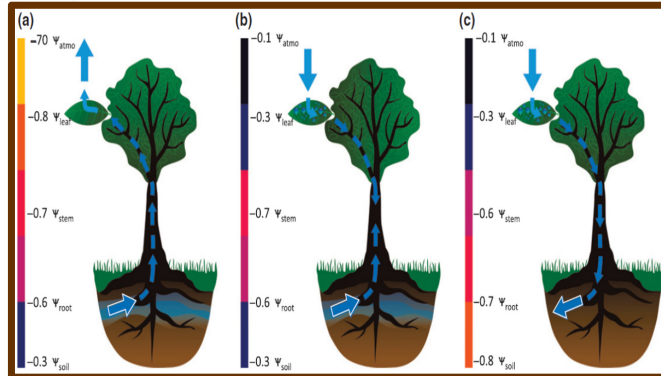


4) Movimento da Água no solo



Potencial Total (ϕT)
Solo Saturado: $\phi T = \phi p + \phi g$
Solo Não Saturado: $\phi T = \phi m + \phi g$

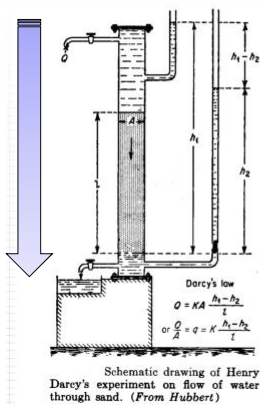
Potencial Total
 $\phi T_1 > \phi T_2$

ϕT (potencial total); ϕp (potencial de pressão); ϕm (potencial mátrico); ϕg (potencial gravitacional)

4) Movimento da Água no solo



O experimento de Darcy



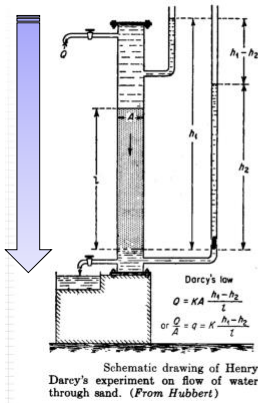
Potencial Total
 $\phi T_1 > \phi T_2$

Darcy, Henry, 1856, "Les fontaines publiques de la ville de Dijon".

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

Solo Saturado: $\phi T = \phi p + \phi g$
Solo Não Saturado: $\phi T = \phi m + \phi g$

O experimento de Darcy



Q = Vazão (L³ T⁻¹)
 Ko = Condutividade Hidráulica do solo saturado (L T⁻¹)
 $\frac{\Delta\phi T}{\Delta x}$ = Gradiente Hidráulico
 $\Delta\phi T$ = Variação do potencial total (L)
 $\Delta x = L$ = Comprimento de solo (L)

Darcy, Henry, 1856, "Les fontaines publiques de la ville de Dijon".

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

Solo Saturado: $\phi T = \phi p + \phi g$

Solo Não Saturado: $\phi T = \phi m + \phi g$

Potencial Total

$$\phi T_1 > \phi T_2$$

Solo Saturado: $\phi T = \phi p + \phi g$

Solo Não Saturado: $\phi T = \phi m + \phi g$

Vertical: $\Delta\phi T = \phi T_{\text{cima}} - \phi T_{\text{baixo}}$

Horizontal: $\Delta\phi T = \phi T_{\text{direita}} - \phi T_{\text{esquerda}}$

Solo Saturado:

Vertical: $\Delta\phi T = (\phi p_{\text{cima}} + \phi g_{\text{cima}}) - (\phi p_{\text{baixo}} + \phi g_{\text{baixo}})$

Horizontal: $\Delta\phi T = (\phi p_{\text{direita}} + \phi g_{\text{direita}}) - (\phi p_{\text{esquerda}} + \phi g_{\text{esquerda}})$

Solo não saturado:

Vertical: $\Delta\phi T = (\phi m_{\text{cima}} + \phi g_{\text{cima}}) - (\phi m_{\text{baixo}} + \phi g_{\text{baixo}})$

Horizontal: $\Delta\phi T = (\phi m_{\text{direita}} + \phi g_{\text{direita}}) - (\phi m_{\text{esquerda}} + \phi g_{\text{esquerda}})$

ϕT (potencial total); ϕp (potencial de pressão); ϕm (potencial mátrico); ϕg (potencial gravitacional)

