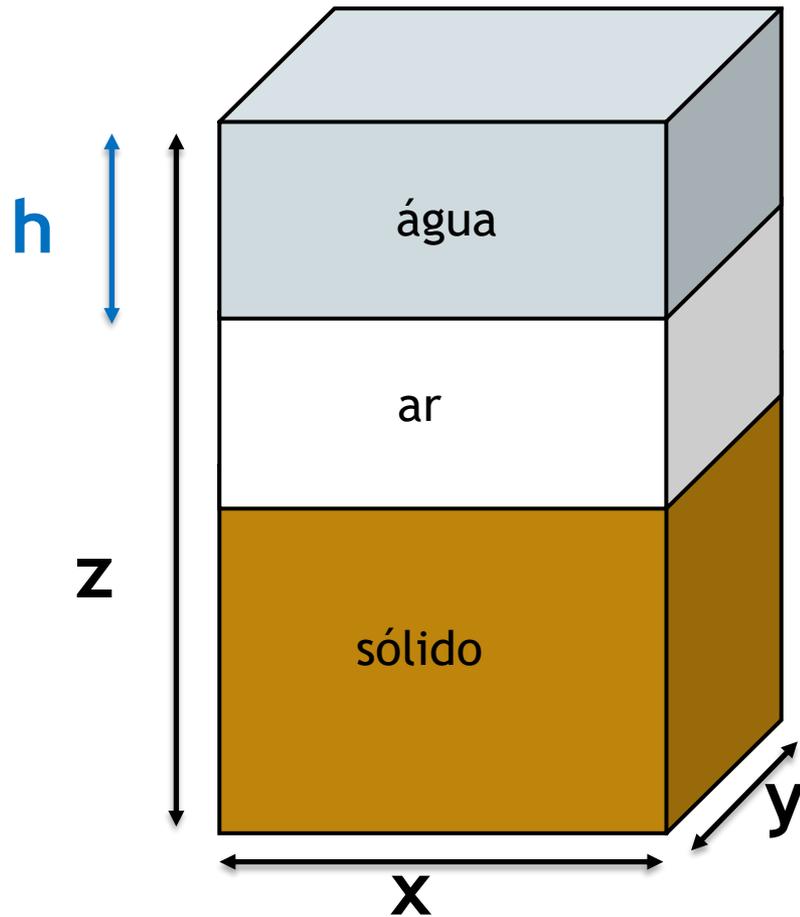
→ A PESR poderá ser analisada através de trincheiras (evitar PESR tabelados);



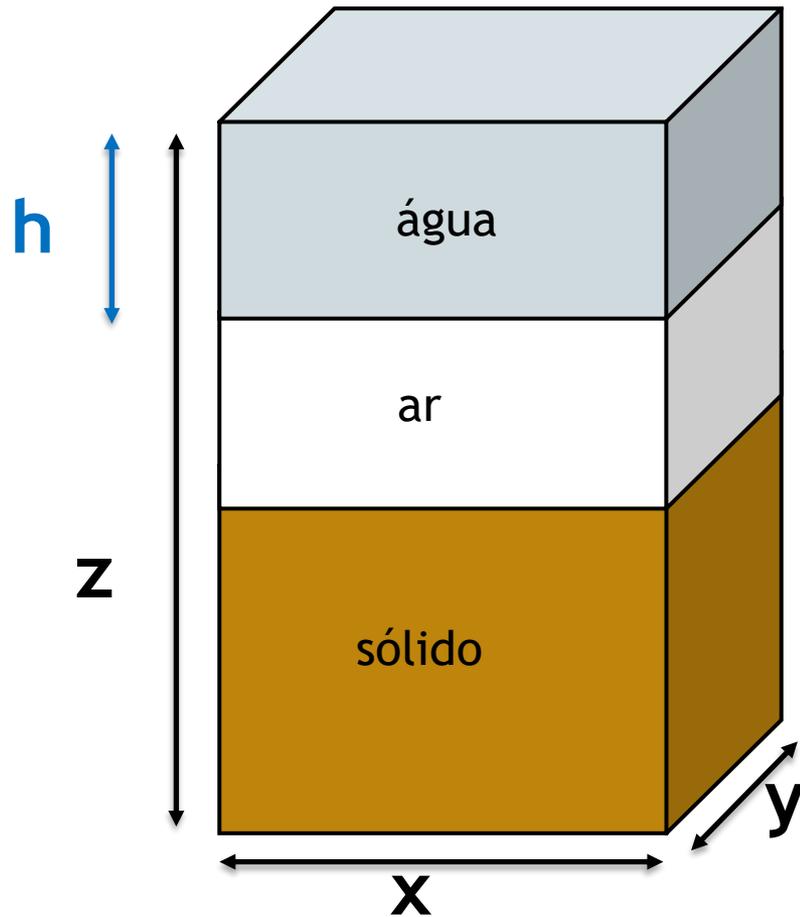
→ Deve-se amostrar no mínimo duas profundidades

<b>CULTURA</b>	<b>Z (cm)</b>	<b>CULTURA</b>	<b>Z (cm)</b>	<b>CULTURA</b>	<b>Z (cm)</b>
Abacate	60 - 90	Beterraba	40	Milho	40
Abacaxi	20 - 40	Café	40 - 60	Morango	20 - 30
Abóbora	50	cana-de-açúcar	40	Nabo	55 - 80
Alcachofra	70	Cebola	20 - 40	Pastagem	30
Alface	20 - 30	Cenoura	35 - 60	Pepino	35 - 50
Alfafa	60	Couve	25 - 50	Pêssego	60
Algodão	60	Couve – flor	25 - 50	Pimenta	50
Alho	20 - 30	Ervilha	50 - 70	Pimentão	30 - 70
Amendoim	30	Espinafre	40 - 70	Rabanete	20 - 30
Arroz	20 - 40	Feijão	40	Rami	30
Aspargo	120 - 160	Laranja	60	Soja	30 - 40
Aveia	40	Linho	20	Tabaco	30
Banana	40	Maçã	60	Tomate	40
Batata	25 - 60	Mangueira	60	Trigo	30 - 40
Batata-doce	50 - 100	Melancia	40 - 50	Vagem	40
Berinjela	50	Melão	30 - 50	Videira	60

