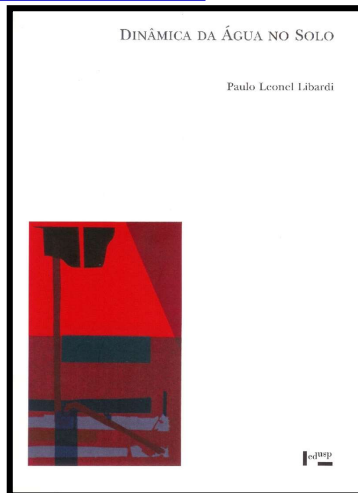
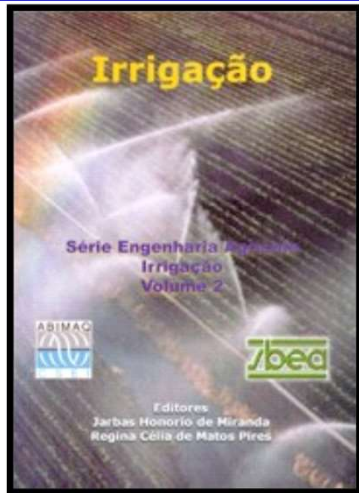


4) Movimento da Água no solo - Bibliografia



4) Movimento da Água no solo

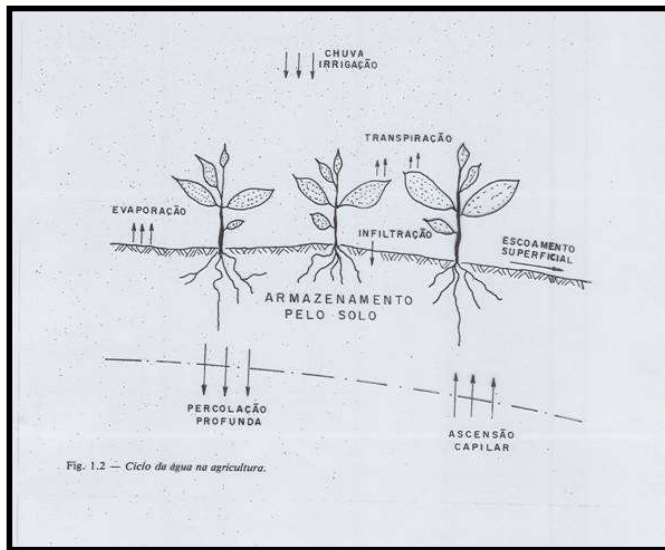
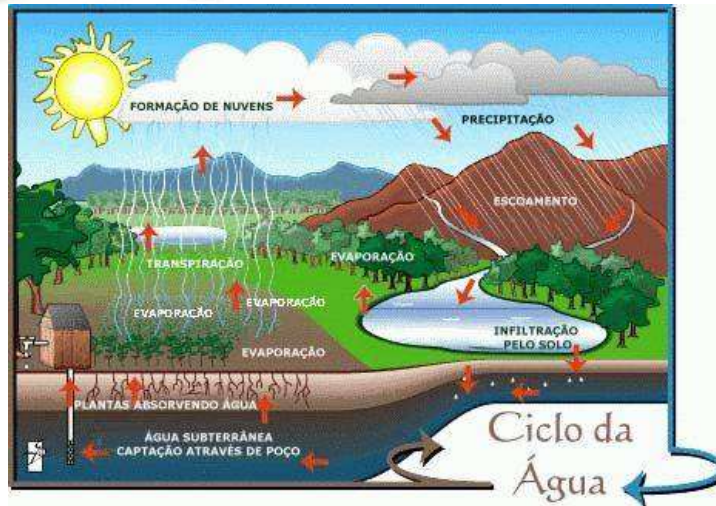
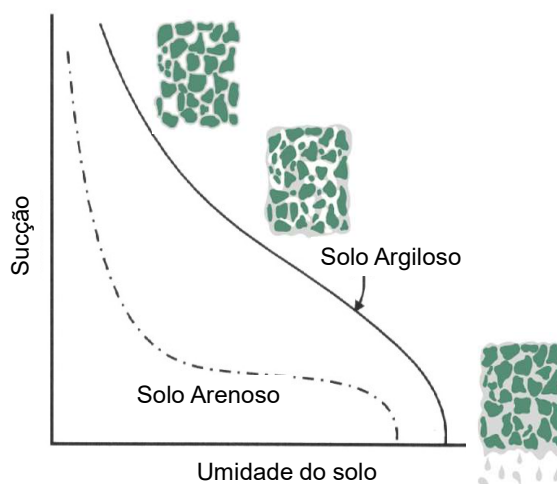


Fig. 1.2 - Ciclo da água na agricultura.

