

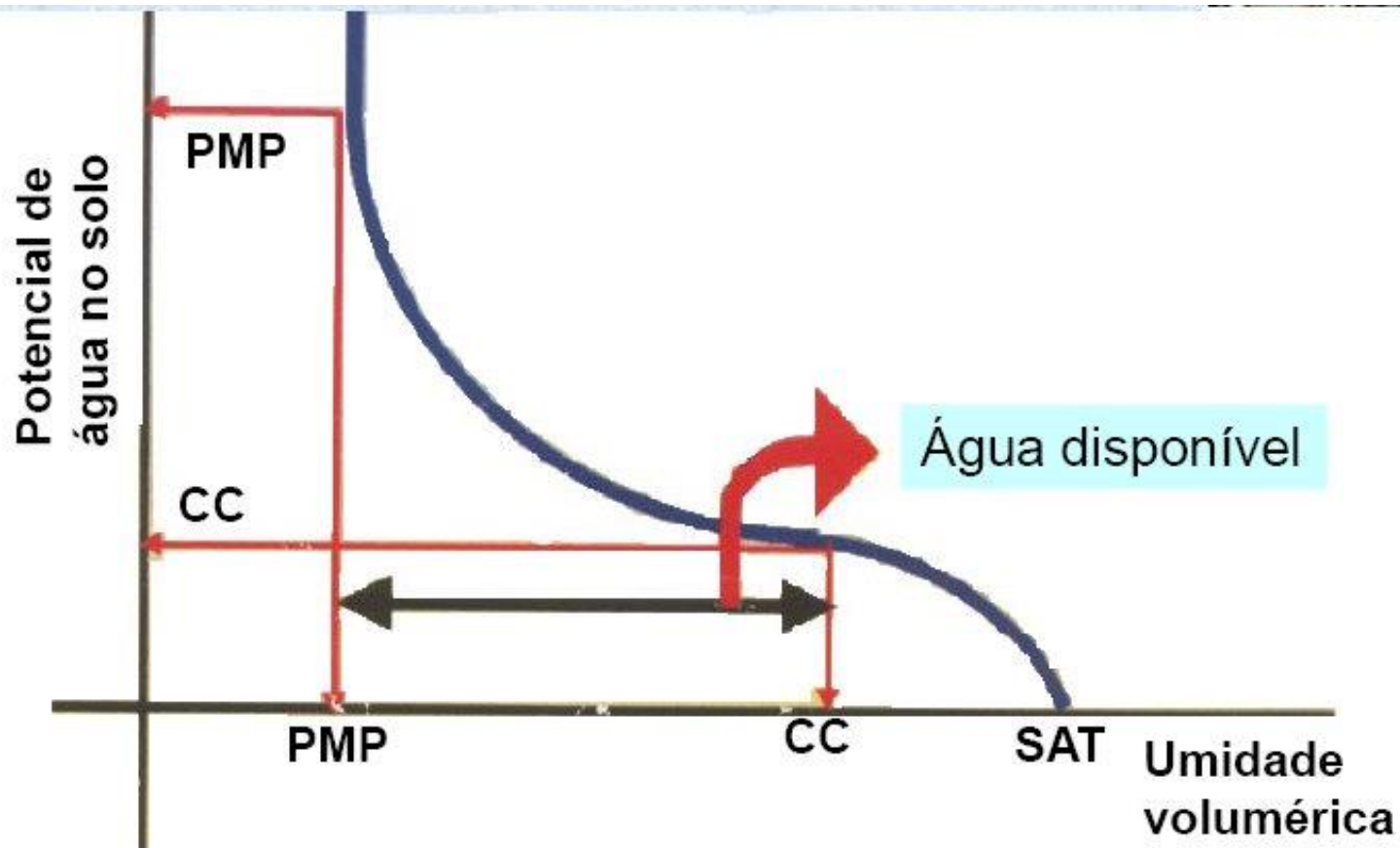
## 7 - INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

- POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO:
- Potencial de água no solo define o estado de energia em que a água se encontra no solo em relação a um potencial padrão
- Padrão: água pura isenta de sais, submetida a condições normais de pressão (pressão relativa = 0) e sobre a superfície do solo.
- Unidades: metros, Pa, atm