# Lâmina de água - h



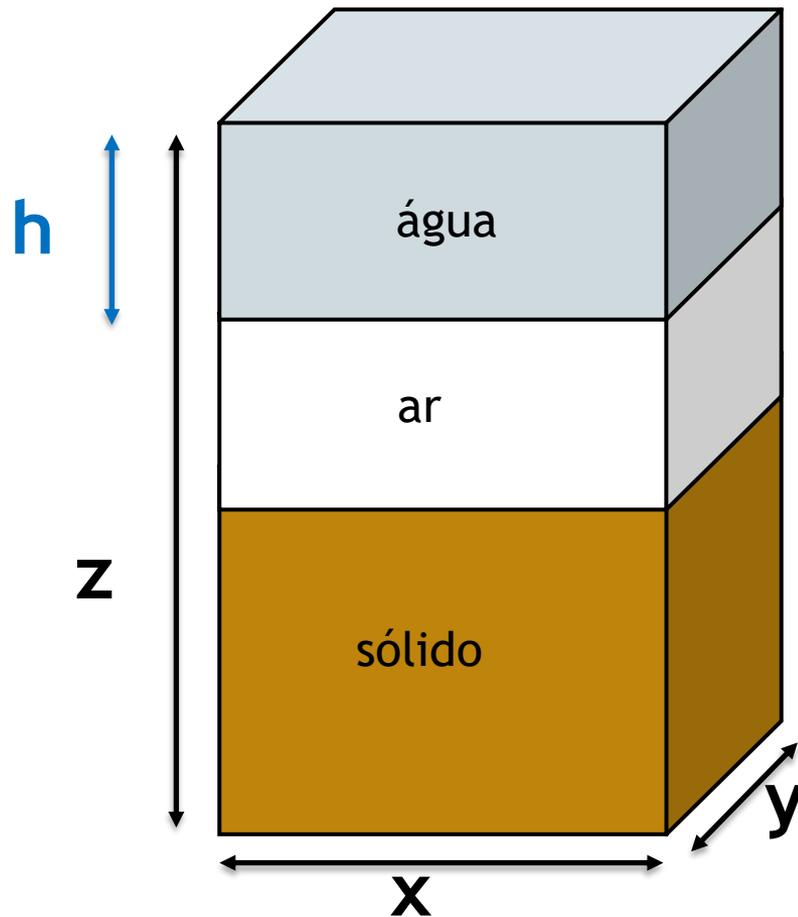
# Lâmina de água - h



▶  $V_t = x \cdot y \cdot z$

▶  $V_w = x \cdot y \cdot h$

# Lâmina de água - h



▶  $V_t = x \cdot y \cdot z$

▶  $V_w = x \cdot y \cdot h$

▶  $\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{x \cdot y \cdot h}{x \cdot y \cdot z} = \frac{h}{z}$

▶  $h \text{ (cm)} = \theta \cdot z \text{ (cm)}$

$$h \text{ (cm)} = \theta \cdot z \text{ (cm)}$$

$$h \text{ (mm)} = 10 \cdot \theta \cdot z \text{ (cm)}$$

$$h \text{ (mm)} = 10 \cdot U \cdot dg \cdot z \text{ (cm)}$$

Exemplo 1: Qual a lâmina de água necessária (mm e  $\text{m}^3$  por ha) para elevar a umidade de um solo de  $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  para  $0,25 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , sendo a profundidade efetiva do sistema radicular de 20 cm?

Exemplo 1: Qual a lâmina de água necessária (mm e m<sup>3</sup> por ha) para elevar a umidade de um solo de 0,1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> para 0,25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, sendo a profundidade efetiva do sistema radicular de 20 cm?

$$h_i = 10 \cdot \theta_i \cdot z = 10 \cdot 0,1 \cdot 20 = 20 \text{ mm}$$

$$h_f = 10 \cdot \theta_f \cdot z = 10 \cdot 0,25 \cdot 20 = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Lâmina necessária} = 50 - 20 = 30 \text{ mm}$$

$$30 \text{ mm} = 300 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

$$30 \text{ mm} = 300 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$1\text{mm} = \frac{1\text{L}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ ha} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$1\text{mm} = \frac{1\text{L}}{\text{m}^2} \cdot \frac{10.000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1.000 \text{ L}} = \frac{10 \text{ m}^3}{\text{ha}}$$

Exemplo 1: Qual a lâmina de água necessária (mm e m<sup>3</sup> por ha) para elevar a umidade de um solo de 0,1 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> para 0,25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, sendo a profundidade efetiva do sistema radicular de 20 cm?

$$\Delta h = h_f - h_i$$

$$\Delta h = (10 \cdot \theta_f \cdot z) - (10 \cdot \theta_i \cdot z) = (\theta_f - \theta_i) \cdot 10 \cdot z$$

$$\Delta h = (0,25 - 0,10) \cdot 10 \cdot 20 = 30 \text{ mm} = 300 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Exemplo 2: Qual a lâmina de água necessária (responder em mm e m<sup>3</sup> por ha) para elevar a umidade de um solo de 0,1 g/g para 0,25 g/g, sendo a profundidade de efetiva do sistema radicular de 20 cm e  $d_s = 1,4 \text{ g/cm}^3$  ?

$$\Delta h = h_f - h_i$$

$$\Delta h = (\theta_f - \theta_i) \cdot 10 \cdot z = (U_f - U_i) \cdot 10 \cdot z \cdot d_s$$

$$\Delta h = (0,25 - 0,10) \cdot 10 \cdot 20 \cdot 1,4$$

$$42 \text{ mm} = 420 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Exemplo 3: Dados  $U_i = 14\%$ ;  $d_s = 1,35 \text{ g/cm}^3$  e  $z = 30 \text{ cm}$ , qual a nova umidade após uma chuva de 35mm?

$$\Delta h = (U_f - U_i) \cdot 10 \cdot z \cdot d_s$$

$$35 = (U_f - 0,14) \cdot 10 \cdot 30 \cdot 1,35$$

$$U_f = 0,226 \text{ g/g} = 22,6\%$$

Exemplo 4:  $U_i = 11\%$ ;  $U_f$  desejada de  $23\%$ ,  $d_s = d_g = 1,35 \text{ g/cm}^3$ ,  $z = 50 \text{ cm}$  e aspersores com intensidade de aplicação de  $10 \text{ mm/h}$ .

Pede-se: qual o tempo para elevar a umidade do solo de  $U_i$  para  $U_f$ ?

$$\Delta h = (U_f - U_i) \cdot 10 \cdot z \cdot d_s$$

$$\Delta h = h = (0,23 - 0,11) \cdot 10 \cdot 50 \cdot 1,35$$

$$h = 81 \text{ mm}$$

Exemplo 4:  $U_i = 11\%$ ;  $U_f$  desejada de  $23\%$ ,  $d_s = d_g = 1,35 \text{ g/cm}^3$ ,  $z = 50 \text{ cm}$  e aspersores com intensidade de aplicação de  $10 \text{ mm/h}$ .