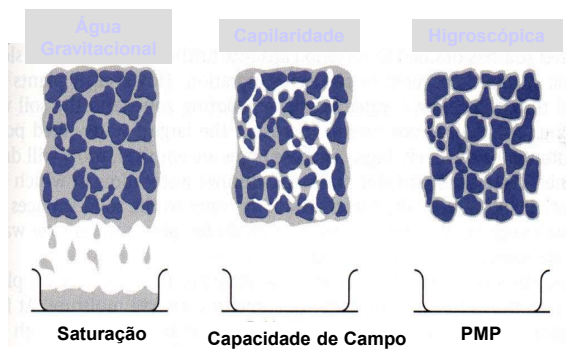
4) Movimento da Água no solo



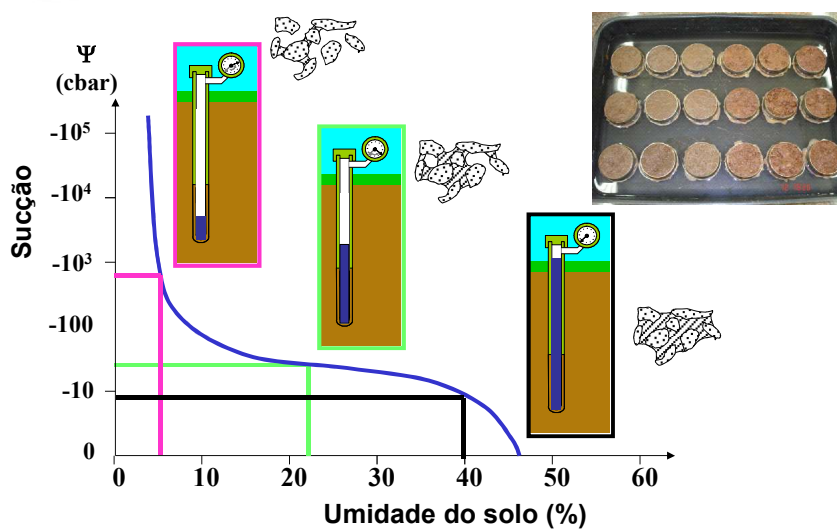
4) Movimento da Água no solo



4) Movimento da Água no solo



4) Movimento da Água no solo



4) Movimento da Água no solo



Para uma cultura de cana-de-açúcar, calcule a variação de umidade e armazenamento

Exercícios

		Valores de Umidade com base em volume			
Camada		5/jan	9/jan	13/jan	17/jan
0	20	0,351	0,292	0,249	0,202
20	40	0,325	0,276	0,232	0,2
40	60	0,328	0,26	0,226	0,203
60	80	0,315	0,296	0,275	0,266
80	100	0,316	0,316	0,315	0,314
			$\Delta\theta$	$\Delta\theta$	$\Delta\theta$

$$\Delta\theta = \frac{\theta_2 - \theta_1}{\text{Intervalo Dias}}$$

$$h = \Delta\theta \cdot \Delta z \cdot 10$$

4) Movimento da Água no solo



Exercícios

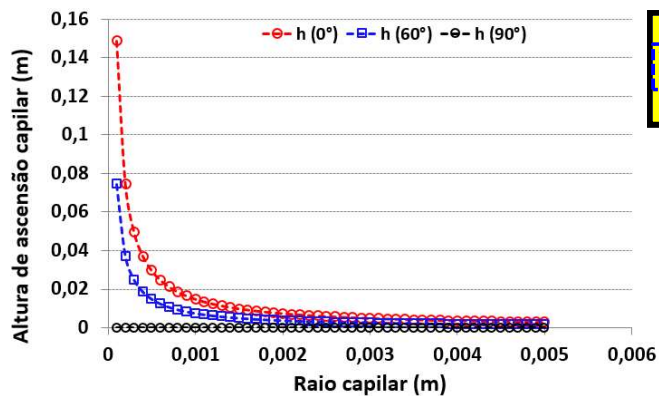
Em uma cultura de cana-de-açúcar fizeram-se medidas de umidade (% volume) Determine quantos milímetros de água a cultura perdeu ou ganhou em cada período, na camada de 0 a 90 cm.

Camada		10/mar	13/mar	17/mar	20/mar
0	15	32,5	30,1	26,7	44,3
15	30	33,4	31,2	28,8	41,2
30	45	34,1	32,6	29,3	36,8
45	60	36,8	35,9	33,6	32,1
60	75	35,4	35,5	34,3	34
75	90	37,8	37,9	37,2	36,8

4) Movimento da Água no solo



Capilaridade (Ângulo de Contato e Tensão Superficial)



$$h = \frac{2\sigma \cos(\alpha)}{\rho \cdot g \cdot r}$$

4) Movimento da Água no solo



Exercícios

1) Coletou-se uma amostra de solo com volume de 150 cm³ cuja massa úmida é de 258 g e cuja massa seca é de 206 g. Qual sua umidade na base em massa e de volume? Qual a densidade do solo? Qual a densidade de partículas (Vs=78,03 cm³)? Quantos mm de água estão armazenados, com esse solo nessas condições, a uma profundidade de 30 cm.