4) Movimento da Água no solo

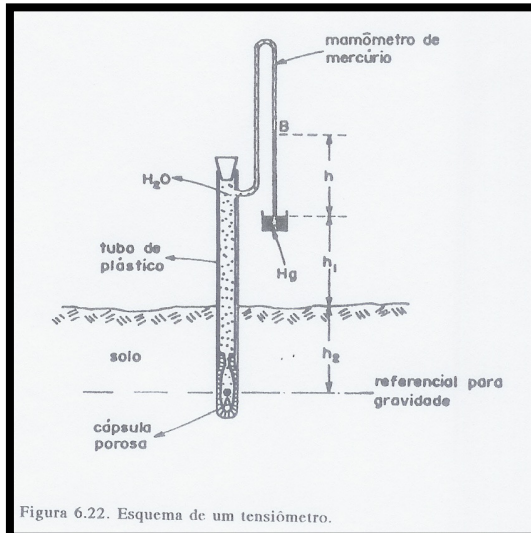


Figura 6.22. Esquema de um tensiômetro.

Potencial Mátrico

(Tensiômetro)

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

Potencial Mátrico

(Tensímetro)

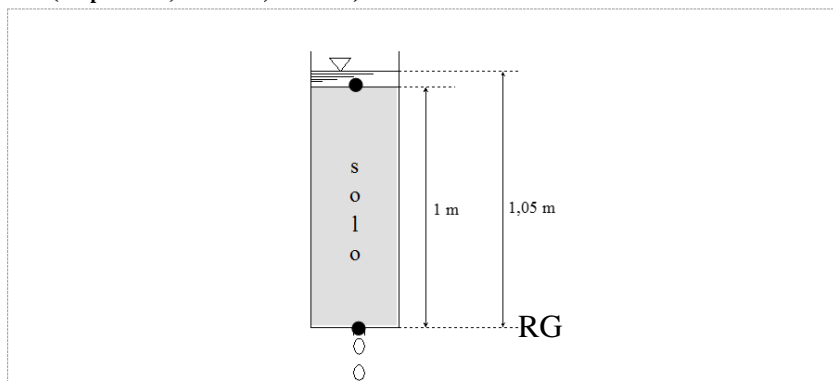
$$\phi_m = -\text{Tensão} + h_1 + h_2$$

4) Movimento da Água no solo

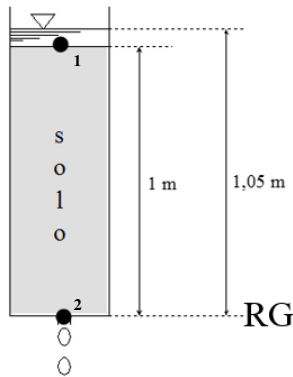


- 2) Sendo $K_o = 100 \text{ mm/h}$ e a área de $0,01 \text{ m}^2$, pergunta-se: Quanto tempo é necessário para se ter 200 mL de solução passando através da coluna abaixo?

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



4) Movimento da Água no solo



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

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

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

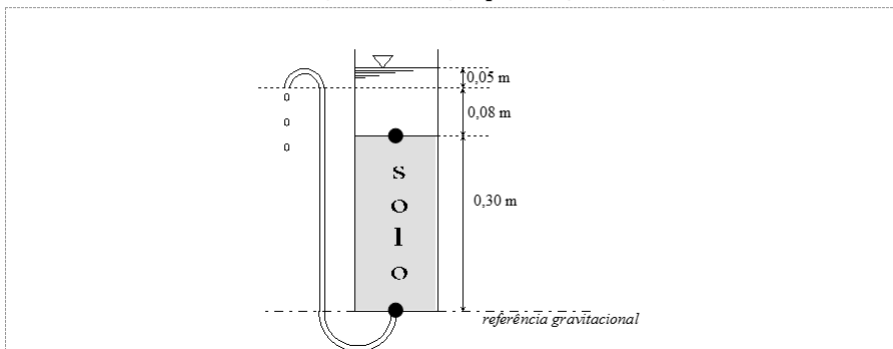
$$\Delta \phi T = \phi T_{\text{cima}} - \phi T_{\text{baixo}} = (\phi_{g_1} + \phi_{p_1}) - (\phi_{g_2} + \phi_{p_2})$$


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)





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

4) Movimento da Água no solo



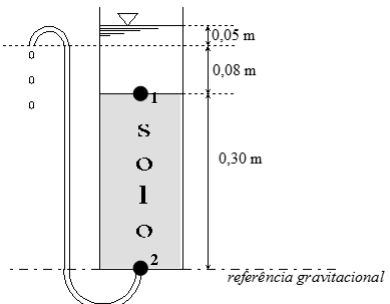


Diagram showing a soil column with a water table at 0.05 m, a point at 0.08 m, and a reference point at 0.30 m. The soil is labeled 'S O I O'.


