



AULA 4

MANEJO DA IRRIGAÇÃO e

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA

NO SOLO

LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP

Prof. Patricia A A Marques

MANEJO DA IRRIGAÇÃO

“Manejo pode ser definido como o uso criterioso dos recursos disponíveis para se atingir um determinado objetivo. No caso da irrigação, as práticas de manejo têm por objetivo maximizar a produção vegetal com o menor consumo de água. Em outras palavras, a água aplicada deve ser efetivamente utilizada para a produção, com o mínimo de perdas.”



MANEJO DA IRRIGAÇÃO

- ✓ Evitar o desperdício dos recursos hídricos;
- ✓ Minimizarem os impactos ao meio ambiente;
- ✓ Aumentar a rentabilidade das atividades agrícolas.

O manejo da irrigação depende:

- Sistema de irrigação;
- Grau de automação;
- Necessidade de sistematização;
- Medição de vazão e horário durante a irrigação;
- disponibilidade de água e mão de obra.

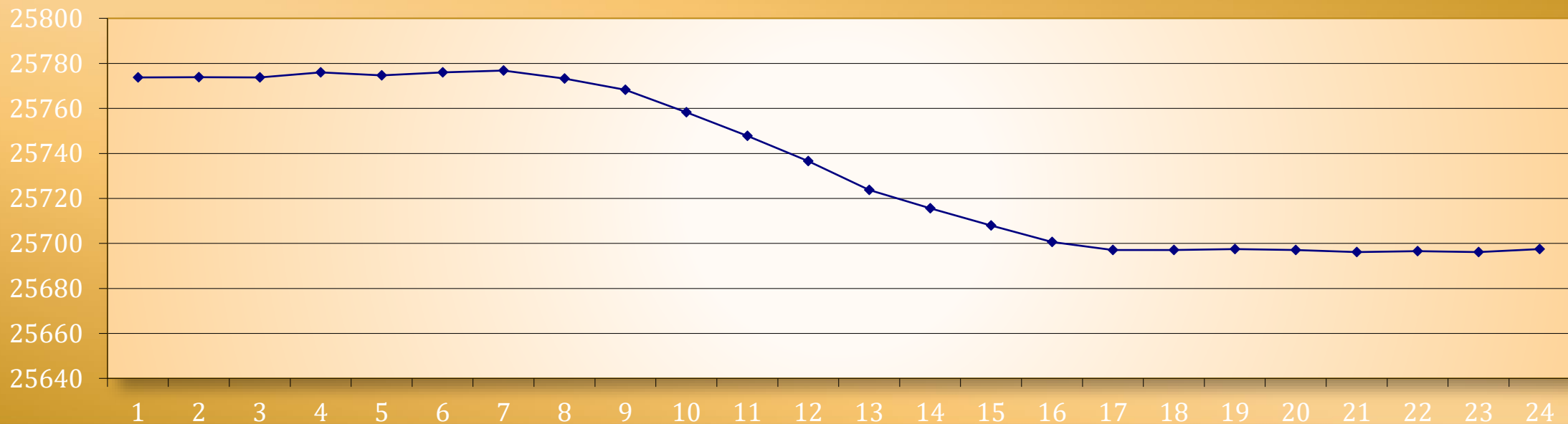
MÉTODO DIRETO:

- Medição direta no campo das necessidades da cultura: Lisímetros



Lisímetro de Pesagem

- 3,91 m de diâmetro
- 12 m²
- 1,3 m profundidade
- 3 células de carga de 10.000 kg cada



MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO PARA MANEJO DA IRRIGAÇÃO



Via planta



Via clima



Via solo



Via planta

Monitora o estado hídrico da planta

Foco é a planta:

A condição hídrica da planta é uma resultante de sua interação com o sistema solo-atmosfera.

Ideal sob o rigor científico → Limitados para aplicação em campo

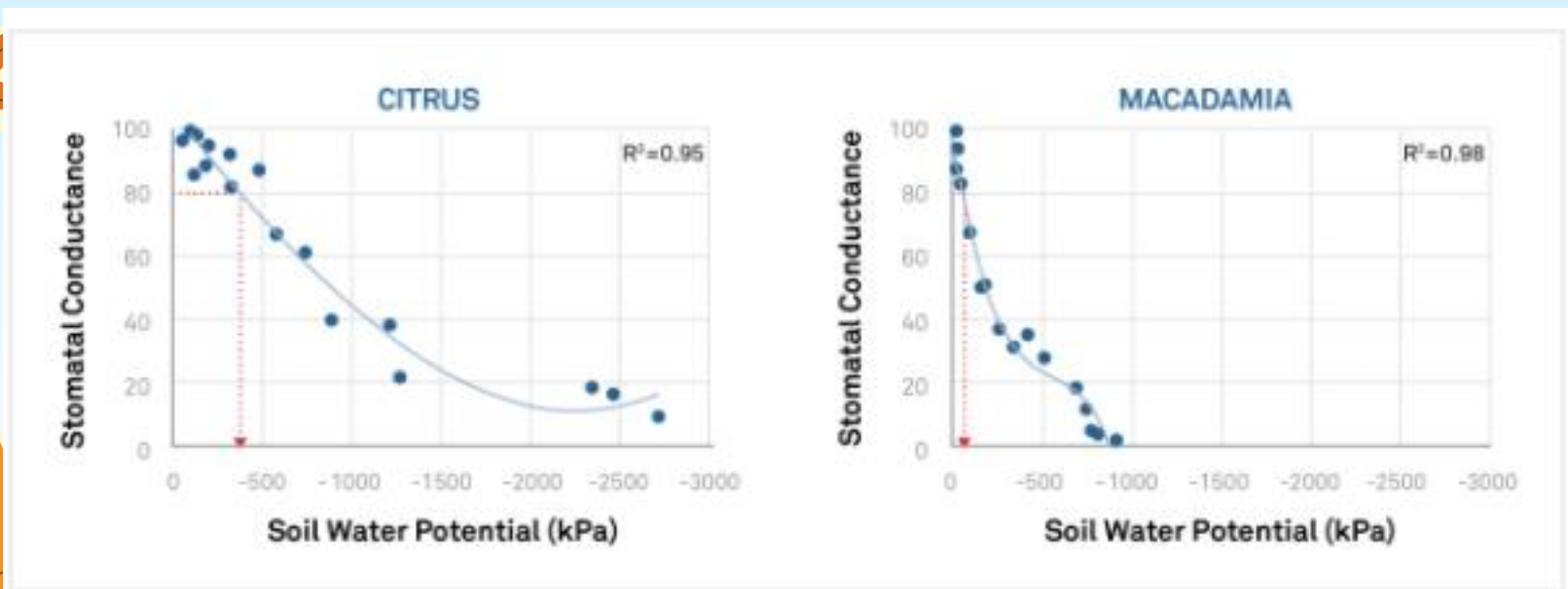
-poucas informações de referência e dificuldade operacional (operador treinado e com conhecimentos específicos)

- Abertura de estômatos (porômetro)
- Estimativa de transpiração (IRGA)
- Potencial de água na folha (Câmara de Scholander)
- Fluxo de seiva