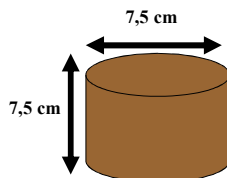
Respostas:

U = 0,252 g g⁻¹,
 θ = 0,347 cm³ cm⁻³
 d = 1,373 g cm⁻³
 dp = 2,64 g cm⁻³
 h = 104,1 mm

4) Movimento da Água no solo

Exercícios

- 1) Coletou-se uma amostra de solo à profundidade de 60 cm, com anel volumétrico de diâmetro e altura 7,5 cm. O peso úmido do solo foi 560 g e após 48 horas em estufa a 105 °C, seu peso permaneceu constante e igual a 458 g. Qual a densidade global do solo? Qual sua umidade na base em massa e em volume? Qual a porosidade do solo? (considere $d_s = 2,65 \text{ g cm}^{-3}$)



Respostas:
 $V = 331,27 \text{ cm}^3$,
 $d = 1,38 \text{ g cm}^{-3}$,
 $U = 0,223 \text{ g g}^{-1}$,
 $\theta = 0,308 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\alpha = 47,92\%$

4) Movimento da Água no solo

Exercícios

- 2) Dada uma extensão de solo de 10 ha, considerada homogênea quanto à densidade global e à umidade, até aos 30 cm de profundidade, qual a massa de solo seco em toneladas existente na camada 0-30 cm de profundidade? A umidade do solo é de $0,2 \text{ g g}^{-1}$ e sua densidade é de $1,7 \text{ g cm}^{-3}$. Quantos litros de água estão retidos na mesma camada de solo?



Respostas:
 $m_s = 51.000 \text{ ton}$
 $V = 10.200.000 \text{ L/10 ha}$



4) Movimento da Água no solo



Exercícios

3) Um cilindro de solo de 0,1 m de diâmetro e 0,12 m de altura tem uma massa de 1,7 Kg, dos quais 0,26 Kg são água. Assumindo que o valor da densidade da água $\rho_a = 1000 \text{ Kg m}^{-3}$ e o da densidade dos sólidos $\rho_s = 2650 \text{ Kg m}^{-3}$, calcular:

- Umidade % massa
- umidade % volume
- altura da água
- densidade do solo
- porosidade

Respostas:

$U = 18,05\%$, $\theta = 27,6\%$, $h = 33,12 \text{ mm}$ $d_s = 1527,88 \text{ kg m}^{-3}$, $\alpha = 42,34\%$



4) Movimento da Água no solo



Exercícios

4) Coletaram-se 220 Kg de solo úmido. O valor da umidade do solo foi de $0,18 \text{ Kg Kg}^{-1}$. Calcular o valor da massa de sólidos e o da massa de água.

Respostas:

$m_s = 186,44 \text{ kg}$ e $m_a = 33,56 \text{ kg}$

**4) Movimento da Água no solo****Exercícios**

5) Um solo de 0,8 m de profundidade tem um valor uniforme de $\theta = 0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Calcular quanta água deve ser adicionada ao solo para trazer o valor de sua umidade volumétrica a $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Respostas:
 $h = 136 \text{ mm}$

**4) Movimento da Água no solo****Exercícios**

6) Um pesquisador necessita de exatamente 0,1 Kg de um solo seco, e dispõe de uma amostra de solo úmido com $\theta = 0,250 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e densidade de 1200 Kg m^3 . Quanto solo úmido deve pesar para obter a massa de solo seco desejada?

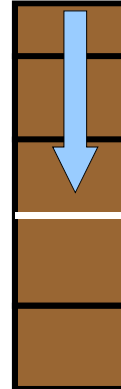
Respostas:
 $U = 0,2083 \text{ kg kg}^{-1}$, $m_a = 0,02083 \text{ kg}$, $m = 0,12083 \text{ kg}$

4) Movimento da Água no solo



Exercícios

7) O valor da umidade de um solo à capacidade de campo é $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os valores de sua umidade inicial (% massa) e de sua densidade, variam com a profundidade e são dados na tabela abaixo. Assumindo que o valor da densidade da água é 1000 Kg m^{-3} , calcular o valor da profundidade de penetração de uma chuva de 50 mm.



Incremento de Profundidade (m)	Umidade à base de massa (Kg/Kg)	Densidade do solo (Kg/m^3)	θ	h
0 - 0,05	0,05	1200		
0,05 - 0,20	0,10	1300		
0,20 - 0,80	0,15	1400		
0,80 - 1,00	0,17	1400		

Respostas:
Z = 0,338 m

$$h = (\theta_{cc} - \theta) \cdot \Delta z$$

4) Movimento da Água no solo

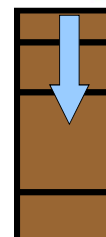


Exercícios

Profundidade (m)	U (kg kg^{-1})	Massa Específica (kg m^{-3})	θ ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	h (mm)
0 - 0,05	0,05	1200	0,06	12
0,05 - 0,20	0,10	1300	0,13	25,5
0,20 - 0,80	0,15	1400	0,21	54
0,80 - 1,00	0,17	1400	0,238	12,4

Respostas:
Z = 0,338 m

$$h = (\theta_{cc} - \theta) \cdot \Delta z$$





4) Movimento da Água no solo



Exercícios

- 8) Uma coluna contém 50 cm de areia com uma condutividade hidráulica de 100 cm dia^{-1} . A coluna é colocada em posição vertical. Água é aplicada na superfície da areia, mantendo-se uma lâmina constante de 10 cm acima da sua superfície. No lado inferior encontra-se uma abertura.
- a) Determinar o valor dos potenciais no lado superior e inferior da areia com a abertura fechada e com a abertura aberta e, calcular a densidade de fluxo de água através da coluna.