$K_0 = 0,014 \text{ mm/s}$

$q = ??$


$$q = -K_0 \cdot \frac{\Delta\phi\Gamma}{\Delta x}$$

$$\Delta\phi\Gamma = \phi\Gamma_{\text{cima}} - \phi\Gamma_{\text{baixo}} = (\phi_g + \phi_p)_1 - (\phi_g + \phi_p)_2$$

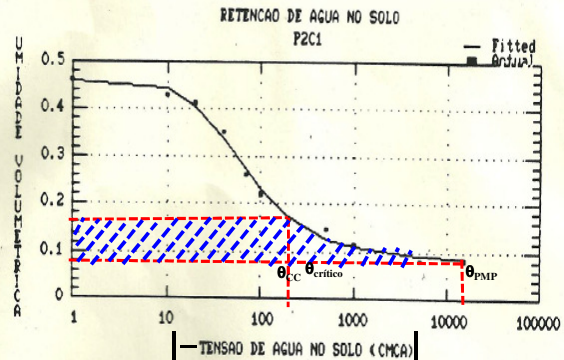
Resposta: $q = -0,023 \text{ mm/s}$



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



Curva de Retenção de Água no Solo



Graph showing the water retention curve (Curva de Retenção de Água no Solo) for soil P2C1. The y-axis is water content (theta) and the x-axis is suction pressure (-TENSAO DE AGUA NO SOLO (CMCA)). Key points are marked: θ_{CC} (critical) and θ_{PMP} (permanent wilting point).

van Genuchten (1980)

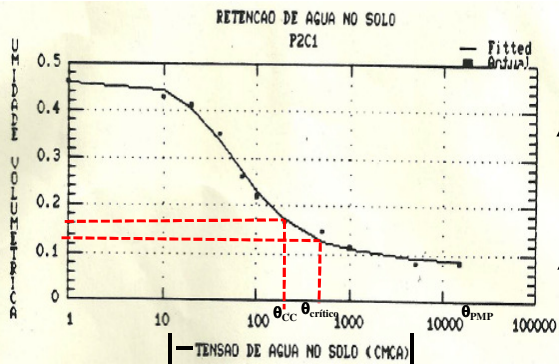
$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot |\phi m|)^n\right]^m}$$

Solo não saturado

$\theta_{CC} = 1/3 \text{ atm}$

$\theta_{PMP} = 15 \text{ atm}$

Curva de Retenção de Água no Solo



van Genuchten (1980)