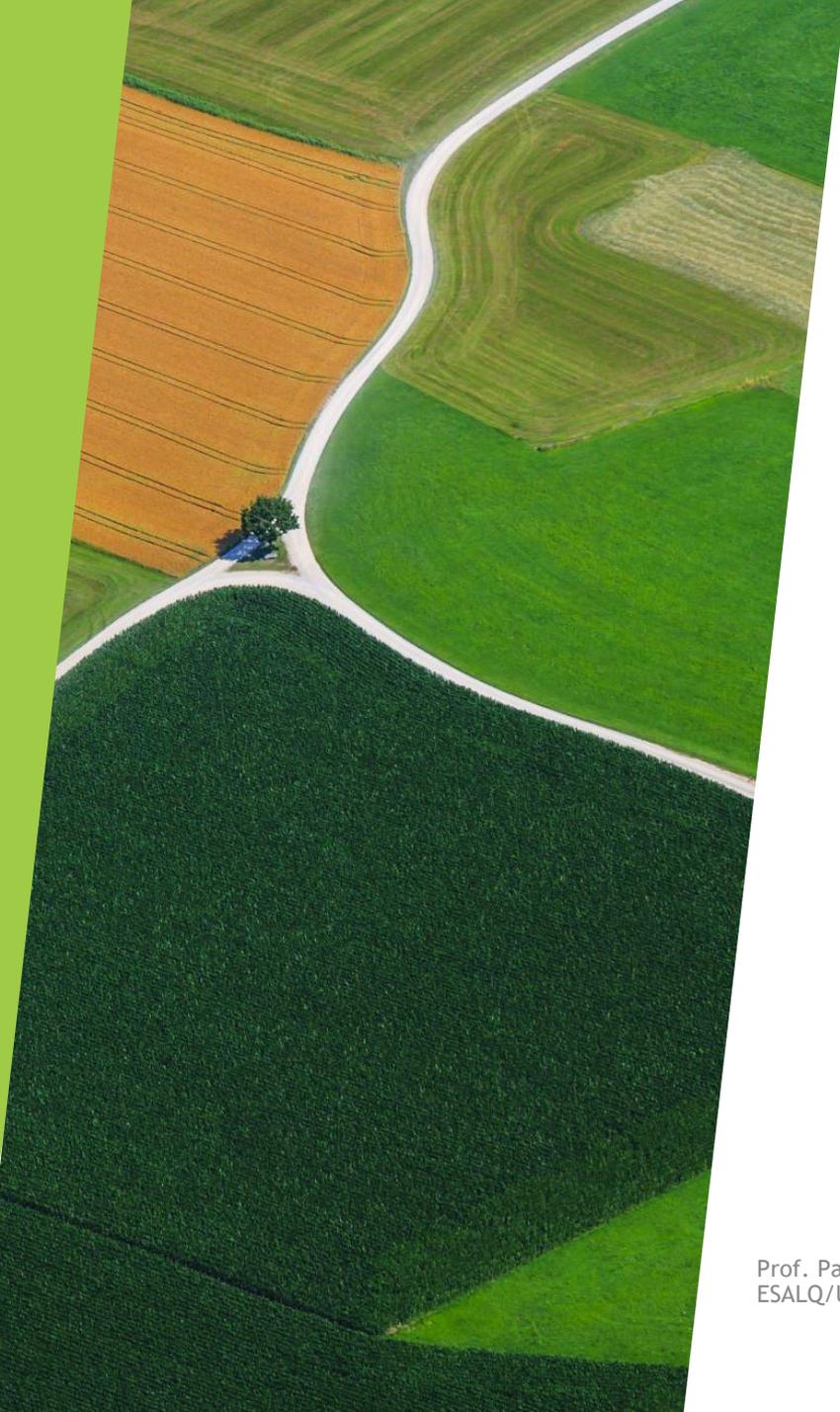
Pede-se: qual o tempo para elevar a umidade do solo de  $U_i$  para  $U_f$ ?

$$\Delta h = (U_f - U_i) \cdot 10 \cdot z \cdot d_s$$

$$\Delta h = h = (0,23 - 0,11) \cdot 10 \cdot 50 \cdot 1,35$$

$$h = 81 \text{ mm}$$

$$T_i(h) = \frac{h(\text{mm})}{I_a \left(\frac{\text{mm}}{h}\right)} = \frac{81 \text{ mm}}{10 \frac{\text{mm}}{h}} = 8,1 \text{ h}$$