---

# Componentes do potencial

- $\Psi_T = \Psi_g + \Psi_{os} + \Psi_P + \Psi_m$
  - $\Psi_T \rightarrow$  potencial total da água no solo
  - $\Psi_g \rightarrow$  potencial gravitacional
  - $\Psi_{os} \rightarrow$  potencial osmótico
  - $\Psi_P \rightarrow$  potencial de pressão
  - $\Psi_P \rightarrow$  potencial matricial (tensões)
-



# CONTROLE DA IRRIGAÇÃO POR MEDIDAS DO POTENCIAL MÁTRICO DO SOLO

## USO DE TENSÍMETROS



Tensiômetros digitais ou tensímetros



✓ CONTROLE DA IRRIGAÇÃO POR MEDIDAS DO POTENCIAL MÁTRICO DO SOLO  
USO DE TENSIÔMETROS

Tensiômetro analógico



## ✓ CONTROLE DA IRRIGAÇÃO POR MEDIDAS DO POTENCIAL MÁTRICO DO SOLO

**Quando irrigar** – Com base no potencial mátrico crítico na profundidade de controle.

**Quanto irrigar** – Com base na umidade do solo correspondente ao potencial mátrico em cada camada e na umidade à capacidade de campo.

### INTERPRETAÇÃO DAS LEITURAS DOS TENSÍOMETROS

#### **Interpretação geral**

- Leituras próximas de 0,8 bar indicam baixo teor de água no solo e leituras menores que 0,1 bar 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

## INTERPRETAÇÃO DAS LEITURAS DOS TENSÍÔMETROS

### Interpretação específica

#### Potencial mátrico crítico para produtividade máxima

1 bar = 0,987 atm

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

# 7 - INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO

A água se move sempre que existirem diferenças de potencial total da água nos diferentes pontos dentro do sistema de solo e quando houver presença de meio poroso condutivo.

A água move-se do maior para o menor potencial hidráulico.

$$\Psi_{hid} = \Psi_g + \Psi_m$$



# 7 - INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

**CONCEITO** - É o processo de entrada da água no solo através de sua superfície.

## **IMPORTÂNCIA PARA IRRIGAÇÃO**

- Intensidade máxima de aplicação de água por aspersão
  - Vazão derivada e tempo de irrigação em sistemas por superfície.
-

## TERMOS USUAIS

**Infiltração acumulada (I)** - É a quantidade total de água infiltrada durante um determinado tempo (cm, mm)

**Velocidade de infiltração (VI)** - Taxa de variação da infiltração acumulada com o tempo (cm/min; mm/min; cm/h; mm/h).

**Velocidade de infiltração básica (VIB)** - É a VI quando sua variação com o tempo é muito pequena (após longo tempo de infiltração).