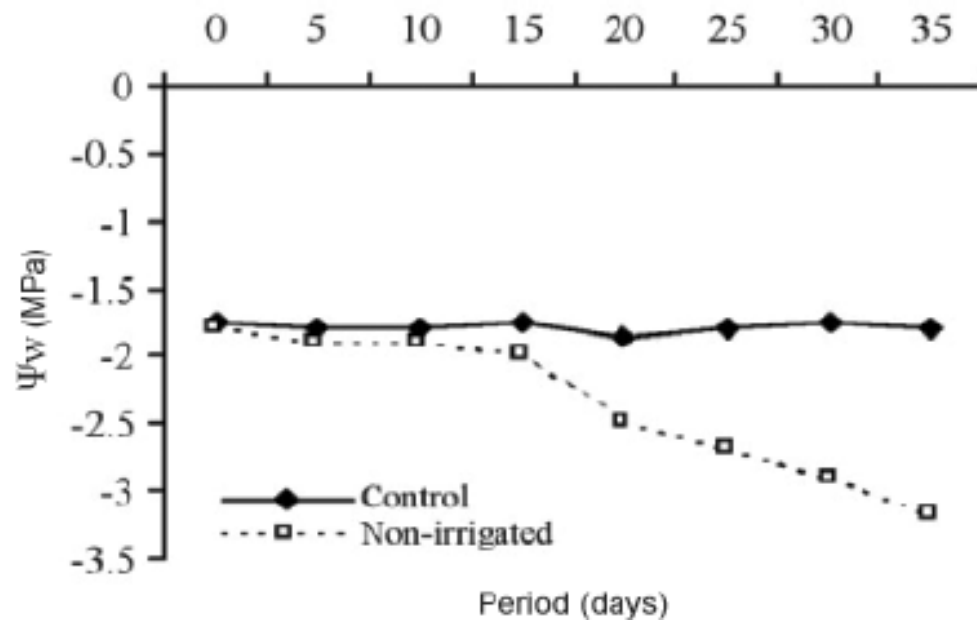
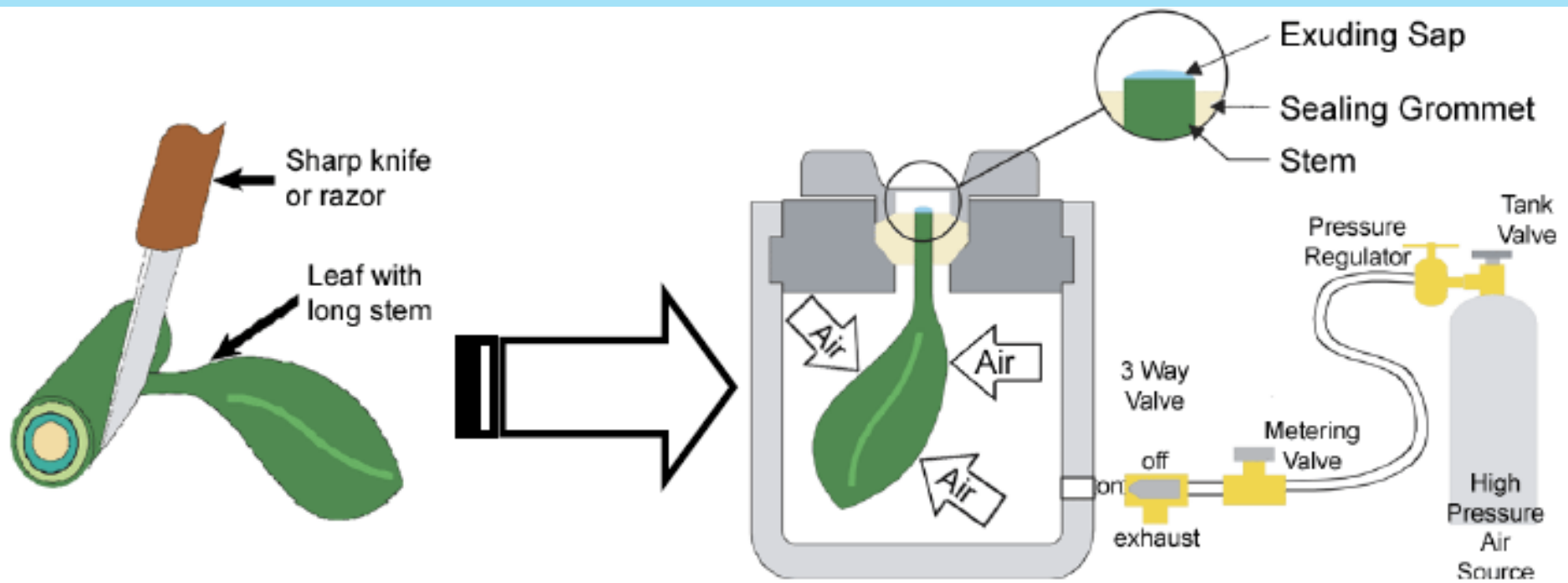
Porômetro

Há uma forte correlação entre a condutância estomática e o potencial hídrico da planta: conforme o potencial hídrico da planta se torna mais negativo, a condutância estomática diminui.

Em situação de baixa disponibilidade de água no solo as plantas reduzem a perda de água ao reduzir a condutância estomática.



<https://www.environmentalbiophysics.org/irrigation-curves-a-novel-irrigation-scheduling-technique/>



**Vídeo do
Funcionamento
Câmara de
Scholander:
<https://youtu.be/3T7QIn1yh04>**

FLUXO DE SEIVA

- sensores de dissipação térmica
- - medidas confiáveis
- - boa resolução temporal
- - coleta e armazenamento dos dados
- Composição básica do sistema: sonda de aquecimento, sondas com termopares e data logger



O cálculo do fluxo de seiva baseia-se no aquecimento de um segmento de caule, ramo ou colmo por uma fonte de calor (P), e que a energia térmica fornecida é dissipada por condução nos eixos axial e radial e também por convecção através do fluxo de seiva.



Via solo

Monitora o estado hídrico do solo

-Gravimétrico (estufa)

-Speed

-Tensiômetro

-TDR e FDR

-Etc..

Gravimétrico ou Método da estufa (padrão)

- destrutivo
(amostra de solo removida para cada medida)
- não pode ser automatizado

Coletar amostra de solo e determinar massa úmida
Levar estufa 105 – 110°C por 48h e determinar massa seca

$$- U\% = \frac{\text{Massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa seca}} \times 100$$

Exemplo: 600g de solo úmido. Após secagem obtenção de 500g de solo seco. Qual a U%?

$$U = \frac{M_w}{M_s} = \frac{(600 - 500)}{500} \cdot 100 = 20,0 \%$$

MÉTODO SPEED

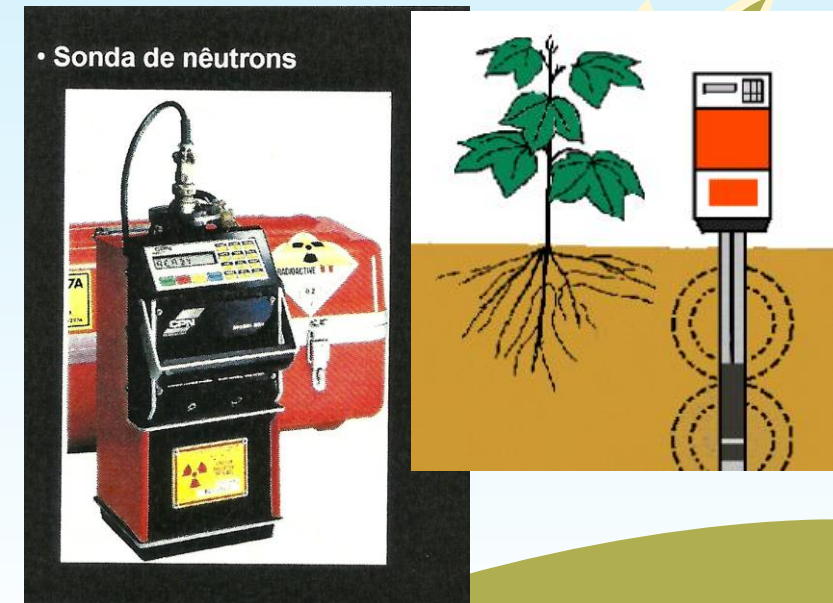
- Reação do carbureto com a água do solo → forma gás acetileno
- Umidade proporcional à pressão exercida
- Curva tabelada e usado eng. civil



Vídeo funcionamento:
<https://www.youtube.com/watch?v=y5xsgQzmT4c>

SONDA DE NÊUTRONS

- Correlação entre nêutrons e H^+ presente no solo.
- Vantagens: Eficiente; preciso e rápido; Não destrutivo (só na instalação) e Permite determinações rotineiras
- Limitações: Alto custo; Dificuldades na superfície (fuga de nêutrons) e Saúde humana (radioativo)



http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce5702/sonda_de_neutrons.pdf

Time-Domain Reflectometry (TDR)

- ▶ Medição da constante dielétrica do solo, capacidade de um material não condutor em transmitir ondas ou pulsos eletromagnéticos de alta frequência.