Respostas:
 $q = -120 \text{ cm dia}^{-1}$



4) Movimento da Água no solo



Exercícios

- 9) A mesma coluna da questão anterior é colocada em posição horizontal. Mantém-se a pressão de 10 cm de água no lado da entrada de água. Calcular as mesmas grandezas da questão anterior.

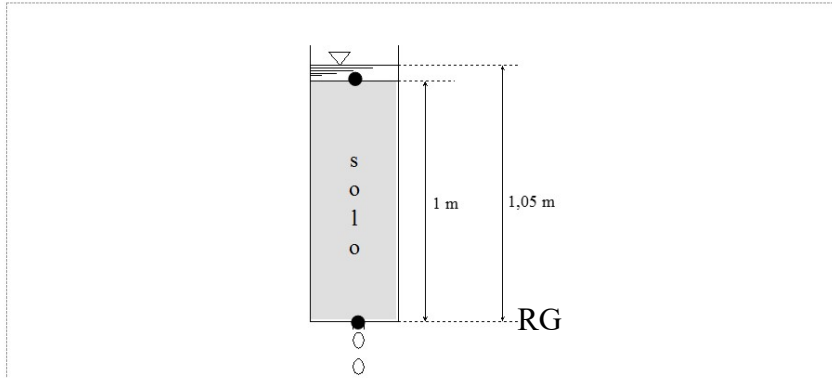
Respostas:
 $q = 20 \text{ cm dia}^{-1}$

4) Movimento da Água no solo



2) Sendo $K_o = 100 \text{ mm/h}$ e a área de $0,01 \text{ m}^2$, pergunta-se: Quanto tempo é necessário para se ter 200 mL de solução passando através da coluna abaixo?

(Resposta = 0,19 h ou 11,4 minutos)



4) Movimento da Água no solo

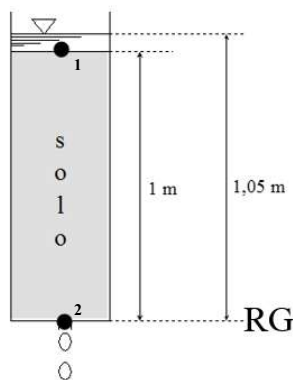


$K_o = 100 \text{ mm/h}$
 Área = $0,01 \text{ m}^2$
 Volume = 200 mL
 Tempo = ??

$$q_f = \frac{Q}{A} = \frac{\text{Vol}}{A \cdot \text{tempo}}$$

$$\frac{\text{Vol}}{A \cdot \text{tempo}} = -K_o \cdot \frac{\Delta \phi T}{\Delta x}$$

$$\Delta \phi T = \phi T_{\text{cima}} - \phi T_{\text{baixo}} = (\phi g_1 + \phi p_1) - (\phi g_2 + \phi p_2)$$

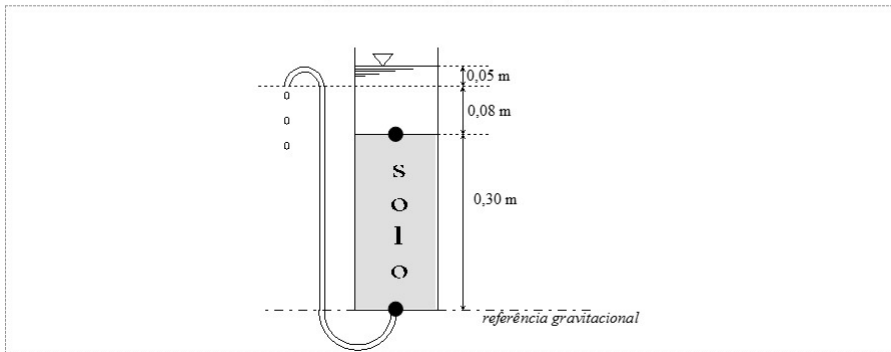


Resposta = 0,19 horas ou 11,4 minutos



4) Movimento da Água no solo

- 1) No arranjo a seguir, quanto vale a densidade de fluxo de água se o valor da condutividade hidráulica é 0,014 mm/s? (Resposta: -0,023 mm/s)