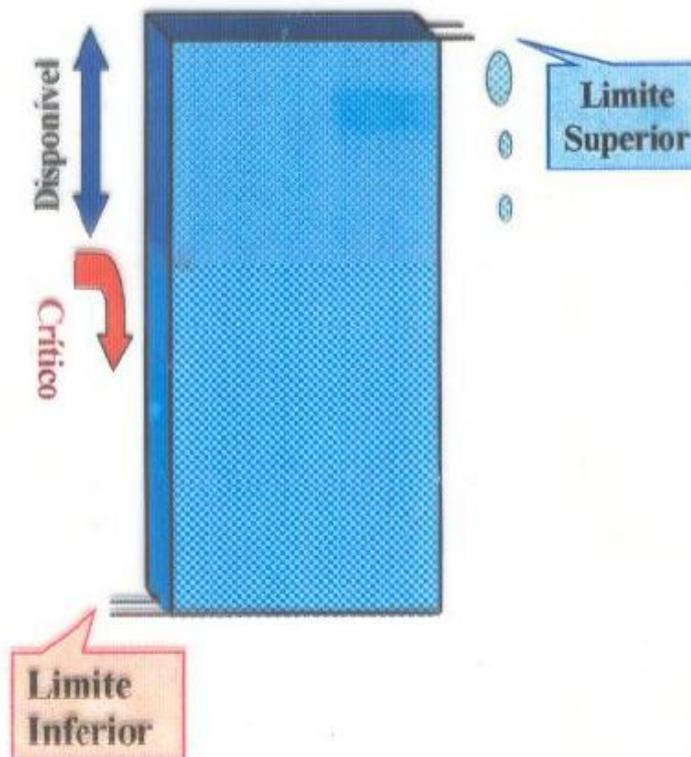
# CONSTANTES DE UMIDADE DO SOLO

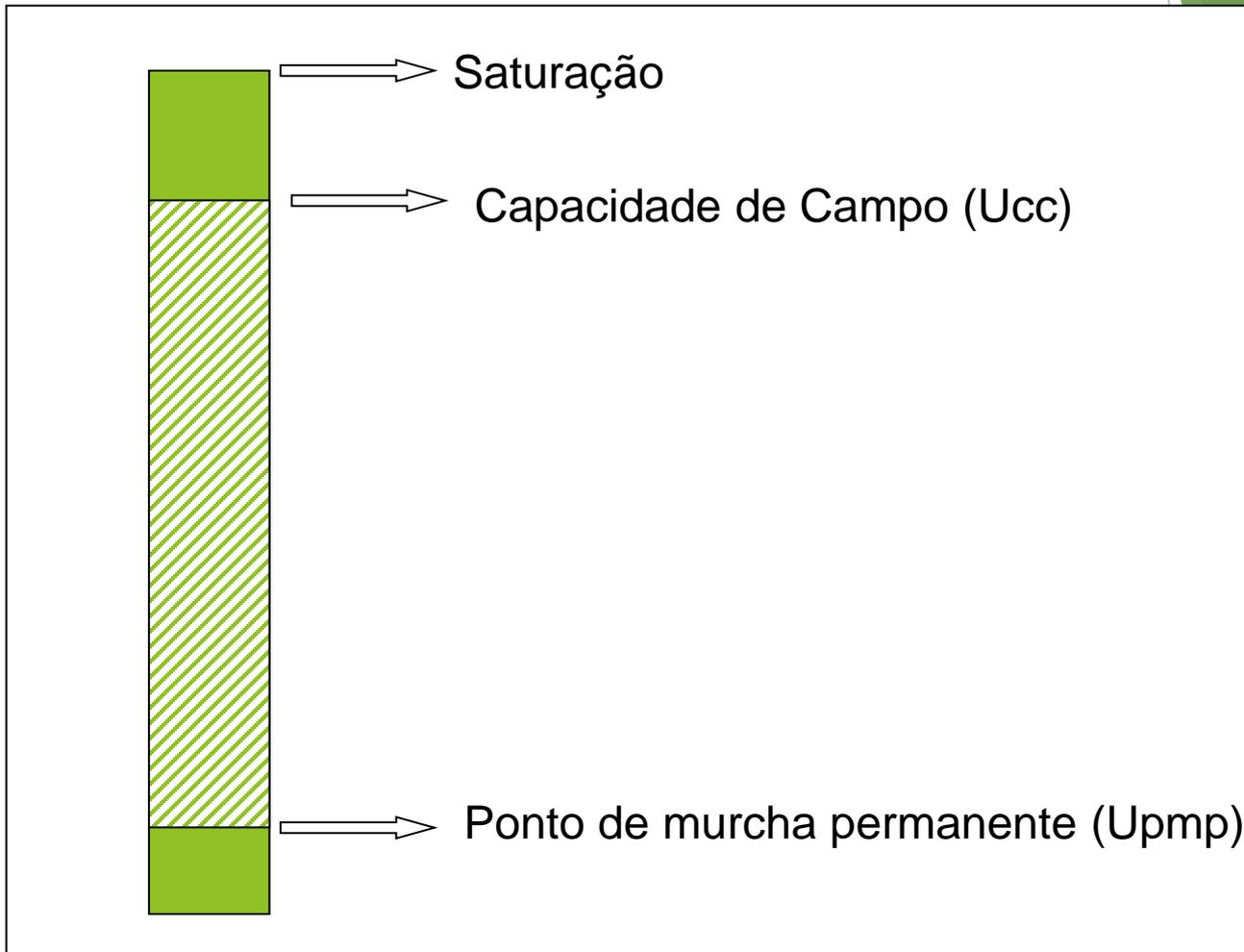
Prof. Patricia A A Marques LEB 1571 Irrigação  
ESALQ/USP

## O SOLO AGRÍCOLA



## O SOLO COMO UM RESERVATÓRIO DE ÁGUA





## Capacidade de campo (cc)

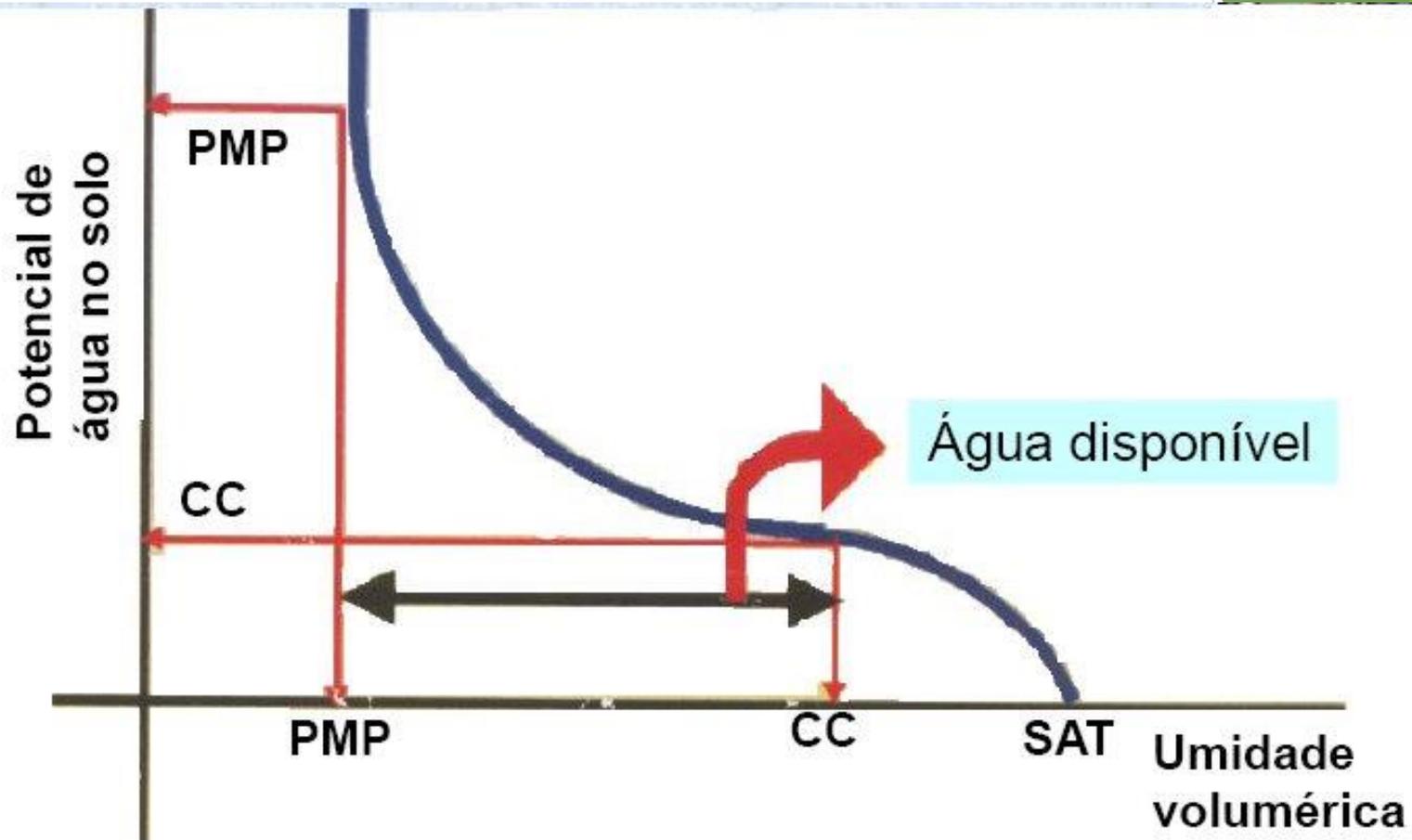
Máxima capacidade de água que o solo é capaz de reter após o excesso ter sido drenado

