

Sistemas Sustentáveis de Irrigação no Contexto de Mudanças Climáticas em Moçambique



José Pires, MSc

Introdução

Estima-se um aumento populacional mundial de aproximadamente 9 biliões até 2050, e 60% desse aumento será em Africa.

Consequentemente, maior demanda por alimentos levamos a necessidade de aumentar a produção e a produtividade das culturas alimentares.

A agricultura em Moçambique constitui a actividade económica que ocupa grande parte da população, podendo alcançar mais de 85% dos cidadãos.

Introdução

A agricultura é a actividade económica com maior dependência das condições do clima.

- **Clima:** Define o tipo de actividade agrícola mais viável na região
- **Tempo e Precipitação:** o nível de produtividade em determinados período e tomada de decisão relacionada as praticas agrícolas.

Cerca de 1/3 da variabilidade de produtividade global esta relacionado com a variabilidade climática. Podendo chegar cerca 90% dependendo do nível tecnológico.

Introdução

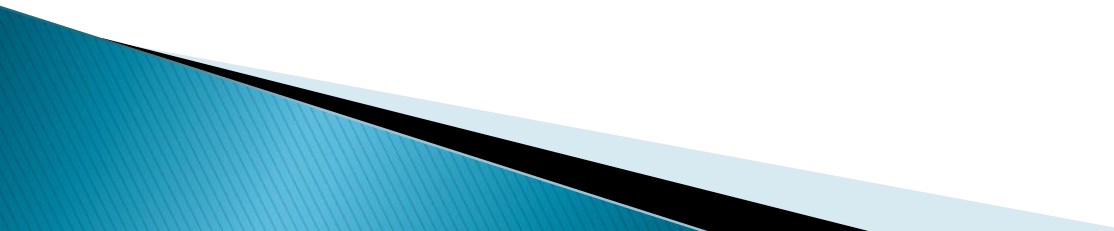
As mudanças climáticas tem o potencial de impactar as culturas agrícolas, especialmente ao ofertar a disponibilidade e a demanda de água na agricultura.

Os pequenos produtores são os mais vulneráveis, as mudanças climáticas.

A percepção e o conhecimento sobre as mudanças climáticas, por parte dos vários intervenientes da cadeia produtiva são factores cruciais que permitam desenvolver estratégias a curto, médio e longo prazo de modo a promover mudanças diante das dificuldades locais.

Introdução

Trabalho 1

- a) Qual é a nossa percepção em relação às mudanças climáticas? Padrões mais notáveis.
 - b) Como ela afecta na agricultura?
- 

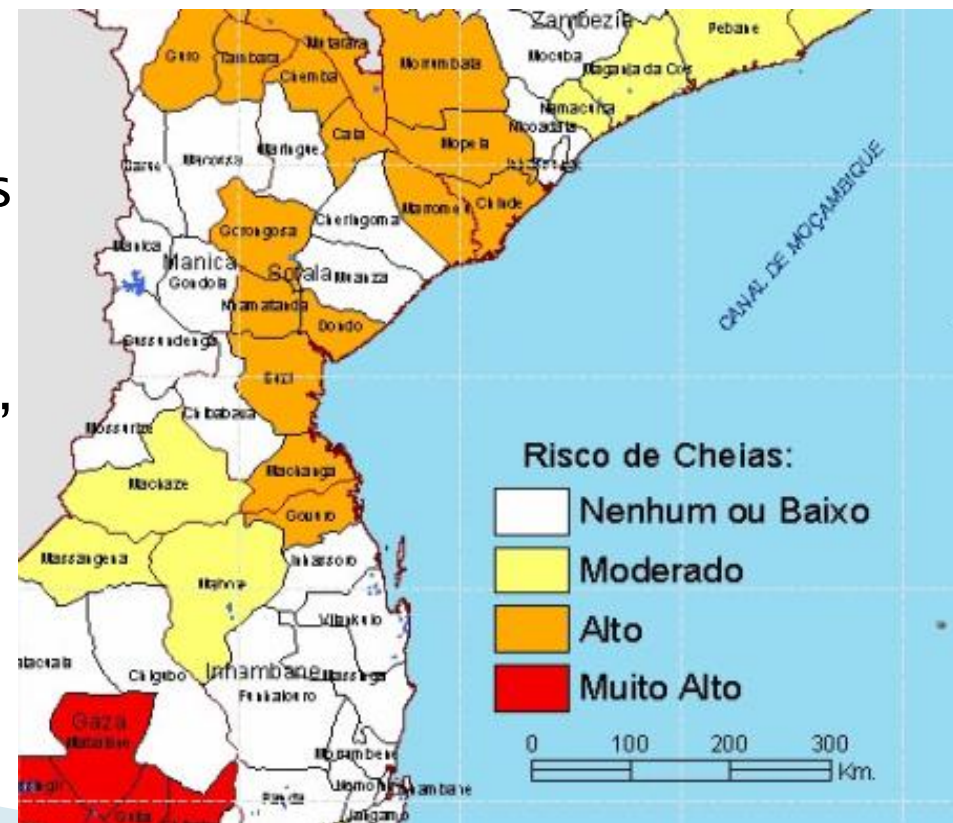
Introdução

Trabalho 2

- a) Que estratégias de adaptação podemos usar para garantir a produção e produtividade e ou segurança alimentar?