➤ 30 mm/h → VIB muito alta

15 a 30 mm/h → VIB alta

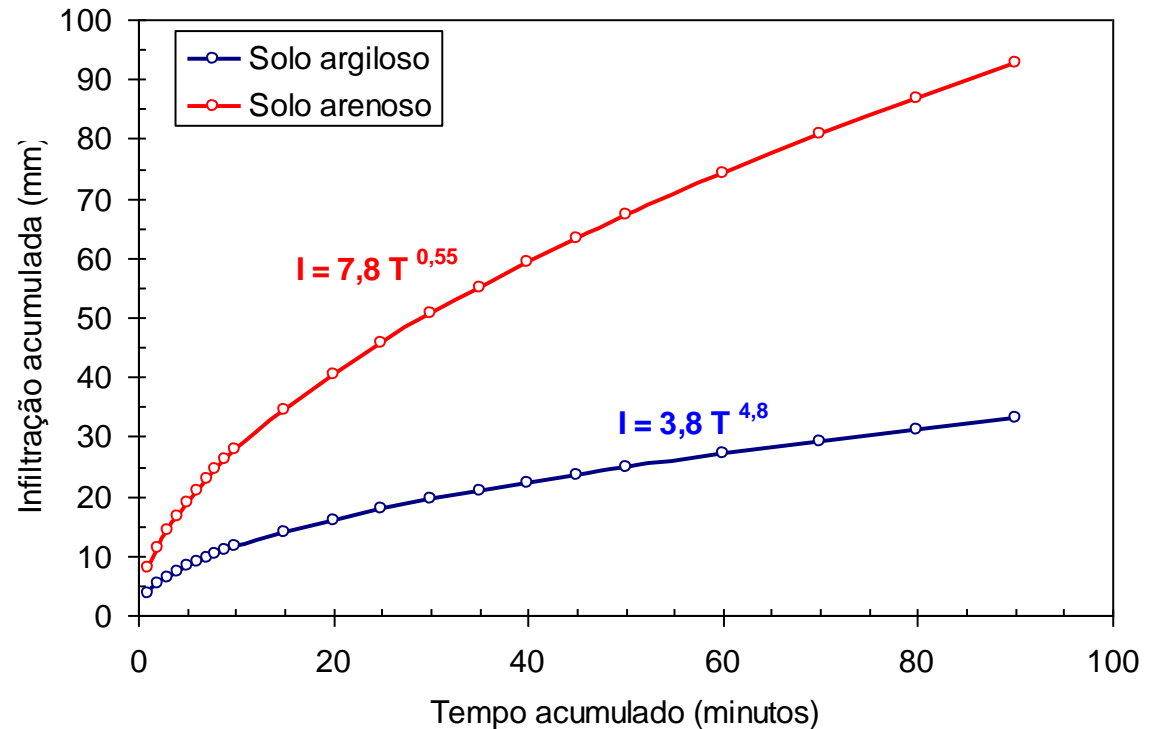
➤ 5 a 15 mm/h → VIB média

< 5 mm/h → VIB baixa

# FUNÇÕES DE INFILTRAÇÃO

✓ Infiltração acumulada (Kostiakov, 1932):

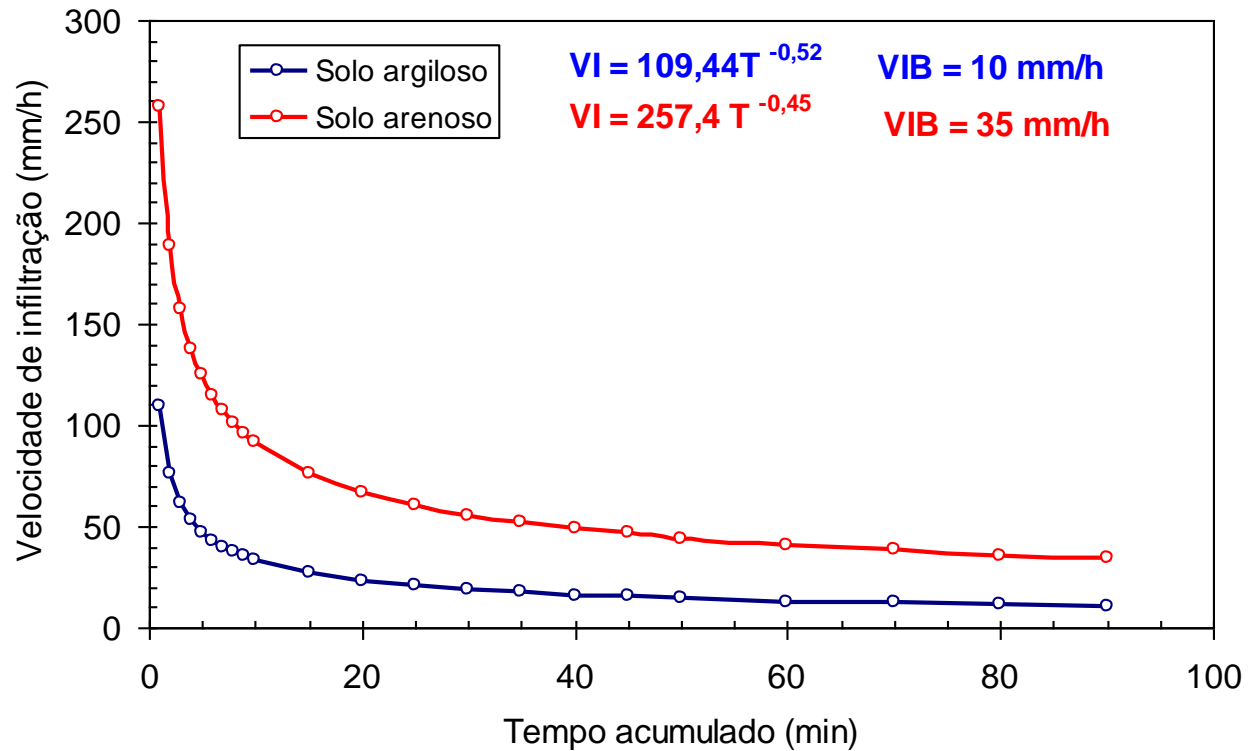
$$I = k T^n$$



# FUNÇÕES DE INFILTRAÇÃO

✓ Velocidade de infiltração:

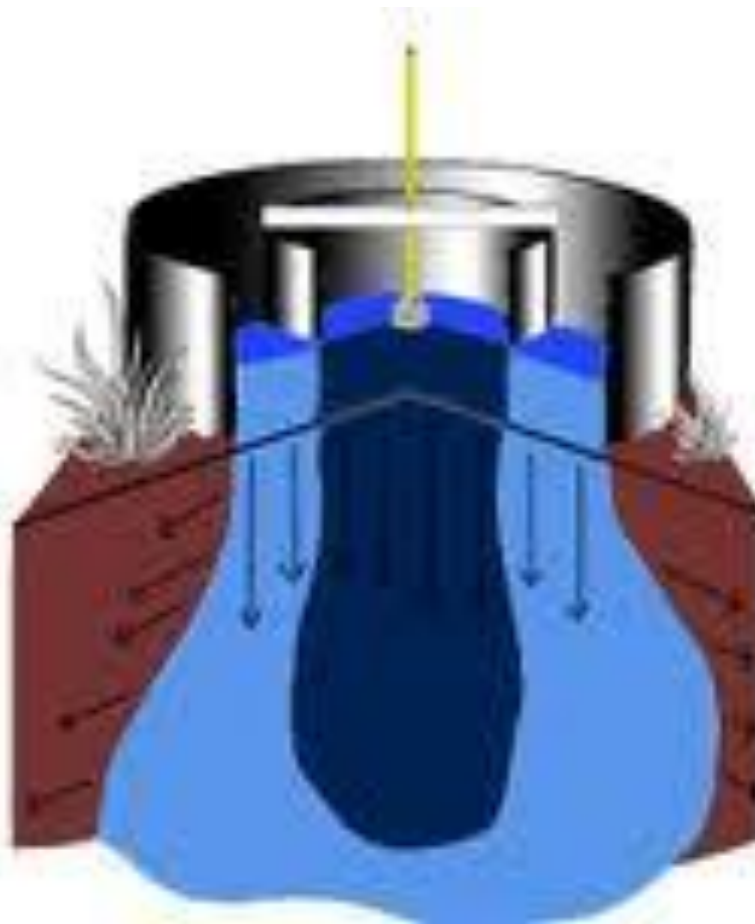
$$VI = \beta T^a$$



# 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.





Carga variável



Carga constante

# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## MÉTODO DE DETERMINAÇÃO

- ✓ **Infiltrômetro de sulco** - quando a infiltração se processa tanto na direção vertical quanto na horizontal, sem escoamento superficial: Utilizado para irrigação por sulcos em nível e curtos.
- ✓ Represar água em pequeno comprimento de sulco (normalmente 1 m) e ir acrescentando água a medida q for infiltrando aceitando-se uam variação máxima de 2 cm.
- ✓ Medidas em intervalos de 5, 10,15, 20, 30 ,45, 60, 90, 120 minutos.

# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## MÉTODO DE DETERMINAÇÃO

- ✓ **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.
- ✓ **Balanço volumétrico** - quando a infiltração se processa tanto na direção vertical quanto na horizontal, com escoamento superficial: Utilizado para irrigação por sulcos.



# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

Hora	Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura da Régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,8	-	0	0
08:01	1	1				
08:02	1	2				
08:04	2	4				
08:06	2	6				
08:11	5	11				
08:16	5	16				
08:26	10	26				
08:36	10	36				
08:51	15	51				
09:06	15	66				
09:36	30	96				
10:06	30	126				

# Instalação



# Instalação



# Medição



# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

Hora	Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura da Régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,8	-	0	0
08:01	1	1	10,3	-	0,5	0,5
08:02	1	2				
08:04	2	4				
08:06	2	6				
08:11	5	11				
08:16	5	16				
08:26	10	26				
08:36	10	36				
08:51	15	51				
09:06	15	66				
09:36	30	96				
10:06	30	126				

# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

Hora	Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura da Régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,8	-	0	0
08:01	1	1	10,3	-	0,5	0,5
08:02	1	2	9,8	-	0,5	1,0
08:04	2	4	9,3		0,5	1,5
08:06	2	6	8,7	-	0,6	2,1
08:11	5	11	8,0		0,7	2,8
08:16	5	16	7,1	12,4	0,9	3,7
08:26	10	26				
08:36	10	36				
08:51	15	51				
09:06	15	66				
09:36	30	96				
10:06	30	126				

# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo Acumulado (min)</b>	<b>Leitura da Régua (cm)</b>	<b>Reposição (cm)</b>	<b>Infiltração (cm)</b>	<b>Infiltração Acumulada (cm)</b>
08:00	0	0	10,8	-	0	0
08:01	1	1	10,3	-	0,5	0,5
08:02	1	2	9,8	-	0,5	1,0
08:04	2	4	9,3		0,5	1,5
08:06	2	6	8,7	-	0,6	2,1
08:11	5	11	8,0		0,7	2,8
08:16	5	16	7,1	12,4	0,9	3,7
08:26	10	26	11,5		0,9	4,6
08:36	10	36	10,4	-	1,1	5,7
08:51	15	51	9,4		1,0	6,7
09:06	15	66	8,1	11,7	1,3	8,0
09:36	30	96	10,4		1,3	9,3
10:06	30	126	9,1		1,3	10,6

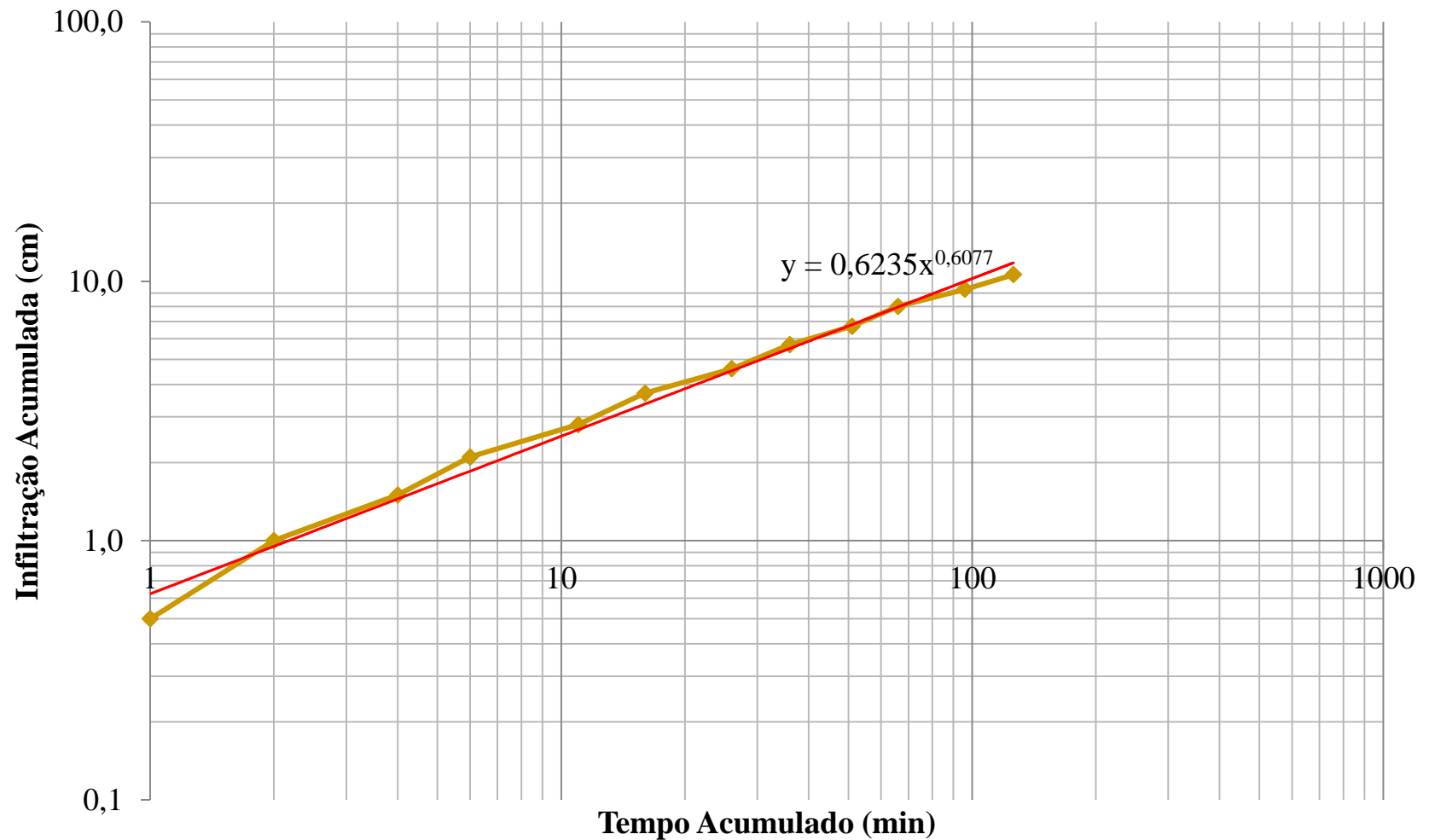
# INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