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

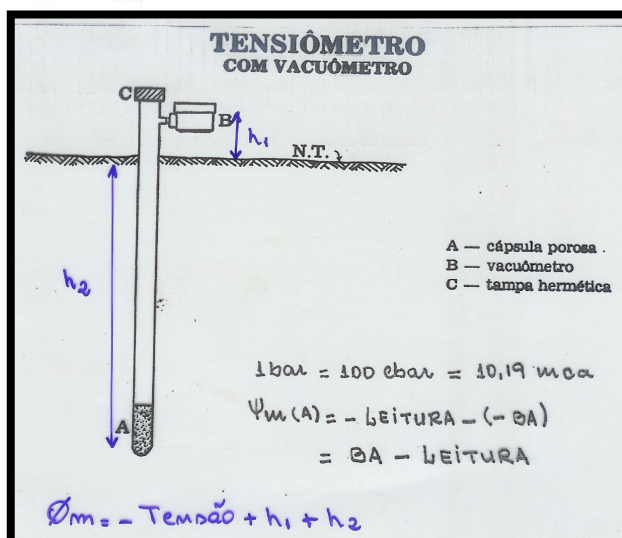
↑ Negativo ϕm ↑ Solo Seco

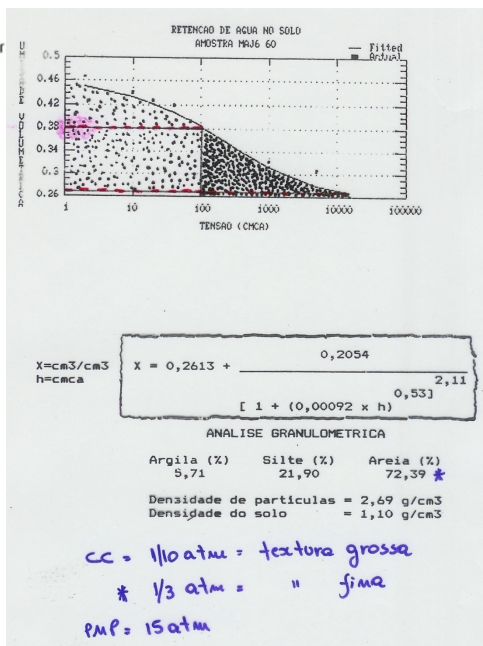
↑ Em módulo: ↑ Positivo ϕm ↑ Solo Seco

$\theta_{CC} = 1/3 \text{ atm}$

$\theta_{PMP} = 15 \text{ atm}$

4) Movimento da Água no solo





4) Movimento da Água no solo

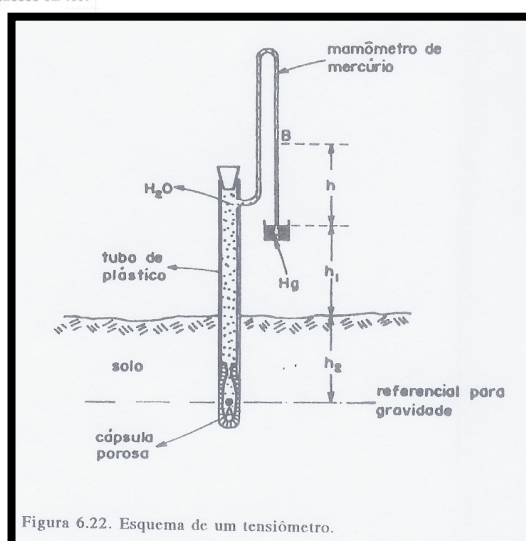




Figura 6.22. Esquema de um tensiômetro.



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 tensiômetro, pergunta-se qual o valor do potencial mátrico no ponto (a)?

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

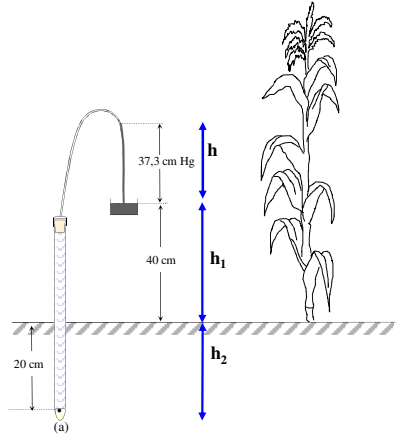
Resposta: -409,98 cm ou -409,98 cca


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





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

4) Movimento da Água no solo



Exercícios:

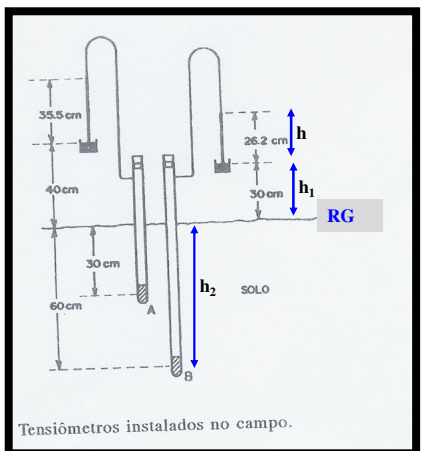
1) Diante do esquema montado em campo, utilizando-se tensiômetros, pergunta-se:

- Qual o valor do potencial mátrico nos pontos A e B?
- Qual o ponto com maior umidade do solo?
- 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) $\phi_{ma} = -377,3$ cm e $\phi_{mb} = -240,12$ cm
c) $\phi_{Ta} = -407,3$ cm e $\phi_{Tb} = -300,12$ cm

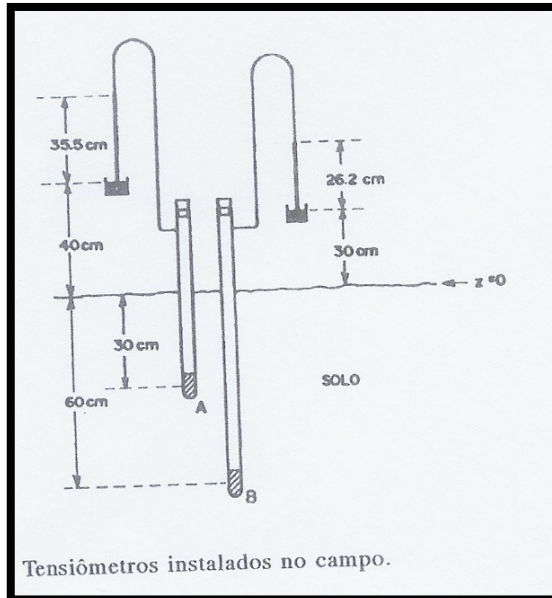
$$\Delta\phi_T = \phi_{T_a} - \phi_{T_b} = (\phi_{g_a} + \phi_{m_a}) - (\phi_{g_b} + \phi_{m_b})$$


Tensiômetros instalados no campo.