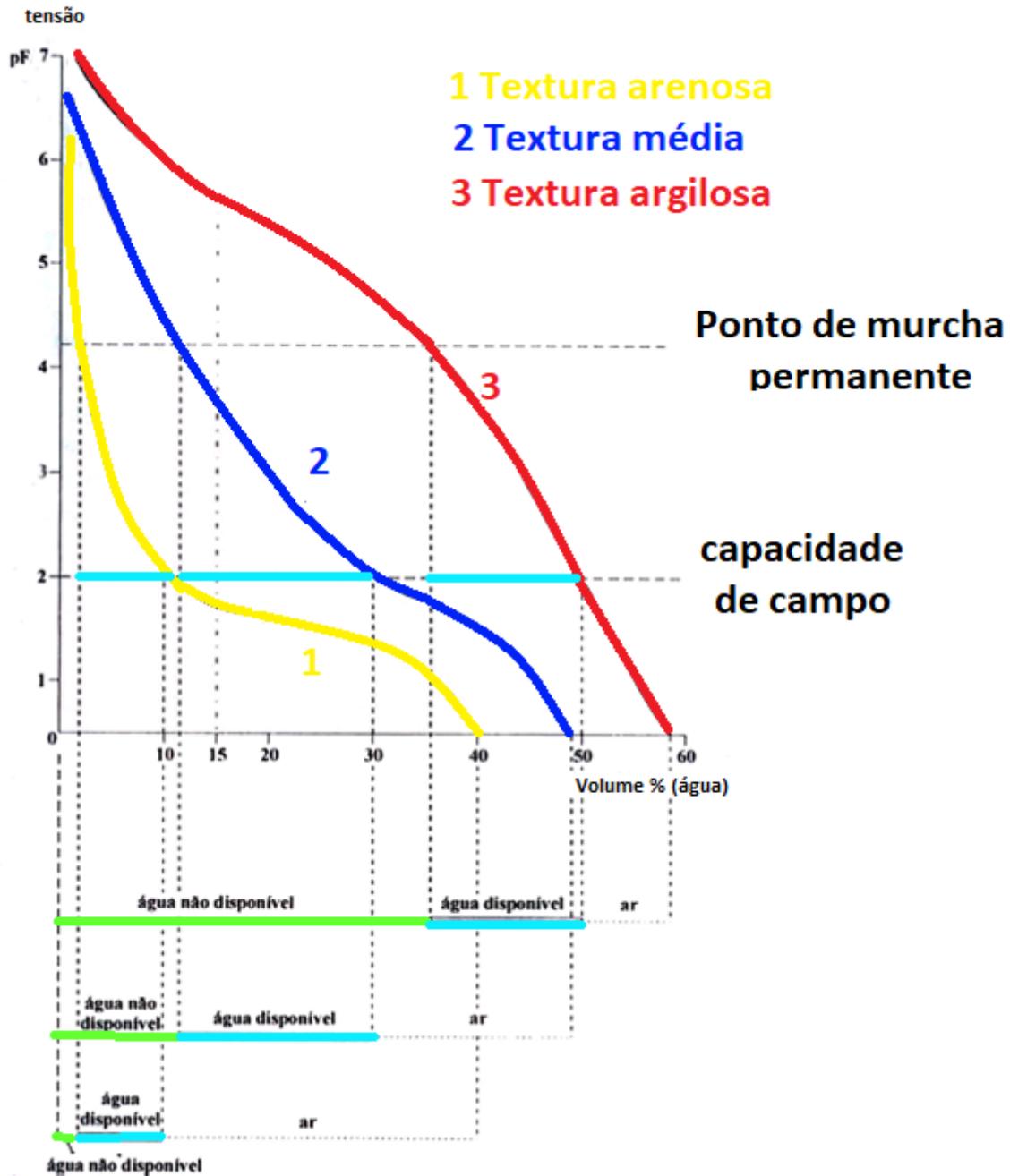
Varia com a textura do solo

Ideal por camadas do solo

potencial matricial

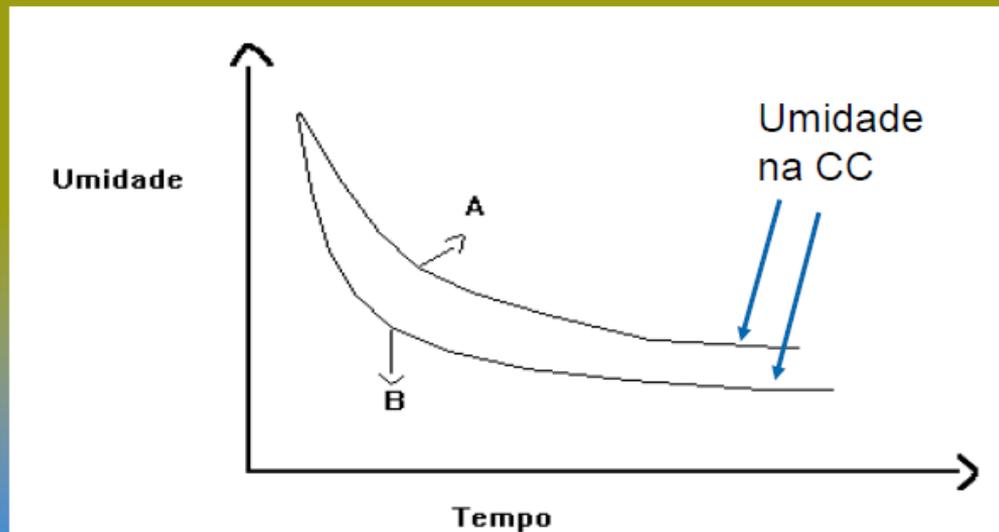
-10 a -30 kPa (-0,1 a -0,3 bar)





## DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CAMPO NO CAMPO

- Saturar a área até a prof. pré definida
- Cobrir com plástico (evitar evaporação e chuvas)
- Determinar a umidade em intervalos de 24 horas
- Quando o valor ficar constante CC
- 2 a 3 dias



# Determinação: Laboratório

- Obtenção da curva de retenção ou curva característica do solo
- Solos argilosos → 0,33 atm
- = 0,033MPa = 33,43kPa
- = 0,3343 bar
- Solos arenosos → 0,1 atm
- = 0.0101 Mpa = 10 kPa
- = 0,101 bar