## PELO MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANEL

Hora	Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura da Régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
08:00	0	0	10,8	-	0	0
08:01	1	1	10,3	-	0,5	0,5
08:02	1	2	9,8	-	0,5	1,0
08:04	2	4	9,3		0,5	1,5
08:06	2	6	8,7	-	0,6	2,1
08:11	5	11	8,0		0,7	2,8
08:16	5	16	7,1	12,4	0,9	3,7
08:26	10	26	11,5		0,9	4,6
08:36	10	36	10,4	-	1,1	5,7
08:51	15	51	9,4		1,0	6,7
09:06	15	66	8,1	11,7	1,3	8,0
09:36	30	96	10,4		1,3	9,3
10:06	30	126	9,1		1,3	10,6



# Método do Papel Log-log



# Método Regressão Linear

$$I = K \cdot T^m \Rightarrow \textit{Modelo Potencial}$$

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

$$Y = A + B \cdot X \Rightarrow \textit{Modelo Linear}$$

# Método Regressão Linear

$$B = m = \frac{\sum x.y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}}$$

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

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

<b>Tempo</b>	<b>Infiltração</b>					
<b>Acumulado</b>	<b>Acumulada</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b>
<b>(min)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(logT)</b>	<b>(logI)</b>			<b>(cm.min<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5					
2	1,0					
4	1,5					
6	2,1					
11	2,8					
16	3,7					
26	4,6					
36	5,7					
51	6,7					
66	8,0					
96	9,3					
126	10,6					
	<b>Soma</b>					
	<b>Média</b>					

<b>Tempo</b>	<b>Infiltração</b>					
<b>Acumulado</b>	<b>Acumulada</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b>
<b>(min)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(logT)</b>	<b>(logI)</b>			<b>(cm.min<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5	0,000				
2	1,0	0,301				
4	1,5	0,602				
6	2,1	0,778				
11	2,8	1,041				
16	3,7	1,204				
26	4,6	1,415				
36	5,7	1,556				
51	6,7	1,708				
66	8,0	1,820				
96	9,3	1,982				
126	10,6	2,100				
<b>Soma</b>		<b>14,508</b>				
<b>Média</b>		<b>1,209</b>				

<b>Tempo</b>	<b>Infiltração</b>					
<b>Acumulado</b>	<b>Acumulada</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b>
<b>(min)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(logT)</b>	<b>(logI)</b>			<b>(cm.min<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5	0,000	-0,301			
2	1,0	0,301	0,000			
4	1,5	0,602	0,176			
6	2,1	0,778	0,322			
11	2,8	1,041	0,447			
16	3,7	1,204	0,568			
26	4,6	1,415	0,663			
36	5,7	1,556	0,756			
51	6,7	1,708	0,826			
66	8,0	1,820	0,903			
96	9,3	1,982	0,968			
126	10,6	2,100	1,025			
<b>Soma</b>		<b>14,508</b>	<b>6,354</b>			
<b>Média</b>		<b>1,209</b>	<b>0,530</b>			

<b>Tempo</b>	<b>Infiltração</b>					
<b>Acumulado</b>	<b>Acumulada</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b>
<b>(min)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(logT)</b>	<b>(logI)</b>			<b>(cm.min<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5	0,000	-0,301	0		
2	1,0	0,301	0,000	0,000		
4	1,5	0,602	0,176	0,106		
6	2,1	0,778	0,322	0,251		
11	2,8	1,041	0,447	0,466		
16	3,7	1,204	0,568	0,684		
26	4,6	1,415	0,663	0,938		
36	5,7	1,556	0,756	1,176		
51	6,7	1,708	0,826	1,411		
66	8,0	1,820	0,903	1,643		
96	9,3	1,982	0,968	1,920		
126	10,6	2,100	1,025	2,154		
<b>Soma</b>		<b>14,508</b>	<b>6,354</b>	<b>10,748</b>		
<b>Média</b>		<b>1,209</b>	<b>0,530</b>			