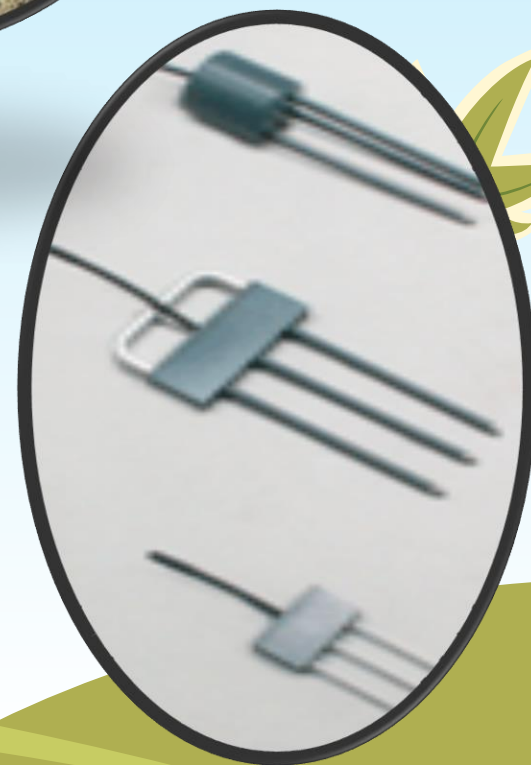
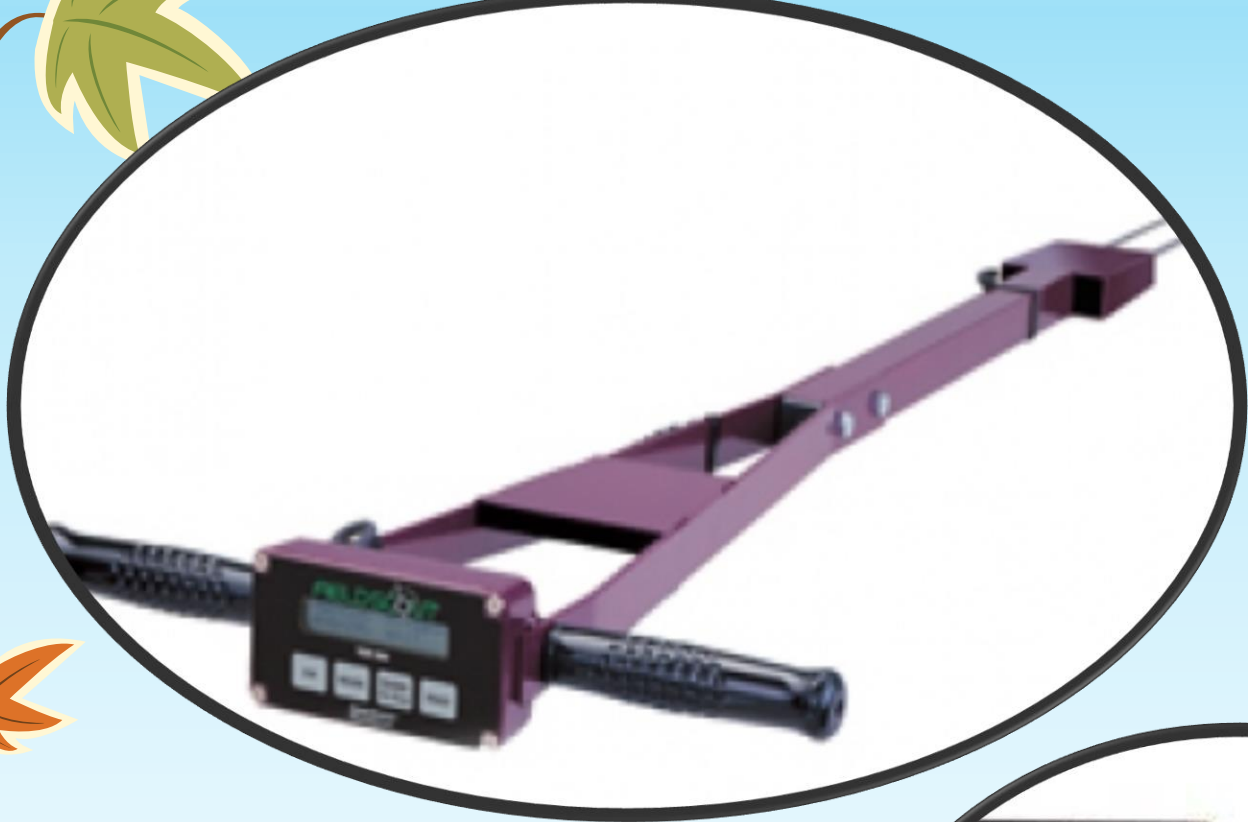
solo seco → 5 Ar → 1 Água → 80

Pequenas mudanças no conteúdo de água do solo podem ter grande influência na capacitância.

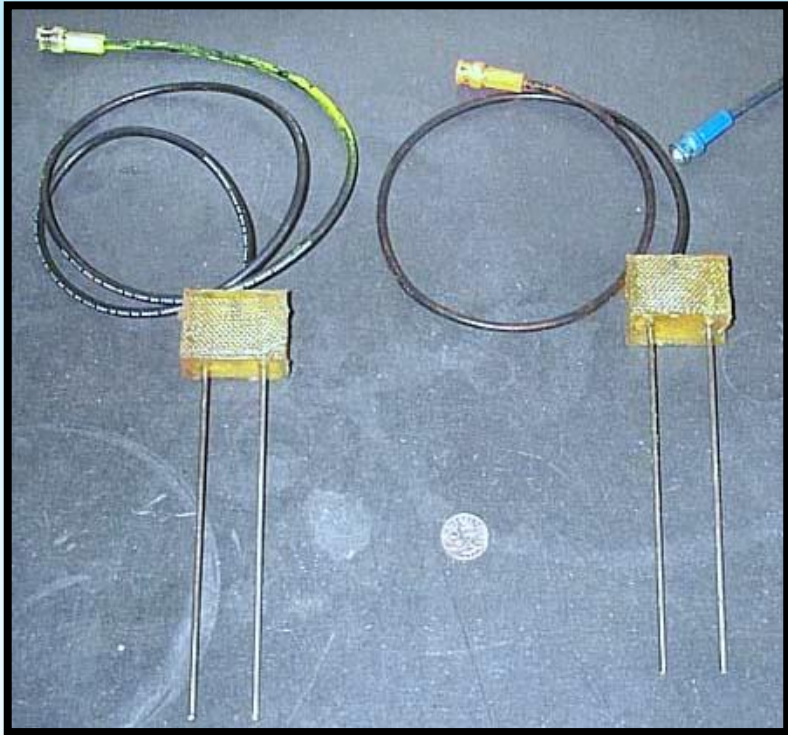
- ▶ Não destrutiva; calibração; preciso; efeitos da salinidade do solo.



MONITORAMENTO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO EM TEMPO REAL COM AS TÉCNICAS DE TDR E FDR: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1603/1515>



Instalação da sonda TDR



Sonda FDR modelo DIVINER

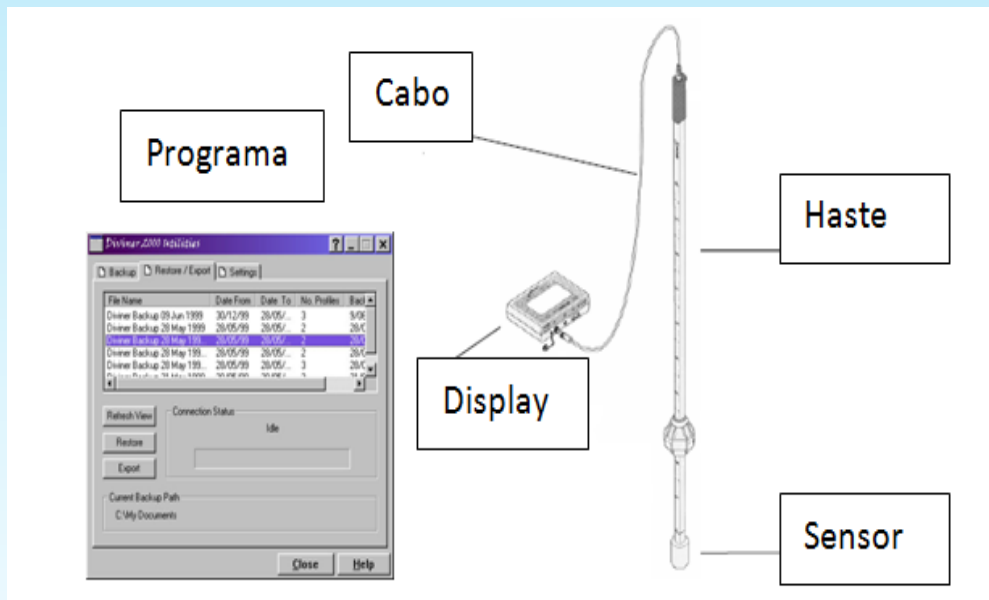
Capacitância elétrica para medir a umidade do solo, onde é criado um campo elétrico de alta frequência ao redor de cada sensor, partindo do tubo de acesso e penetrando pelo solo.

O instrumento FDR têm maior flexibilidade do que os equipamentos do tipo TDR no que se refere à forma e frequência de operação dos mesmos, admitindo a construção de sondas multisensores. Pode coletar e estocar informações de até 99 perfis do solo.