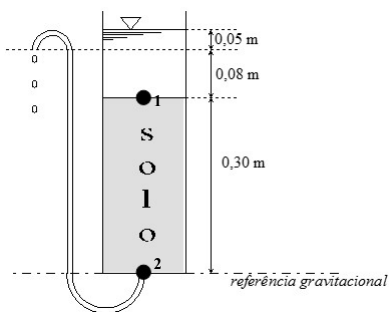
4) Movimento da Água no solo

$$K_o = 0,014 \text{ mm/s}$$

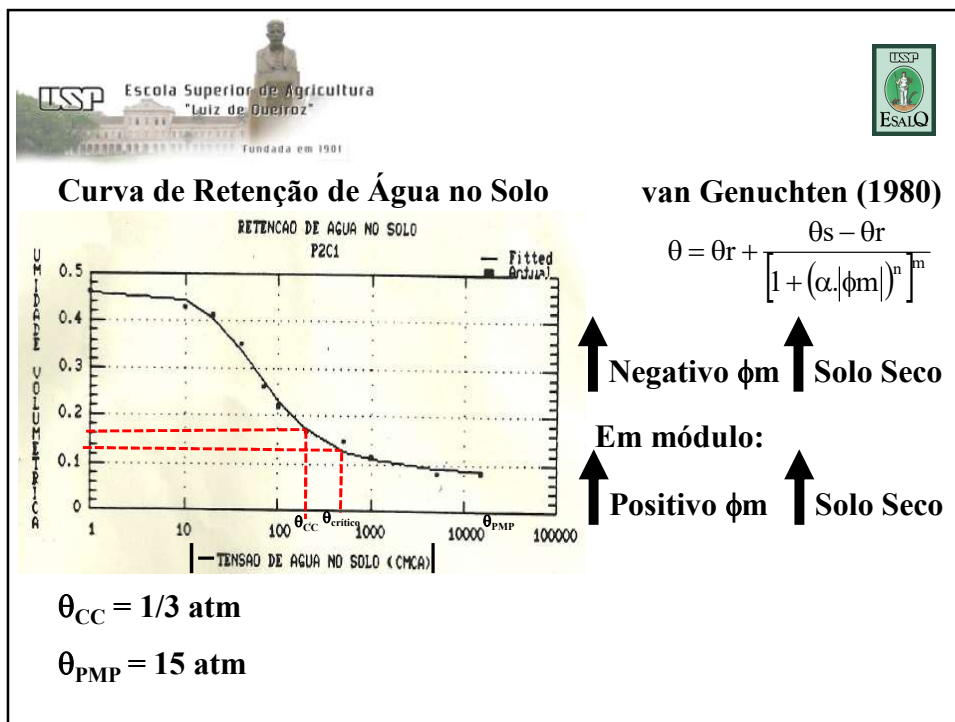
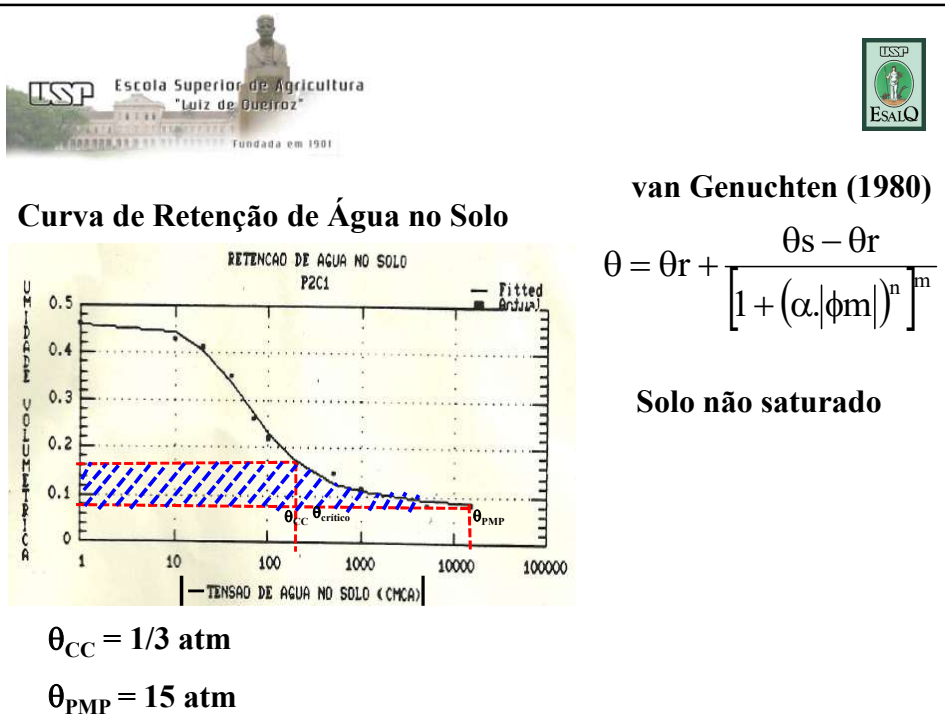
$$q = ??$$