<b>Tempo</b>	<b>Infiltração</b>					
<b>Acumulado</b>	<b>Acumulada</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b>
<b>(min)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(logT)</b>	<b>(logI)</b>			<b>(cm.min<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5	0,000	-0,301	0	0,000	
2	1,0	0,301	0,000	0,000	0,091	
4	1,5	0,602	0,176	0,106	0,362	
6	2,1	0,778	0,322	0,251	0,606	
11	2,8	1,041	0,447	0,466	1,084	
16	3,7	1,204	0,568	0,684	1,450	
26	4,6	1,415	0,663	0,938	2,002	
36	5,7	1,556	0,756	1,176	2,422	
51	6,7	1,708	0,826	1,411	2,916	
66	8,0	1,820	0,903	1,643	3,311	
96	9,3	1,982	0,968	1,920	3,929	
126	10,6	2,100	1,025	2,154	4,412	
<b>Soma</b>		<b>14,508</b>	<b>6,354</b>	<b>10,748</b>	<b>22,585</b>	
<b>Média</b>		<b>1,209</b>	<b>0,530</b>			



# Método Regressão Linear

$$B = m = 0,6077$$

$$A = \bar{Y} - B \cdot \bar{X} = 0,530 - 0,6077 \cdot 1,209 = -0,205$$

$$K = \text{ant log } A = 10^A = 10^{-0,205} = 0,624$$

$$I = 0,624 \cdot T^{0,6077} \text{ em cm}$$

$$I = 6,24 \cdot T^{0,6077} \text{ em mm}$$

# Velocidade de Infiltração

$$VI = \frac{dI}{dT}$$

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

$$VI = m \cdot K \cdot T^{m-1} = K' T^n$$

*para passar para mm/h multiplicar por 60*

# Velocidade de Infiltração

$$I = K . T^m = 6,24 . T^{0,6077}$$

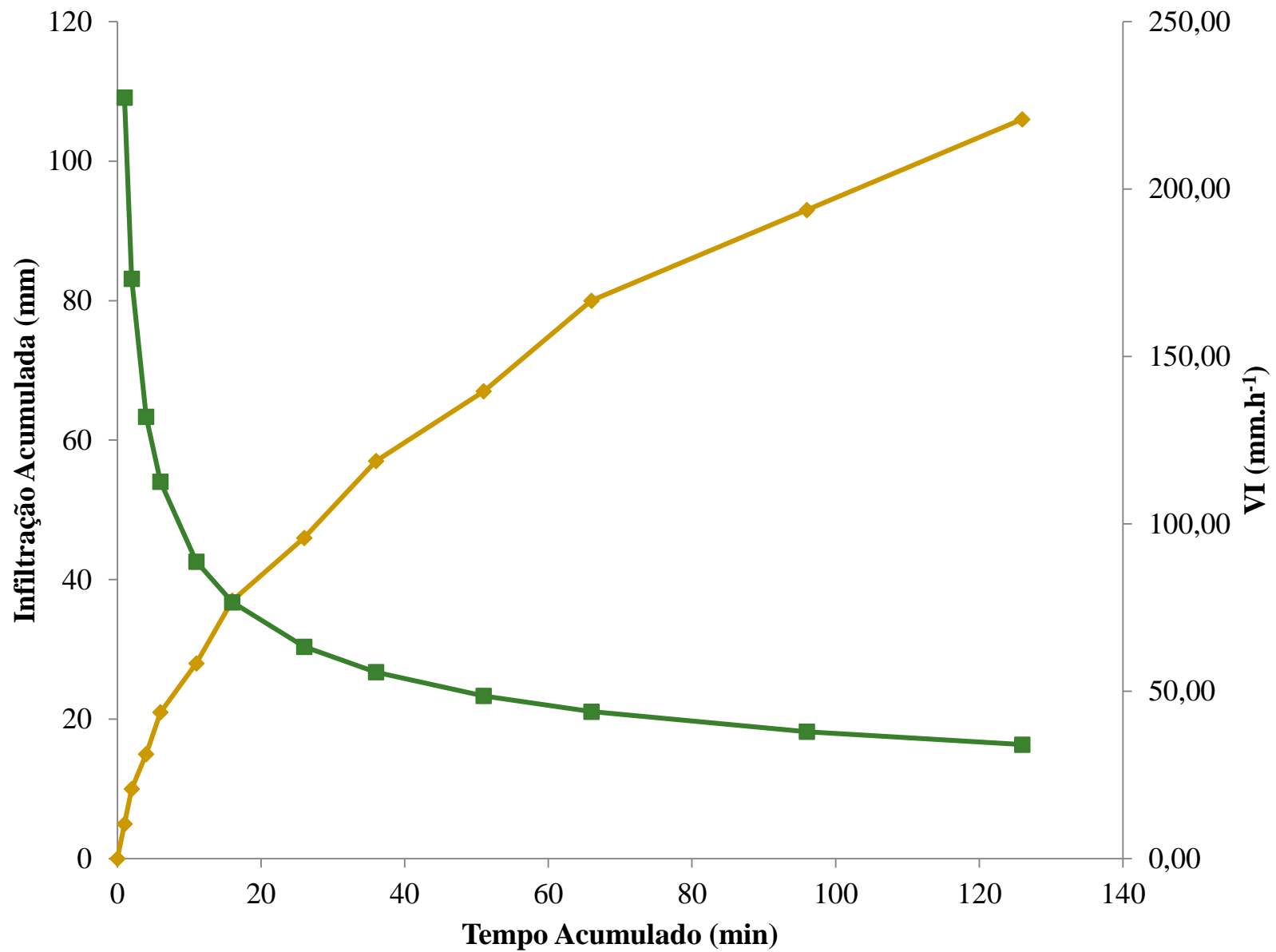
$$VI = m . K . T^{m-1} = 0,6077 . 6,24 . T^{0,6077-1} = 3,79 . T^{-0,3923}$$