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/118884/1/CircularTecnica-109-Onde-posicionar-sensores.pdf>

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/10775/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Calibra%C3%A7%C3%A3o%20de%20sensores%20de%20capacit%C3%A2ncia%20%28FDR%29%20para%20estimativa%20da%20umidade%20em%20diferentes%20solos.pdf



Bloco de Gesso

- blocos de resistência elétrica: elementos porosos com eletrodos inseridos.
- Apresenta a vantagem de ser um sensor de baixo custo, ser de fácil fabricação e possuir uma ampla faixa de resposta (50 a 1500 kPa). No entanto, a deterioração da resposta no tempo, e a necessidade de calibração individualizada dos sensores são suas desvantagens.

- Blocos de resistência elétrica (Bouyoucos)



https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fflabdegaragem.com%2Fmain%2Findex%2Fdetail%3Fid%3D6223006%3AComment%3A683092%26&psig=AOvVaw1KulvefLNVFbDSrRglLecl&ust=1620755472430000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCPIPjOXWv_ACFQAAAAAdAAAAABAK

TRACON - Watermark

Dispositivo de detecção de resistência elétrica utilizado para medir a tensão da água no solo.

Uma corrente é aplicada ao sensor para obter um valor de resistência e correlacionada à tensão da água no solo.

Sensor permanente, colocado no solo para ser monitorado



WATERMARK Sensors



<https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec783.pdf>

Tensiômetro

- Tensão da água no solo (Potencial matricial)
- + usado no manejo da irrigação

Potencial de água no solo define o estado de energia em que a água se encontra no solo em relação ao potencial padrão

Padrão: água pura isenta de sais, submetida a condições normais de pressão (pressão relativa = 0) e sobre a superfície do solo.

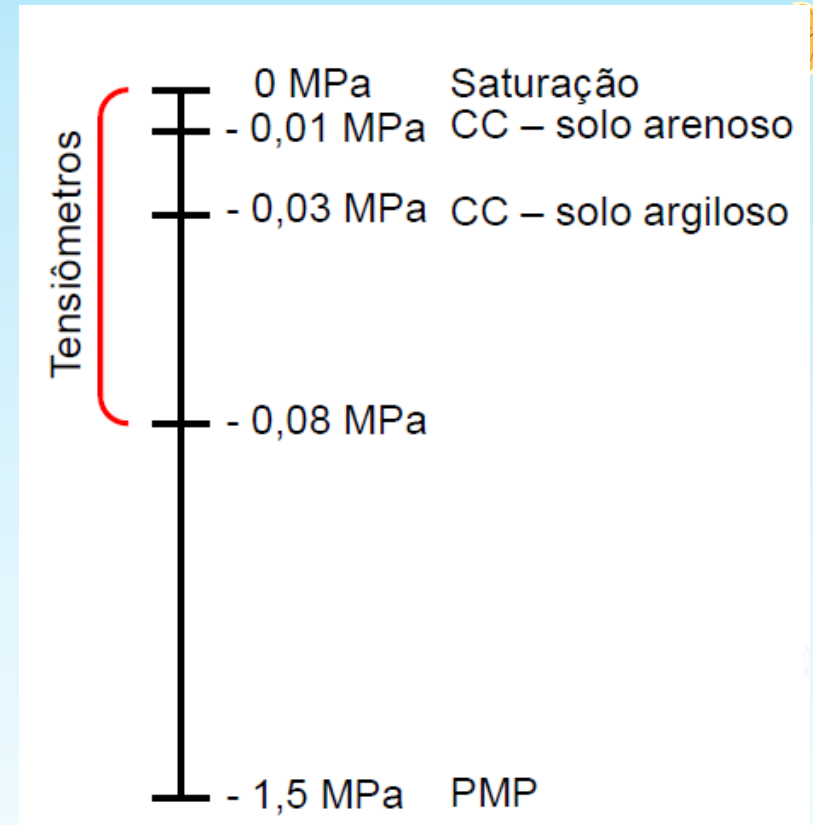
Potencial mátrico crítico para produtividade

Culturas	Potencial mátrico crítico (bar)
Pimenta	0,20-0,40
Feijão grão	0,50-0,75
Soja	0,50-0,80
Melão	0,30-0,50
Citros	0,50-0,70
Uva	0,40-0,60
Banana	0,30-0,50
Melancia	0,30-0,50
Maçã	0,50-0,80
Repolho	0,30-0,50
Ervilha verde	0,20-0,30
Milho verde	0,40-0,60
Milho grão	0,50-0,70
Cebola	0,40-0,60
Batata	0,30-0,50
Alface	0,20-0,30
Tomate	0,10-0,25
Pimentão	0,30-0,50

Amplitude de potencial mátrico 0 a -80 kPa (0 a -0,8 bar \approx 0 a -0,8 atm), além do qual pode romper o contato da água do solo com a água na cápsula do tensiômetro e ocorrer a formação de bolhas de ar no seu interior.

Solo está saturado \rightarrow equilíbrio entre a água dentro do tensiômetro e a água do solo \rightarrow leitura igual à zero.

- Leituras próximas de 0,8 bar (0,08 MPa) indicam baixo teor de água no solo e leituras menores que 0,1 bar (0,01MPa) indicam solo saturado.
- Leituras entre 0,1 e 0,3 bar indicam umidades próximas da capacidade de campo.
- Leituras entre 0,3 e 0,8 bar indicam o momento de iniciar a irrigação para a maioria das culturas



As unidades de medidas utilizadas nos tensiômetros são bastante variadas. Elas podem vir expressas em unidades como kilopascal (kPa), atmosfera (atm), bária (bar), centímetros de água (cmH₂O), centibária (cbar), centímetros de mercúrio (cmHg), milímetros de mercúrio (mmHg). Essas unidades de pressão podem ser relacionadas entre si utilizando a Tabela 1.

TABELA 1. Fatores para conversão de unidades de medida de tensão.

1 atm	= 1 bar x 1,0133	1 bar	= 1 atm x 0,9868
1 atm	= 1 cm H ₂ O x 1033,3	1 bar	= 1 cm H ₂ O x 1019,91
1 atm	= 1 cm de Hg x 76	1 bar	= 1 cm Hg x 75,01
1 cm H ₂ O	= 1 cm de Hg x 0,0736	1 cm de Hg	= 1 cm H ₂ O x 13,6
1 cbar	= 0,01 bar	1 bar	= 100 cbar
1 cbar	= 1 kPa	1 bar	= 100 kPa



Tensiômetros de punção com leitura por tensímetros

Tensiômetro analógico



Exemplo 1: Um tensiômetro está instalado a uma profundidade de 50 cm em relação a superfície do solo (z1) e a leitura é realizada a 15 cm (z2). Em um dado momento a leitura obtida foi de 0,5 bar. Qual o potencial mátrico a 50 cm de profundidade (ponto A)?