$$q = -K_o \cdot \frac{\Delta \phi T}{\Delta x}$$

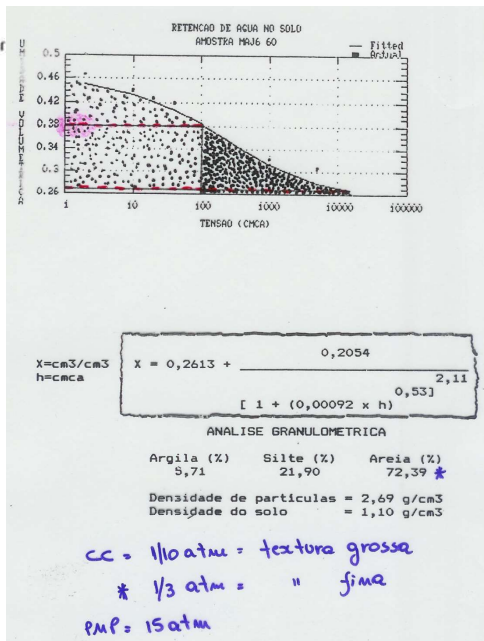
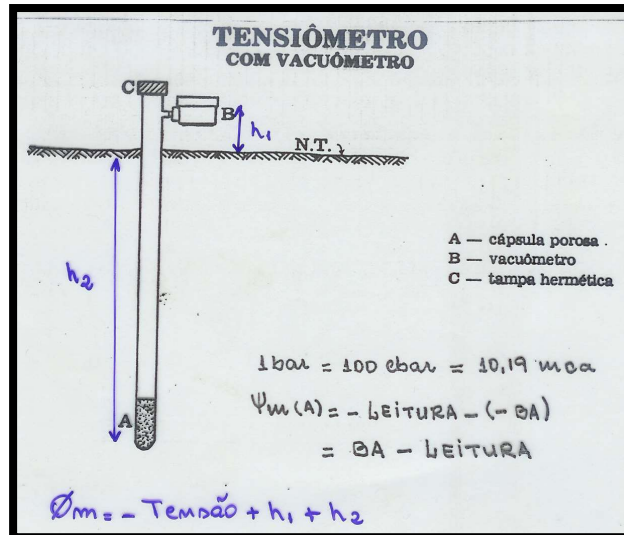
$$\Delta \phi T = \phi T_{\text{cima}} - \phi T_{\text{baixo}} = (\phi g_1 + \phi p_1) - (\phi g_2 + \phi p_2)$$



Resposta: $q = -0,023 \text{ mm/s}$



4) Movimento da Água no solo





4) Movimento da Água no solo

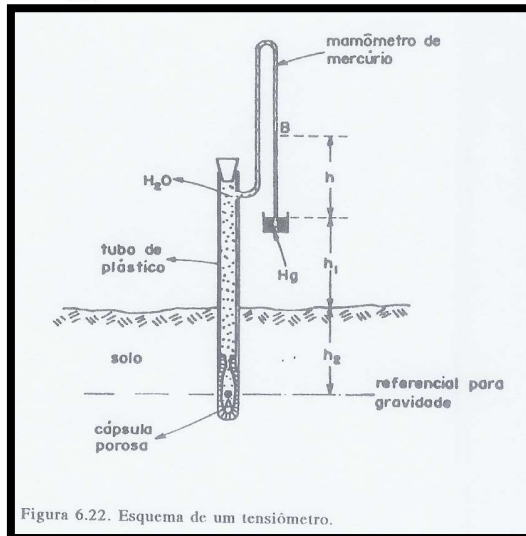


Figura 6.22. Esquema de um tensiômetro.



4) Movimento da Água no solo

Exercícios:

- 1) Diante do esquema montado em campo, utilizando-se tensiômetro, pergunta-se qual o valor do potencial mátrico no ponto (a)?

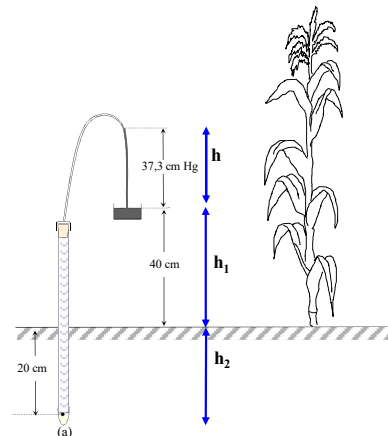
$$\phi_m = -12,6 \cdot h + h_1 + h_2$$

Resposta: -409,98 cm ou -409,98 cca

- 2) Se fôssemos utilizar um tensímetro, qual seria o valor da tensão (T) lida no aparelho, em kPa, relativo ao valor acima de ϕ_m ?

$$\phi_m = -T + h_1 + h_2$$

Resposta: 469,98 cm ou 46,099 kPa



Sabendo-se que: 101325 Pa = 10,33 m ou 10,33 mca

4) Movimento da Água no solo

Exercícios:

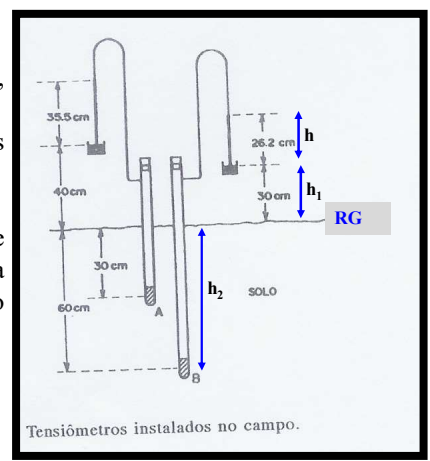
- 1) Diante do esquema montado em campo, utilizando-se tensiômetros, pergunta-se:
 - a) Qual o valor do potencial mátrico nos pontos A e B?
 - b) Qual o ponto com maior umidade do solo?
 - c) Verifique se está ocorrendo movimento de água entre os pontos A e B e caso esteja ocorrendo na direção vertical, qual o sentido (ascendente ou descendente)?

$$\phi_m = -12,6 \cdot h + h_1 + h_2$$

$$\phi_T = \phi_g + \phi_m$$

Respostas: a) $\phi_{ma} = -377,3 \text{ cm}$ e $\phi_{mb} = -240,12 \text{ cm}$
 c) $\phi_{Ta} = -407,3 \text{ cm}$ e $\phi_{Tb} = -300,12 \text{ cm}$

$$\Delta\phi_T = \phi_{T_a} - \phi_{T_b} = (\phi_{g_a} + \phi_{m_a}) - (\phi_{g_b} + \phi_{m_b})$$

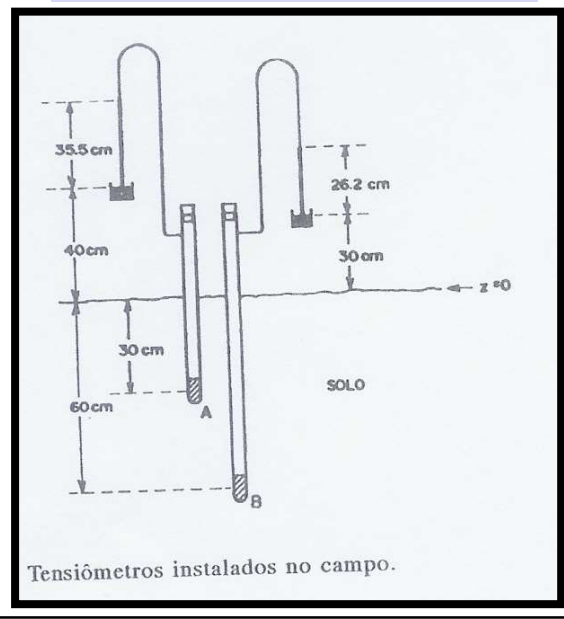


Tensiômetros instalados no campo.

PONTO B mais ÚMIDO
 MOVIMENTO DE B para A

$$\phi_m = -12,6 \cdot h + h_1 + h_2$$

$$\Delta\phi_T = \phi_{T_a} - \phi_{T_b} = (\phi_{g_a} + \phi_{m_a}) - (\phi_{g_b} + \phi_{m_b})$$



Tensiômetros instalados no campo.

Respostas:
 a) $\phi_{ma} = -377,3 \text{ cm}$ e $\phi_{mb} = -240,12 \text{ cm}$
 b) $\phi_{Ta} = -407,3 \text{ cm}$ e $\phi_{Tb} = -300,12 \text{ cm}$
 PONTO B mais ÚMIDO
 MOVIMENTO DE B para A

Respostas:

a) $\phi_{ma} = -377,3 \text{ cm}$ e $\phi_{mb} = -240,12 \text{ cm}$

b) PUNTO B mais ÚMIDO

c) $\phi_{Ta} = -407,3 \text{ cm}$ e $\phi_{Tb} = -300,12 \text{ cm}$

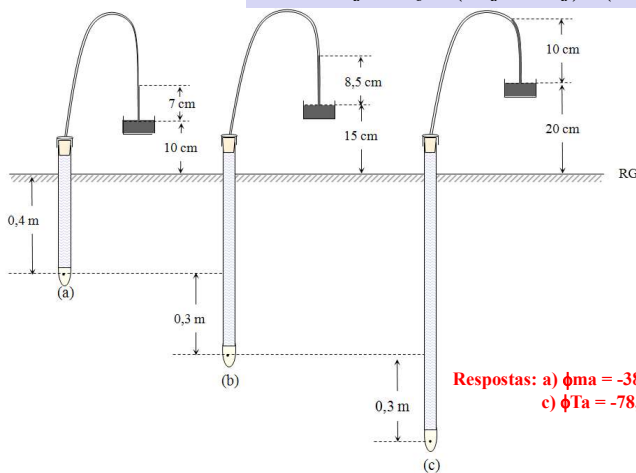
MOVIMENTO DE B para A

4) Movimento da Água no solo

Exercícios:

$$\phi_m = -12,6 \cdot h + h_1 + h_2$$


$$\Delta\phi T = \phi T_a - \phi T_b = (\phi g_a + \phi m_a) - (\phi g_b + \phi m_b)$$