PONTO B mais ÚMIDO
MOVIMENTO DE B para A

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

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



Respostas:

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

b) $\phi T_a = -407,3$ cm e $\phi T_b = -300,12$ cm

PONTO B mais ÚMIDO

MOVIMENTO DE B para A




Respostas:

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

b) **PONTO B mais ÚMIDO**


c) $\phi T_a = -407,3$ cm e $\phi T_b = -300,12$ cm

MOVIMENTO DE B para A



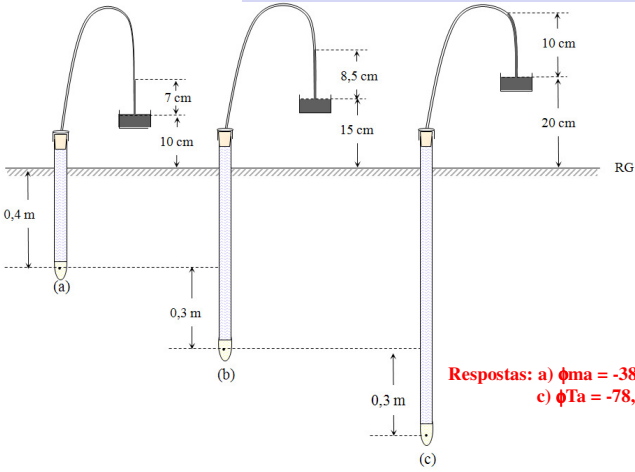
Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"
Fundada em 1901

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) $\phi_{ma} = -38,2$ cm, $\phi_{mb} = -22,1$ cm, $\phi_{mc} = -6$ cm
 c) $\phi T_a = -78,2$ cm, $\phi T_b = -92,1$ cm, $\phi T_c = -106$ cm

PONTO C mais ÚMIDO
MOVIMENTO DE A para C



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

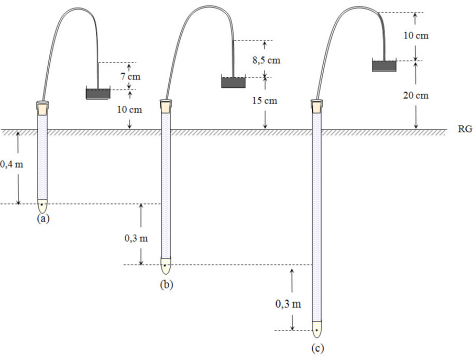
4) Movimento da Água no solo



Exercícios:


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

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

$$\phi T = \phi g + \phi m$$



PONTO C mais ÚMIDO
MOVIMENTO DE A para C

Respostas: a) $\phi_{ma} = -38,2$ cm, $\phi_{mb} = -22,1$ cm, $\phi_{mc} = -6$ cm
 c) $\phi T_a = -78,2$ cm, $\phi T_b = -92,1$ cm, $\phi T_c = -106$ cm




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

4) Movimento da Água no solo




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



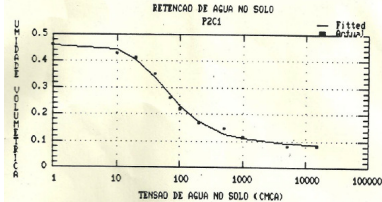
Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"
Fundada em 1901

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 :
 $\phi_{ma} = -38,2 \text{ cm}$, $\phi_{mb} = -22,1 \text{ cm}$, $\phi_{mc} = -6 \text{ cm}$



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

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



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

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

Respostas:

Solos	$\theta \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)}$		
	ϕ_{ma}	ϕ_{mb}	ϕ_{mc}
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	$\theta \text{ (cm}^3 \text{ cm}^{-3}\text{)}$		
	ϕ_{ma}	ϕ_{mb}	ϕ_{mc}
	-38,2 cm	-22,1 cm	-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

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

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

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

$$n = 0,61$$

$$m = 2,58$$

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

$$y(x) = \dots$$