$$|P_m| = L - 0,098 \cdot h$$

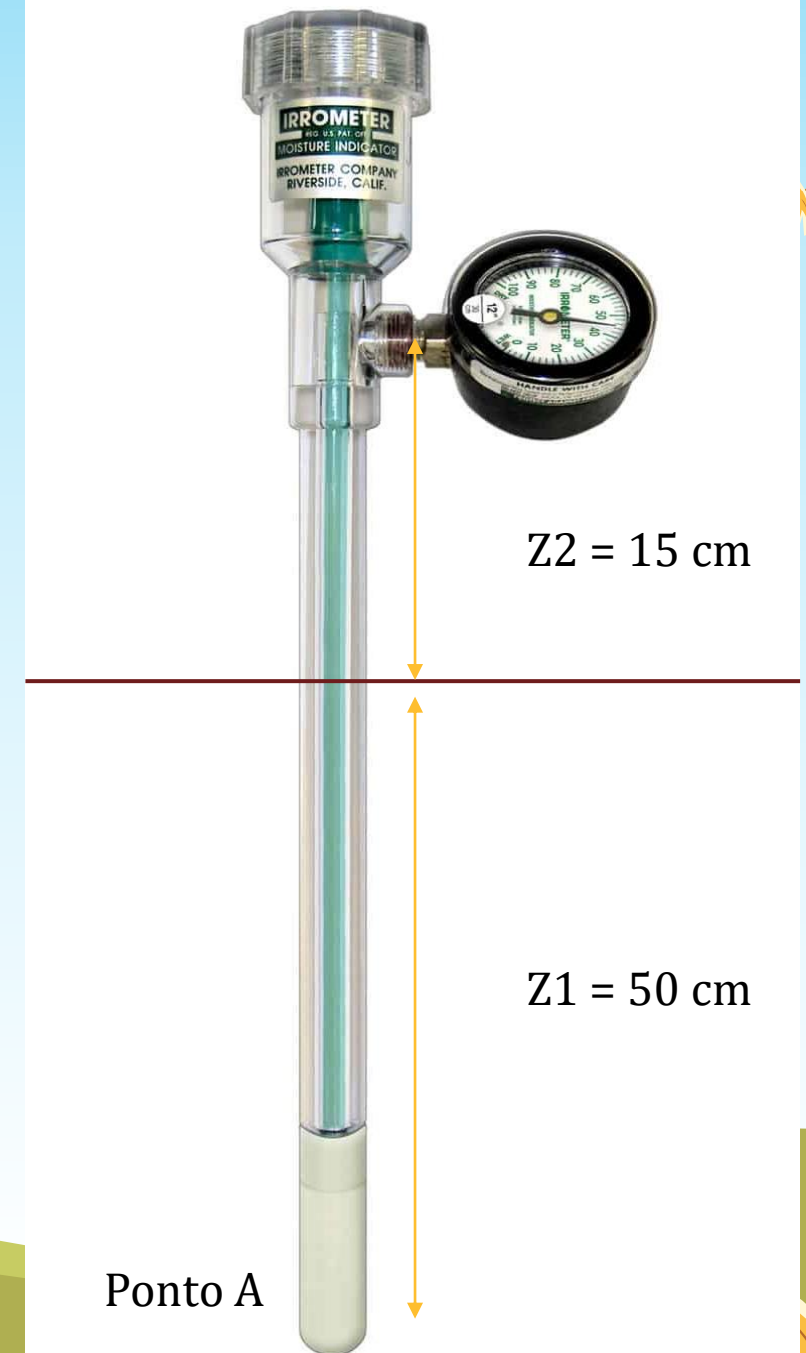
P_m = potencial matricial (cbar ou kPa)

L = leitura (cbar ou kPa)

h = altura da coluna de água no interior do tensiômetro (z1 + z2)

$$|P_m| = 50 \text{ kPa} - 0,098 \cdot (15\text{cm} + 50\text{cm})$$

$$|P_m| = 43,63 \text{ kPa} = 0,0436\text{MPa} = 0,4363 \text{ bar}$$



Via clima

Se baseiam no balanço hídrico do conjunto solo-planta-atmosfera

Padrão: Penman-Monteith (FAO)

$$ETP = \frac{0,408 s(Rn-G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T+273}}{s + \gamma(1 + 0,34 U_2)}$$

onde:

R_n é a radiação líquida total diária ($MJ m^{-2} d^{-1}$);

G é o fluxo de calor no solo ($MJ m^{-2} d^{-1}$);

$\gamma = 0,063 KPa^{\circ}C^{-1}$ é a constante psicrométrica;

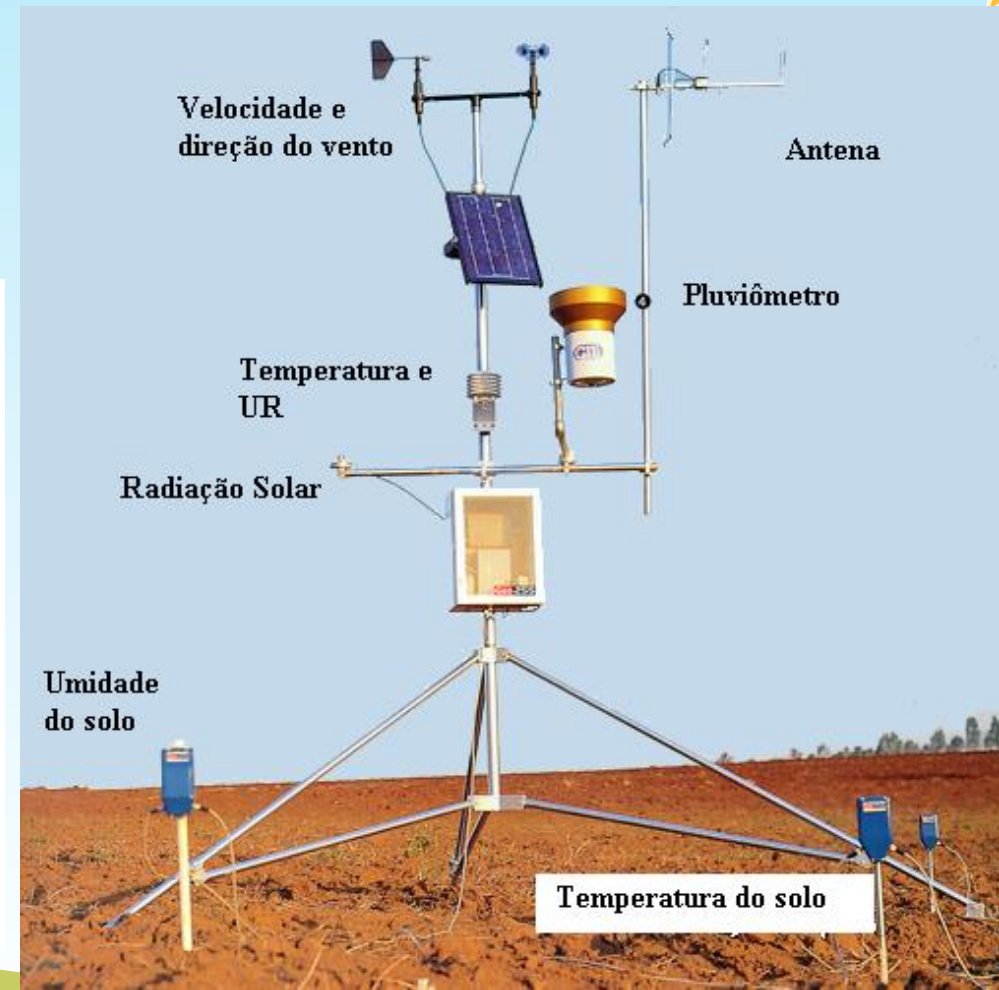
T é a temperatura média do ar ($^{\circ}C$);

U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (ms^{-1});

e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a é a pressão parcial de vapor (KPa);

s é a declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em $KPa^{\circ}C^{-1}$.

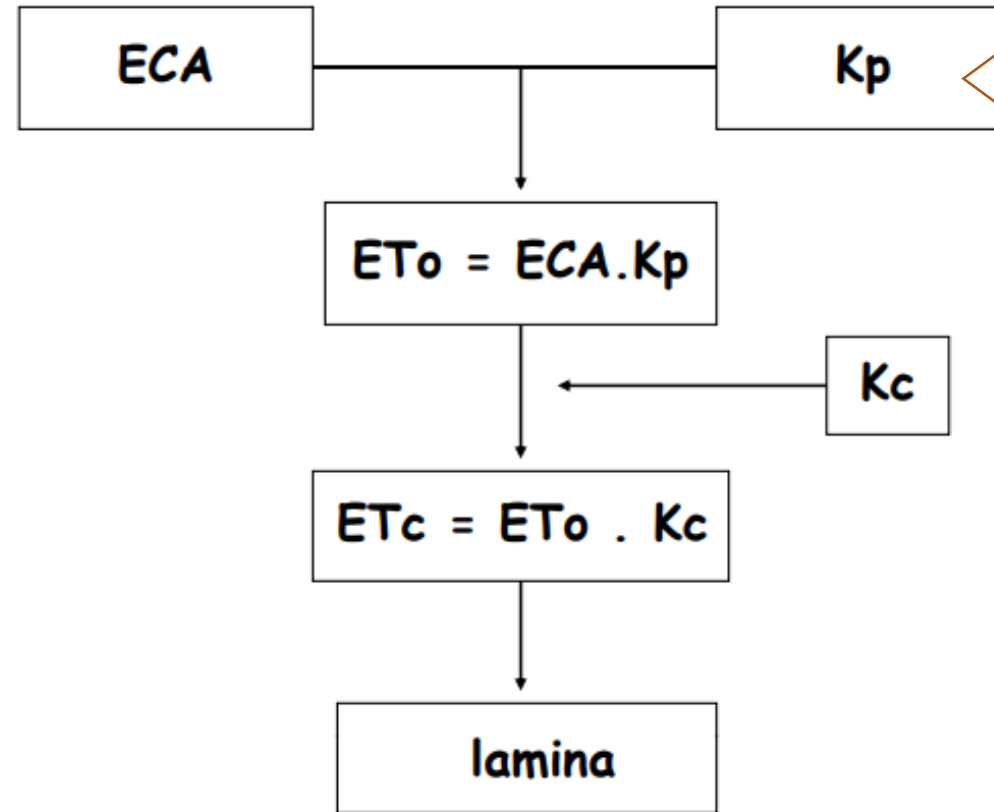


<http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>

TANQUE CLASSE A



$$E_{To} = ECA * K_p \text{ (mm)}$$



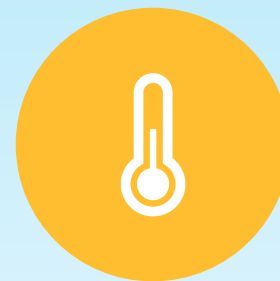
velocidade do vento, umidade relativa e bordadura



**MÉTODO DA
FRIGIDEIRA**



**MÉTODO DO
ÁLCOOL**



**MÉTODO DO
MICROONDAS**

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

CONCEITO – “A Infiltração é definida como sendo o processo de penetração da água no solo, através de sua superfície, no sentido vertical descendente, indo molhar camadas mais profundas.”