Respostas: a) $\phi_{ma} = -38,2 \text{ cm}$, $\phi_{mb} = -22,1 \text{ cm}$, $\phi_{mc} = -6 \text{ cm}$
 c) $\phi_{Ta} = -78,2 \text{ cm}$, $\phi_{Tb} = -92,1 \text{ cm}$, $\phi_{Tc} = -106 \text{ cm}$


PUNTO C mais ÚMIDO

MOVIMENTO DE A para C



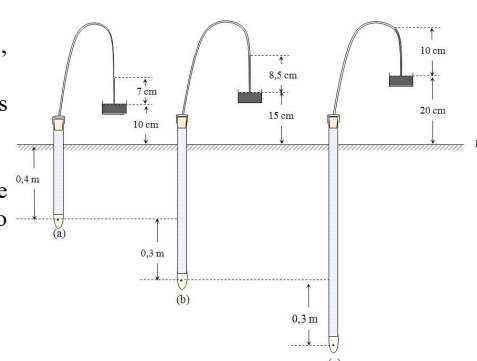
Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"
Fundada em 1901

4) Movimento da Água no solo



Exercícios:

- 1) Diante do esquema montado em campo, utilizando-se tensiômetros, pergunta-se:
 - a) Qual o valor do potencial mátrico nos pontos (a), (b) e (c)?
 - b) Qual o ponto com maior umidade do solo?
 - c) Verifique se está ocorrendo movimento de água entre os pontos (a), (b) e (c) e caso esteja, na direção vertical, qual o sentido?




PONTO C mais ÚMIDO
MOVIMENTO DE A para C

$\phi_m = -12,6.H + h_1 + h_2$


$\phi_T = \phi_g + \phi_m$

Respostas: a) $\phi_{ma} = -38,2$ cm, $\phi_{mb} = -22,1$ cm, $\phi_{mc} = -6$ cm
c) $\phi_{Ta} = -78,2$ cm, $\phi_{Tb} = -92,1$ cm, $\phi_{Tc} = -106$ cm



Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"
Fundada em 1901

4) Movimento da Água no solo



Respostas: a) $\phi_{ma} = -38,2$ cm, $\phi_{mb} = -22,1$ cm, $\phi_{mc} = -6$ cm
PONTO C MAIS ÚMIDO
b) $\phi_{Ta} = -78,2$ cm, $\phi_{Tb} = -92,1$ cm, $\phi_{Tc} = -106$ cm
MOVIMENTO DE A para C

4) Movimento da Água no solo

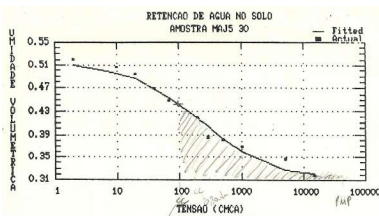
Exercícios:

- 1) Utilizando os valores abaixo de potencial mátrico (ϕ_m), calcule os valores de umidade do solo (θ), para os 2 tipos de solo e para cada ϕ_m :
 $\phi_{ma} = -38,2$ cm, $\phi_{mb} = -22,1$ cm, $\phi_{mc} = -6$ cm



$\theta_r = 0,0828 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\theta_s = 0,4617 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\alpha = 0,03102 \text{ cm}^{-1}$
 $n = 1,7761$
 $m = 0,44$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n]^m}$$



$\theta_r = 0,3188 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\theta_s = 0,5203 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\alpha = 0,00077 \text{ cm}^{-1}$
 $n = 0,61$
 $m = 2,58$

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n]^m}$$

Respostas:

Solos	θ ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)		
	ϕ_{ma} -38,2 cm	ϕ_{mb} -22,1 cm	ϕ_{mc} -6 cm
Arenoso	0,3428	0,3987	0,4535
Argiloso	0,4704	0,4827	0,5019

$$\theta[\phi_m] = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n]^m}$$

$y(x) = \dots$

ARENOSO

$\theta_r = 0,0828 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\theta_s = 0,4617 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\alpha = 0,03102 \text{ cm}^{-1}$
 $n = 1,7761$
 $m = 0,44$

ARGILOSO

$\theta_r = 0,3188 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\theta_s = 0,5203 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 $\alpha = 0,00077 \text{ cm}^{-1}$
 $n = 0,61$
 $m = 2,58$

Solos	θ ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)		
	ϕ_{ma} -38,2 cm	ϕ_{mb} -22,1 cm	ϕ_{mc} -6 cm
Arenoso	0,3428	0,3987	0,4535
Argiloso	0,4704	0,4827	0,5019

ARENOSO

$$\theta_r = 0,0828 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\theta_s = 0,4617 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\alpha = 0,03102 \text{ cm}^{-1}$$

$$n = 1,7761$$

$$m = 0,44$$

ARGILOSO

$$\theta_r = 0,3188 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\theta_s = 0,5203 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\alpha = 0,00077 \text{ cm}^{-1}$$

$$n = 0,61$$

$$m = 2,58$$

$$\theta[\phi m] = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\phi m|)^n]^m}$$
$$y(x) = \dots$$