*em mm / min*

*para passar para mm / h multiplicar por 60*

$$VI = 227,40 . T^{-0,3923} \text{ em mm / h}$$

<b>Tempo</b> <b>Acumulado</b> <b>(min)</b>	<b>Infiltração</b> <b>Acumulada</b> <b>(cm)</b>	<b>X</b> <b>(logT)</b>	<b>Y</b> <b>(logI)</b>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>VI</b> <b>(mm.h<sup>-1</sup>)</b>
0	0	-	-	-	-	
1	0,5	0,000	-0,301	0	0,000	227,34
2	1,0	0,301	0,000	0,000	0,091	173,21
4	1,5	0,602	0,176	0,106	0,362	131,97
6	2,1	0,778	0,322	0,251	0,606	112,56
11	2,8	1,041	0,447	0,466	1,084	88,74
16	3,7	1,204	0,568	0,684	1,450	76,61
26	4,6	1,415	0,663	0,938	2,002	63,32
36	5,7	1,556	0,756	1,176	2,422	55,73
51	6,7	1,708	0,826	1,411	2,916	48,61
66	8,0	1,820	0,903	1,643	3,311	43,93
96	9,3	1,982	0,968	1,920	3,929	37,93
126	10,6	2,100	1,025	2,154	4,412	34,09
<b>Soma</b>		<b>14,508</b>	<b>6,354</b>	<b>10,748</b>	<b>22,585</b>	
<b>Média</b>		<b>1,209</b>	<b>0,530</b>			



# Para entregar:

<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Tempo Acumulado (min)</b>	<b>Leitura da Régua (cm)</b>	<b>Reposição (cm)</b>
08:00	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10,5</b>	-
08:01	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7,9</b>	-
08:02	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6,4</b>	-
08:04	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5,3</b>	<b>10,7</b>
08:06	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>9,9</b>	-
08:11	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>7,3</b>	<b>10,5</b>
08:16	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>8,0</b>	-
08:26	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>5,3</b>	<b>10,6</b>
08:36	<b>10</b>	<b>36</b>	<b>8,7</b>	-
08:51	<b>15</b>	<b>51</b>	<b>6,2</b>	<b>10,4</b>
09:06	<b>15</b>	<b>66</b>	<b>7,4</b>	<b>10,5</b>
09:36	<b>30</b>	<b>96</b>	<b>6,1</b>	<b>10,4</b>
10:06	<b>30</b>	<b>126</b>	<b>6,1</b>	<b>10,6</b>