IMPORTÂNCIA PARA IRRIGAÇÃO – I_a (intensidade máxima de aplicação de água por aspersão); Q (vazão) e T_i (Tempo de irrigação).

umidade inicial do solo; textura e estrutura do solo; matéria orgânica; camada de impedimento e variabilidade espacial

- **Infiltração acumulada (I)** – (cm, mm, L/m²; L/m).
- **Velocidade de infiltração (VI)** – Taxa de variação (cm/min; mm/min; cm/h; mm/h).
- **Velocidade de infiltração básica (VIB)**

ETAPAS DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO

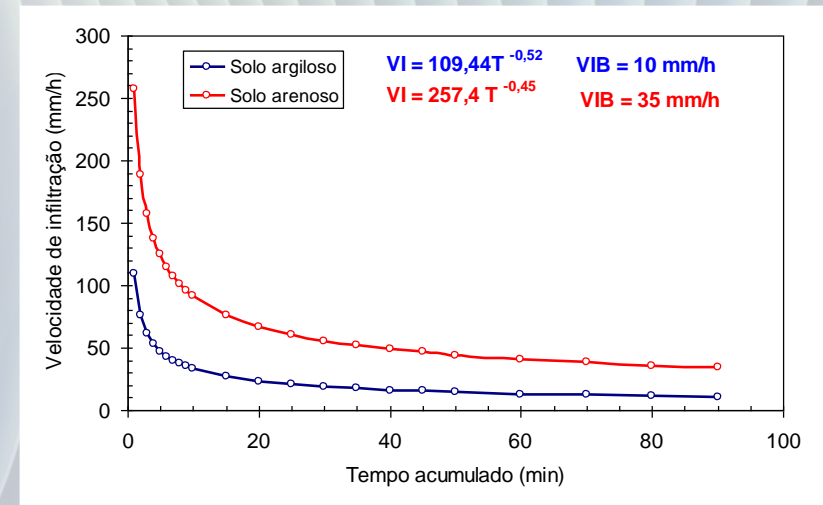
No início da infiltração, quando o solo ainda está relativamente seco, o gradiente de potencial é muito grande, e a velocidade de infiltração é alta.

Após algum tempo, o gradiente de potencial é reduzido e a velocidade diminui.

A medida que as argilas se expandem e contraem parcialmente os poros, a velocidade de infiltração diminui gradualmente até chegar a um ponto em que se mantém praticamente constante.

Este valor constante chama-se de velocidade de infiltração básica (VIB).
Depende fundamentalmente da textura do solo.

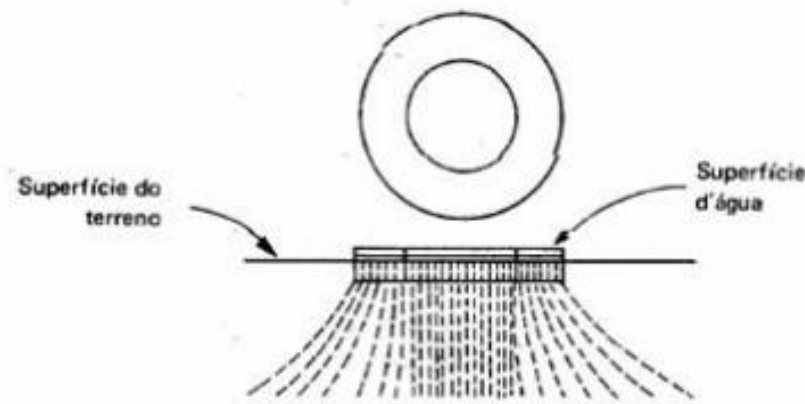
VIB muito alta: > 30 mm/h
VIB alta: 15 - 30 mm/h
VIB média: 5 - 15 mm/h
VIB baixa: < 5 mm/h



INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO

✓ **Infiltrômetro de anel** – quando a infiltração se processa apenas na vertical: Utilizado para irrigação por aspersão e por inundação.



<https://slideplayer.com.br/slide/4071276/>

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO

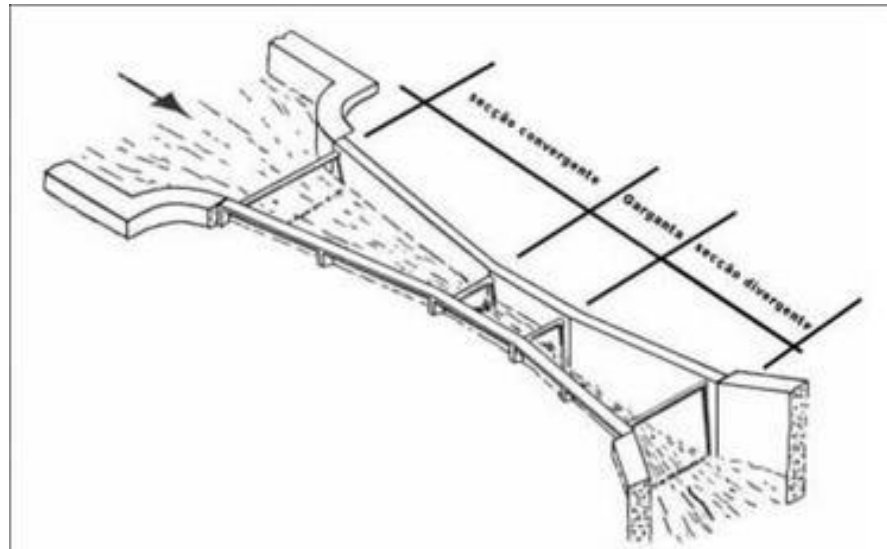
✓ **Infiltrômetro de aspersão e simuladores de chuva** – quando a infiltração se processa apenas na vertical, simulando uma chuva natural: Utilizados para irrigação por aspersão.



<https://docplayer.com.br/6903226-Infiltracao-de-agua-no-solo-e-erosao-hidrica-sob-chuva-simulada-em-sistema-de-integracao-agricultura-pecuaria.html>

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO EM SULCOS

✓ **Entrada e saída da água no sulco** – quando a infiltração se processa tanto na direção vertical quanto na horizontal, com escoamento superficial: Utilizado para irrigação por sulcos com gradiente de declive e longos. Utiliza calhas para determinar a vazão. Veremos com detalhes no projeto de sulcos.