# Determinação: Laboratório

- Mesa de tensão e Câmara de Richards



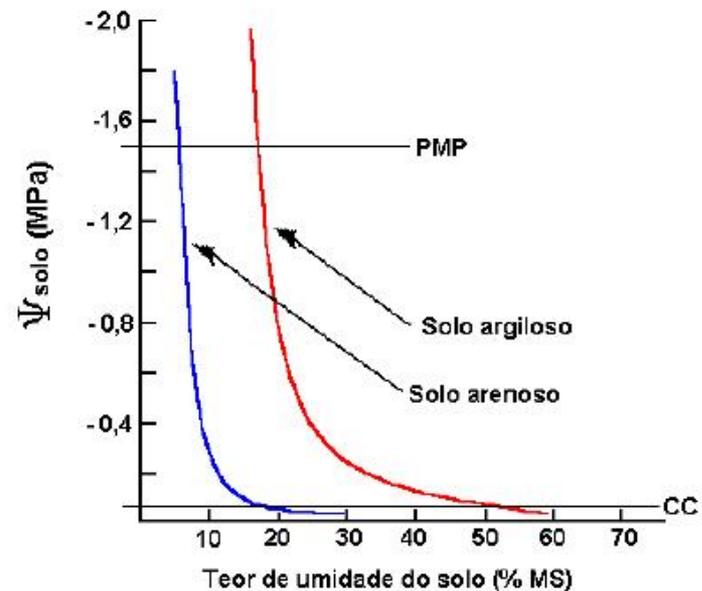


## Câmara de Richards

Potencial de água no solo e curva de retenção

<https://www.youtube.com/watch?v=fi0-OJHbc4A>

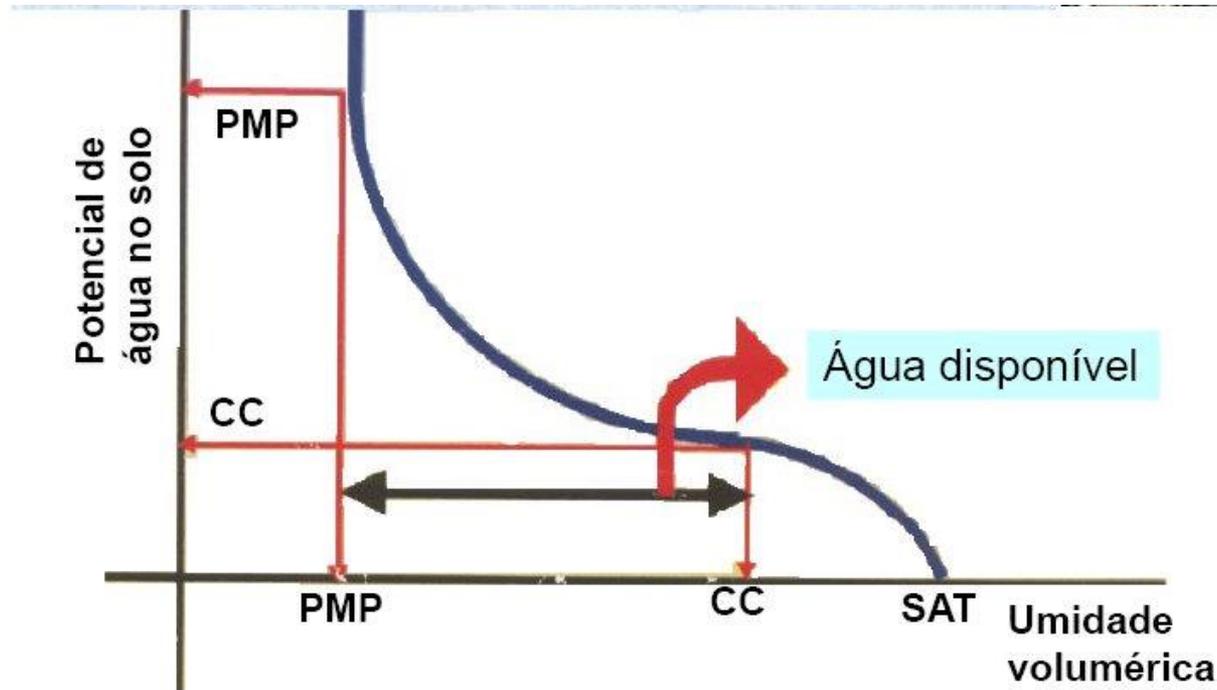
## Curva de retenção



Ajuste em Excel utilizando solver  
[https://www.youtube.com/watch?v=GHM\\_44IPRac](https://www.youtube.com/watch?v=GHM_44IPRac)

## Ponto de murcha permanente (pmp)

Limite mínimo de água armazenada no solo que pode ser utilizada pelas plantas.  
potencial matricial no solo de -1500 kPa (-15 bar).



## Determinação: Método do girassol

- Conduzir a cultura até ter 3 pares de folhas
- Cortar suprimento de água
- Aguardar as folhas murcharem
- Colocar a planta em câmara úmida e escura até que restabeleça a turgidez
- Recolocar a planta em ambiente aberto até as folhas murcharem
- Repetir o procedimento até que a planta não recupere a turgidez
- Determinar a umidade do solo → pmp

## Determinação: Laboratório

- Considera-se a umidade instantânea do solo quando submetido à tensão de 15 atm

<b>textura</b>	<b>Ucc</b>	<b>Upmp</b>	<b>Densidade do solo (ds ou dg em g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arenoso	9 (6-12)	4 (2-6)	1,65 (1,55-1,8)
Barro arenoso	14 (10-18)	6 (4-8)	1,5 (1,4-1,6)
Barro	22 (18-26)	10 (6-12)	1,4 (1,35-5)
Barro argiloso	27 (23-31)	13 (11-15)	1,35 (1,3-1,4)
Argiloso	35 (31-39)	17 (15-19)	1,25 (1,2-1,3)

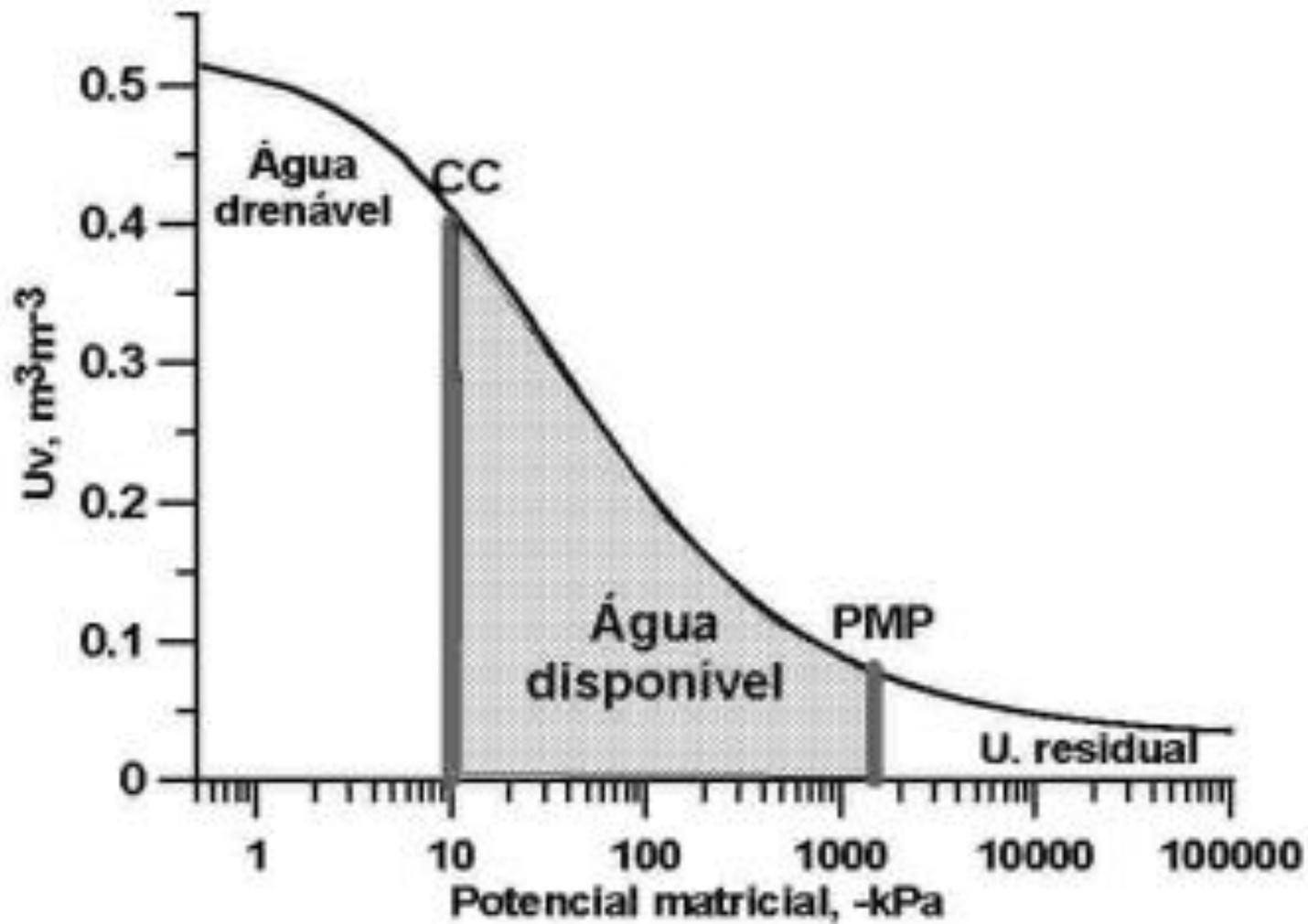
# DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA AS PLANTA

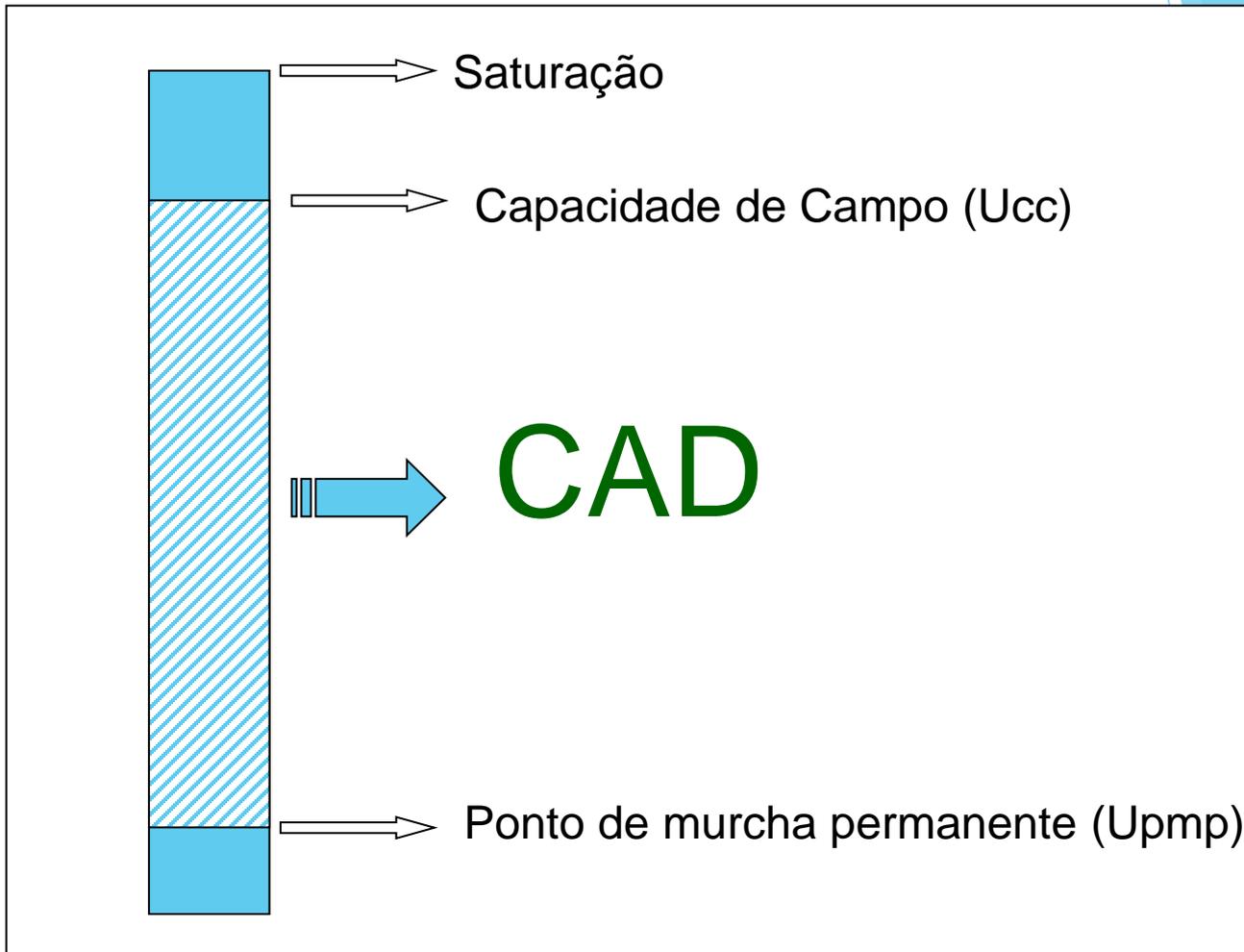
Disponibilidade total de água (DTA)  
ou Capacidade de água disponível  
(CAD)

Disponibilidade real de água (DRA) ou  
Capacidade real de água (CRA)

Fator  $f$ : Fator de disponibilidade ou  
de esgotamento de água disponível.