http://www.gpeas.ufc.br/disc/sup/instr_infiltr.pdf

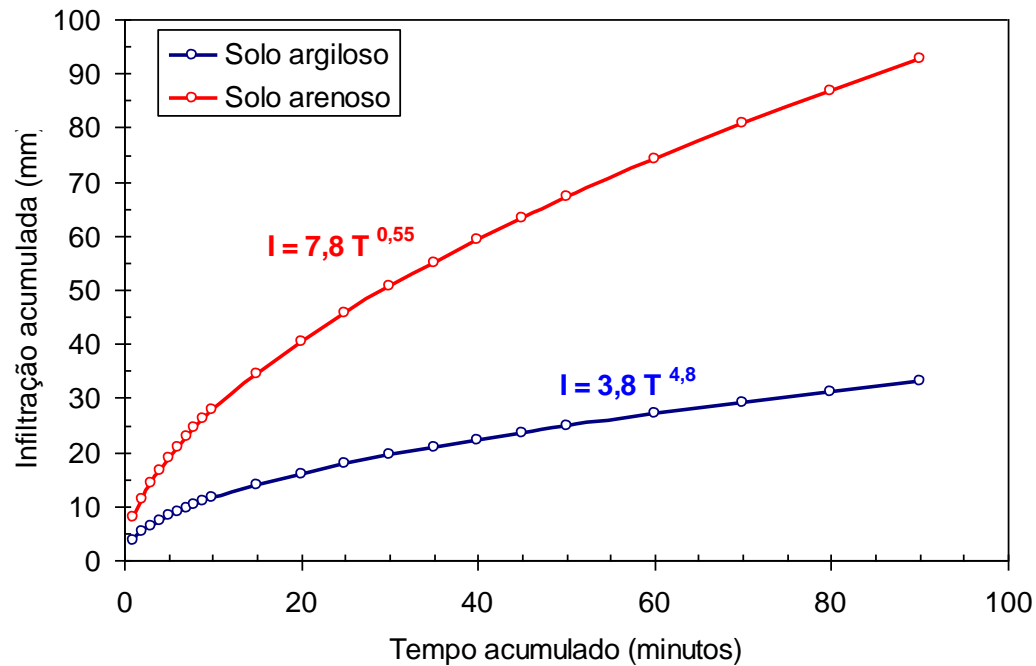
FUNÇÕES DE INFILTRAÇÃO

✓ Infiltração acumulada

$$I = k T^n$$

✓ I = infiltração em mm

✓ T tempo em minutos

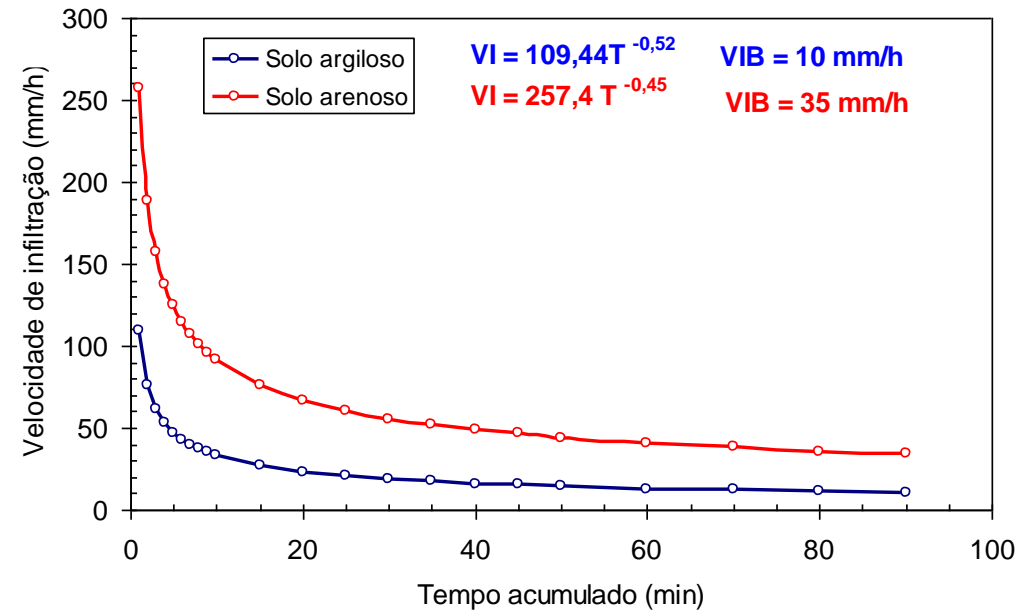


✓ Velocidade de infiltração

$$VI = \beta T^a$$

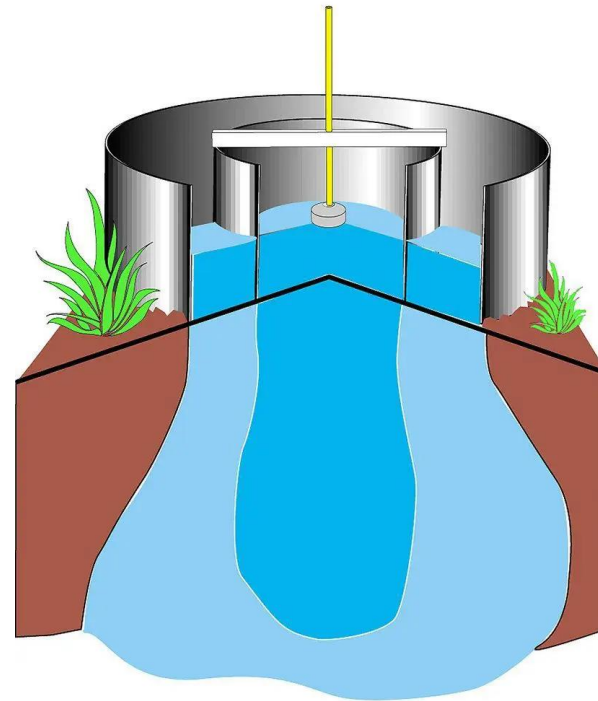
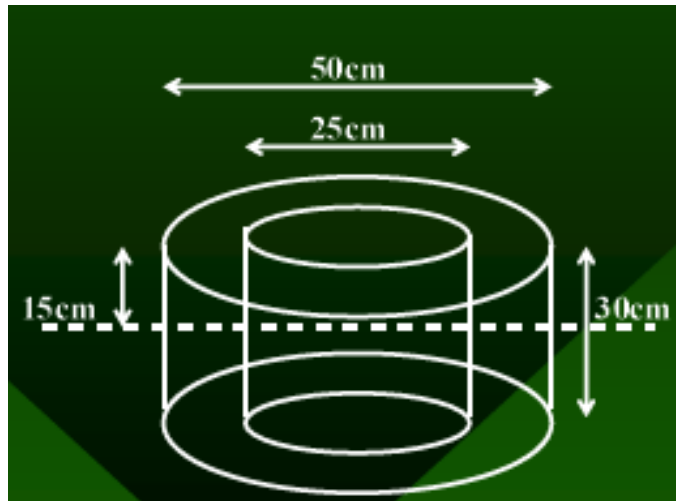
VI = velocidade de Infiltração em mm/h

✓ T tempo em minutos



Método de determinação da Infiltração da água no solo

Infiltrômetro de Anel



- 2 anéis concêntricos (25 cm e 50 cm de diâmetro e 30 cm de altura);
- Enterrados de 10 a 15 cm no solo;
- Lâmina de água variável
- (oscilação máxima de 4 cm).

Material:
2 cilindros, interno e externo;
Prancha de madeira;
Marreta e Regua;
Plástico

Instalação



Carga variável



Carga constante

Carga variável: Ocorre reabastecimento manual da água nos dois anéis quando apresentar valores baixos na leitura.

Carga constante: Há reabastecimento constante e o nível de água é mantido constante.

Preenchimento da planilha em campo:

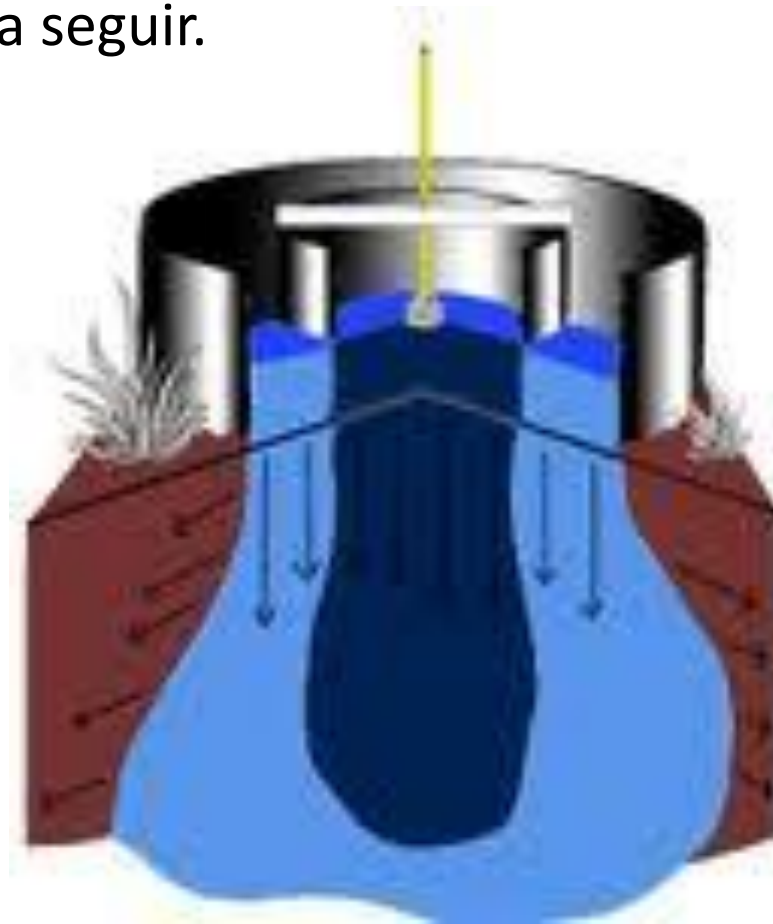
Alguns exemplos de instalação e condução do ensaio.

O cálculo será explicado a seguir.

<https://www.youtube.com/watch?v=81Y-3R3Mdgg>

<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/134>

<https://youtu.be/HN1IZPHwmTQ>



MODELO DE KOSTIAKOV

$$I = K \cdot T^m$$

Modelo potencial

I = infiltração acumulada (cm);

T = tempo de infiltração acumulado (min);

K e m = coeficiente que depende do solo (0-1)

Formas para definir K e m

-gráfica

-analítica

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	$10,8 - 10,3 = 0,5$	
12:47	2	3			
12:49	2	5			
12:54	5	10			
12:59	5	15			
13:09	10	25			
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3			
12:49	2	5			
12:54	5	10			
12:59	5	15			
13:09	10	25			
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	$10,3 - 9,8 = 0,5$	
12:49	2	5			
12:54	5	10			
12:59	5	15			
13:09	10	25			
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	0,5 + 0,5 = 1,0
12:49	2	5			
12:54	5	10			
12:59	5	15			
13:09	10	25			
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5			
12:54	5	10			
12:59	5	15			
13:09	10	25			
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5	9,3	0,5	1,5
12:54	5	10	8,7		
12:59	5	15	8,0		
13:09	10	25	7,1/12,4		
13:19	10	35			
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

Neste momento a leitura estava muito baixa (7,1cm) correndo o risco de perder a próxima leitura. Realiza-se o reabastecimento, imediatamente, após a leitura e anota-se nova leitura da régua (12,4cm).



EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5	9,3	0,5	1,5
12:54	5	10	8,7	0,6	2,1
12:59	5	15	8,0	0,7	2,8
13:09	10	25	7,1/12,4	0,9	3,7
13:19	10	35	11,5	$12,4 - 11,5 = 0,9$	
13:34	15	50			
13:49	15	65			
14:19	30	95			
14:49	30	125			
15:19	30	155			

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5	9,3	0,5	1,5
12:54	5	10	8,7	0,6	2,1
12:59	5	15	8,0	0,7	2,8
13:09	10	25	7,1/12,4	0,9	3,7
13:19	10	35	11,5	0,9	4,6
13:34	15	50	10,4	1,1	5,7
13:49	15	65	9,4	1,0	6,7
14:19	30	95	8,1/11,7	1,3	8,0
14:49	30	125	10,4	1,3	9,3
15:19	30	155	9,1	1,3	10,6

EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5	9,3	0,5	1,5
12:54	5	10	8,7	0,6	2,1
12:59	5	15	8,0	0,7	2,8
13:09	10	25	7,1/12,4	0,9	3,7
13:19	10	35	11,5	0,9	4,6
13	<div style="border: 2px solid orange; padding: 5px;"> Após ocorrer três leituras de 30 minutos com valores muito próximos, encerra-se o ensaio. Atingiu-se a Velocidade de Infiltração Básica (VIB). Pode ser estimada por $1,3 \text{ cm}/30 \text{ minutos} \times 2 \times 10 = 26 \text{ mm/h}$ </div>			1,1	5,7
13				1,0	6,7
14				1,3	8,0
14				1,3	9,3
15				1,3	10,6

Modelo de Infiltração

b) Método da regressão linear

$$I = K \cdot T^n$$

Modelo potencial

$$\log I = \log K + n \cdot \log T$$

Modelo linear

$$Y = A + B X$$

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = n$$

$$n = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$\text{Log } K = A$$

$$K = \text{ant log } A = 10^A$$

Equação de Infiltração:

$$I = K T^n$$

$$I(\text{mm}) = 10 * K * T^n$$

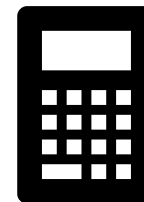
Velocidade de Infiltração (VI):

$$VI = \frac{\partial I}{\partial T}$$

$$VI(\text{cm/min}) = n * k * T^{n-1} \rightarrow$$

$$VI(\text{mm/h}) = 10 * n * 60 * k * T^{n-1}$$

- Cria-se uma nova planilha com a coluna de Tempo acumulado e a coluna de infiltração acumulada.
- Calcula-se as colunas de $x = \log(T)$, $y = \log(I)$, $x*y$ e x^2 .
- Lembrar que a média refere-se a média de valores, ou seja, a primeira linha não conta. No exemplo $N = 12$



EXMPLO DE DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

HORAS	INTERVALO DE TEMPO (min)	TEMPO ACUMULADO (min)	LEITURA DA RÉGUA (cm)		INFILTRAÇÃO ACUMULADA (cm)
			INSTANTÂNEA	DIFERENÇA	
12:44	0	0	10,8	-----	-----
12:45	1	1	10,3	0,5	0,5
12:47	2	3	9,8	0,5	1,0
12:49	2	5	9,3	0,5	1,5
12:54	5	10	8,7	0,6	2,1
12:59	5	15	8,0	0,7	2,8
13:09	10	25	7,1/12,4	0,9	3,7
13:19	10	35	11,5	0,9	4,6
13:34	15	50	10,4	1,1	5,7
13:49	15	65	9,4	1,0	6,7
14:19	30	95	8,1/11,7	1,3	8,0
14:49	30	125	10,4	1,3	9,3
15:19	30	155	9,1	1,3	10,6

Teste de Infiltração

T (min)	I (cm)	X =Log T	Y = Log I	X * Y	X ²
0	-----	-	-	-	-
1	0,5	0,000	-0,301	0,000	0
3	1,0	0,477	0,000	0,000	0,228
5	1,5	0,699	0,176	0,123	0,488
10	2,1	1,000	0,322	0,322	1,000
15	2,8	1,176	0,447	0,526	1,386
25	3,7	1,398	0,568	0,794	1,954
35	4,6	1,544	0,663	1,024	2,384
50	5,7	1,699	0,756	1,284	2,887
65	6,7	1,813	0,826	1,496	3,287
95	8,0	1,977	0,903	1,785	3,909
125	9,3	2,097	0,968	2,029	4,397
155	10,6	2,190	1,025	2,245	4,796
	Total	16,071	6,354	11,633	26,717
	média	1,334	0,529	0,969	2,226

Teste de Infiltração

T (min)	I (cm)	X =Log T	Y = Log I	X * Y	X ²
0	-----	-	-	-	-
1	0,5	0,000	-0,301	0,000	0
3	1,0	0,477	0,000	0,000	0,228
5	1,5	0,699	0,176	0,123	0,488
10	2,1	1,000	0,322	0,322	1,000
15	2,8	1,176	0,447	0,526	1,386
25	3,7	1,398	0,568	0,794	1,954
35	4,6	1,544	0,663	1,024	2,384
50	5,7	1,699	0,756	1,284	2,887
65	6,7	1,813	0,826	1,496	3,287
95	8,0	1,977	0,903	1,785	3,909
125	9,3	2,097	0,968	2,029	4,397
155	10,6	2,190	1,025	2,245	4,796
	Total	16,071	6,354	11,633	26,717
	média	1,334	0,529	0,969	2,226

$$I = K.T^n$$

$$\log I = \log K + n \cdot \log T$$
$$Y = A + B X$$

O coeficiente angular (B) e a interseção (A) da reta são dados por:

$$B = n = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}$$

$$\Sigma xy = 11,633$$

$$\Sigma x = 16,071$$

$$\Sigma y = 6,354$$

$$\Sigma x^2 = 26,717$$

$$N = 12$$

$$n = 0,60$$

$$A = \bar{Y} - B \bar{X}$$

$$A = 0,529 - 0,60 * 1,334 = -0,271$$

$$\log K = A \quad K = \text{ant log } A$$

$$K = \text{antlog } -0,271 = 10^{(-0,271)} = 0,536$$

$$I = K T^n$$

$$I = 0,536 \cdot T^{0,60} \rightarrow \text{cm}$$

$$I = 5,36 T^{0,60} \rightarrow \text{mm}$$

$$VI = 10 \cdot n \cdot 60 \cdot K \cdot T^{n-1} =$$

$$VI = 10 \cdot 0,60 \cdot 60 \cdot 0,536 \cdot T^{0,60-1}$$

$$VI = 192,96 T^{-0,40} \rightarrow \text{mm/h}$$



Bom estudo a todos!

CC BY-NC-ND