# Disponibilidade total de água (DTA) ou Capacidade de água disponível (CAD)





$$\text{CAD} = \text{DTA} = \Delta h = h_f - h_i$$

$$\text{CAD} = \text{DTA} = (\theta_f - \theta_i) \cdot 10 \cdot z$$

$$\text{CAD} = \text{DTA} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot 10 \cdot z \rightarrow \text{para } \theta \text{ em decimal}$$

$$CAD = DTA = \Delta h = h_f - h_i$$

$$CAD = DTA = (\theta_f - \theta_i) \cdot 10 \cdot z$$

$$CAD = DTA = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot 10 \cdot z \rightarrow \text{para } \theta \text{ em decimal}$$

$$CAD = DTA = \frac{(\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot 10 \cdot z}{100} \rightarrow \text{para } \theta\%$$

$$CAD = DTA = \frac{(U_{cc} - U_{pmp}) \cdot 10 \cdot z \cdot ds}{100} \rightarrow \text{para } U\%$$

$$CAD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot ds \cdot z$$

$U_{cc}$  - umidade do solo em capacidade de campo (%)

$U_{pmp}$  - umidade do solo em ponto de murcha permanente (%)

$ds$  - densidade do solo ( $g/cm^3$ )

$z$  - profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

CAD em mm

# Disponibilidade real de água (DRA) ou Capacidade real de água (CRA)

$$DRA = CAD \cdot f$$

É a fração da CAD que é facilmente retirada do solo pela cultura.

*f* - Fator ou fração de disponibilidade - é o percentual sobre o total da água disponível CAD, a fim de que a cultura não sofra redução em sua taxa máxima de evapotranspiração

- Doorenbos e Kassan (1979) sugerem valores de  $f$  em função do grupo ao qual pertence a cultura e da evapotranspiração máxima diária.

Grupo 1: cebola, pimenta, batata, alho, folhosas;

Grupo 2: banana, repolho, uva, tomate, ervilha;

Grupo 3: alfafa, feijão, cítricas, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo;

Grupo 4: algodão, milho, azeitona, sorgo, cana-de-açúcar, soja, e fumo.

<b>Grupo da Cultura</b>	<b>Etc (mm/dia)</b>								
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,17
<b>2</b>	0,67	0,57	0,47	0,40	0,35	0,32	0,27	0,25	0,22
<b>3</b>	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,37	0,35	0,30
<b>4</b>	0,87	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

- Exemplo 5:

Duas propriedades produzem banana. A Propriedade A apresenta  $E_{tm}$  de 4 mm/dia e a propriedade B apresenta  $E_{tm}$  e 6 mm/dia. Qual o fator de disponibilidade ( $f$ ) deverá ser utilizado para as duas propriedades?

- Doorenbos e Kassan (1979) sugerem valores de  $f$  em função do grupo ao qual pertence a cultura e da evapotranspiração máxima diária.

Grupo 1: cebola, pimenta, batata, alho, folhosas;

Grupo 2: banana, repolho, uva, tomate, ervilha;

Grupo 3: alfafa, feijão, cítricas, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo;

Grupo 4: algodão, milho, azeitona, sorgo, cana-de-açúcar, soja, e fumo.

Grupo da Cultura	Etc (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,17
2	0,67	0,57	0,47	0,40	0,35	0,32	0,27	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,37	0,35	0,30
4	0,87	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

- Exemplo 6:

Considerando as seguintes condições: Cana-de-açúcar;  $z = 0,5$  m;  $ET_m = 4$ mm/dia;  $U_{cc}$  de 22%;  $U_{pmp}$  de 11% e  $d_s = 1,3$  g/cm<sup>3</sup>.

Pede-se:

- a) DTA ou CAD
- b) DRA
- c) TR máximo
- d) Umidade crítica que se deve proceder a irrigação

## a) DTA ou CAD

$$DTA = CAD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot ds \cdot z = \frac{(22 - 11)}{10} \cdot 1,3 \cdot 50$$

$$DTA = CAD = 71,5 \text{ mm}$$

## a) DTA ou CAD

$$DTA = CAD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot ds \cdot z = \frac{(22 - 11)}{10} \cdot 1,3 \cdot 50$$

$$DTA = CAD = 71,5 \text{ mm}$$

## b) DRA

f = para cana e  $E_{tm} = 4\text{mm}/\text{dia} \rightarrow$  grupo 4

$$f = 0,70$$

$$DRA = CAD \cdot f = 71,5 \cdot 0,70 = 50,05 \text{ mm}$$

### c) TR máximo

$$TR = \frac{DRA \text{ (mm)}}{E_{tm} \text{ (mm/dia)}} =$$

$$TR = \frac{50,05 \text{ (mm)}}{4 \text{ (mm/dia)}} =$$

$$TR = 12,5 \text{ dias} = 12 \text{ dias}$$

d) Umidade crítica que se deve proceder a irrigação

$$DRA = CAD \cdot f$$

$$f = \frac{DRA}{CAD} = \frac{\frac{(U_{cc} - U_{crítica}) \cdot z \cdot ds}{10}}{\frac{(U_{cc} - U_{pmp}) \cdot z \cdot ds}{10}} = \frac{(U_{cc} - U_{crítica})}{(U_{cc} - U_{pmp})}$$

Assim

$$U_{crítica} = U_{cc} - f \cdot (U_{cc} - U_{pmp})$$

$$U_{crítica} = 22 - 0,70 \cdot (22 - 11) = 14,3\%$$

- Exemplo 6:

Tem-se 2 propriedades: A e B. A  $E_{tm}$  de A é de 2mm/dia e em B é de 6mm/dia. O solo e a cultura nas duas propriedades são iguais e com as seguintes características: cebola com  $z$  de 30 cm;  $U_{cc}$  de 22%;  $U_{pmp}$  de 11% e  $d_s = 1,3 \text{ g/cm}^3$ .

Pede-se para CADA propriedade:

- a) CAD ou DTA;
- b) DRA;
- c)  $TR_{\text{máximo}}$ ;
- d) Umidade crítica que se deve proceder a irrigação

	Propriedade A	Propriedade B
cultura		cebola
E <sub>tm</sub> (mm/dia)	2	6
solo	U <sub>cc</sub> = 22%, U <sub>pmp</sub> = 11%, d <sub>s</sub> = 1,3 g/cm <sup>3</sup>	
z (cm)	30	
CAD (mm)	42,9	42,9
f	0,50	0,25
DRA (mm)	21,45	10,73
TR (dias)	10	1
U <sub>crítica</sub> (U%)	16,5	19,25



**Bom estudo e boa semana!!**