Mudanças climáticas

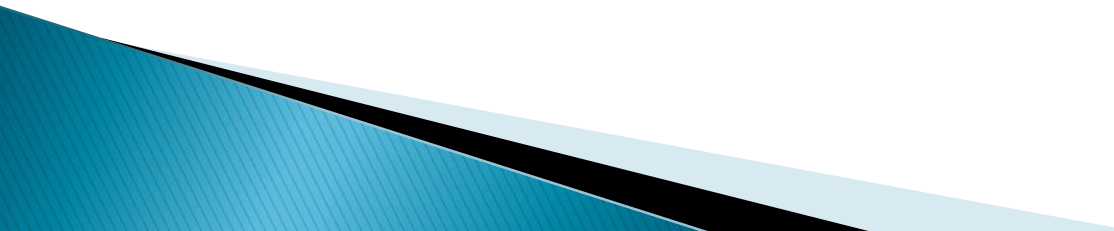
- Temperatura elevadas: Últimos anos são os mais quentes de todo o histórico de registos,
- Padrões de chuvas tem se modificado,
 - Estações secas prolongadas,
 - Estações chuvosas prolongadas/distribuição irregular das chuvas
 - Chuvas extremas (Ciclone Idae, Kenneth e Gombe)



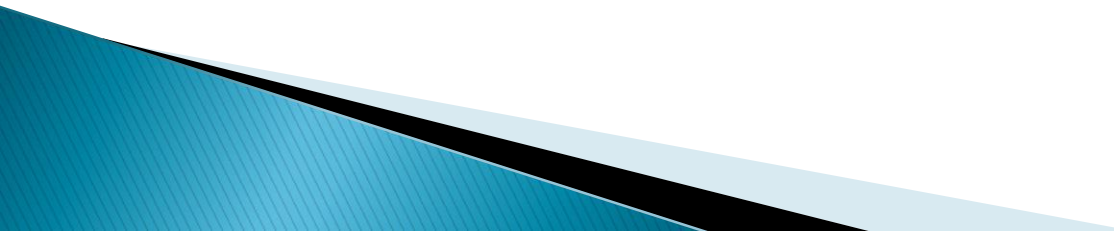
Impactos na agricultura

- Atraso do início da estação chuvosa é preocupante para a agricultura nacional
 - Reduz a possibilidade de se realizar duas colheitas numa campanha agrícola,
 - Atrasa a data de sementeira (*culturas fotossensíveis*)... *Ocorencia de bolsas de fome,*
 - Aumento da incidência estiagem (*Independientemente da fase fonológica a planta favorece a perdas de colheita*)
- Períodos prolongados de chuvas (Inundações dos campos, encharcamento, amarelecimento e perda da produção)

Impactos nos sistemas de irrigação

- A demanda e a oferta de água para a agricultura são particularmente sensíveis às mudanças climáticas,
 - Temperaturas mais elevadas levam a um aumento da evapotranspiração e aumento de demanda de irrigação,
 - Alteração no regime pluviométrico afeta a disponibilidade de água no solo, para uso de plantas, para a irrigação e demais usos,
- 

Impactos nos sistemas de irrigação

- Períodos prolongados de chuvas, destroem canais de irrigação, sulcos, sistemas de bombeamento, tubagens e outras infra-estruturas de irrigação,
 - Maiores investimentos com tecnologia (Estufas, energias, construção de represas etc etc)
 - Uso cada vez mais racional Desenvolvimento de capacidade dos irrigantes,
- 

Mudanças climáticas – Projecções

- Para nos prepararmos precisamos realizar projecções do clima futuro,
- As projecções climáticas dependem de muitos factores:
 - Socio-económicos e tecnológicos: Tamanho da população, uso de energia, uso de solo, quantidades e dinâmica de emissão dos gases (GEE), etc etc
 - Sistema climáticos: como a circulação oceânica vai responder, níveis vegetação,
- Precisamos quantificar as incertezas

Mudanças climáticas Projeções

Como, que estratégias?

- Avaliar diferentes cenários para lidar com as incerteza de ordem sócio-econômicos-tecnológicas
- São utilizados diferentes modelos climáticos para lidar com as incertezas sobre a evolução do sistema climático

Limitantes

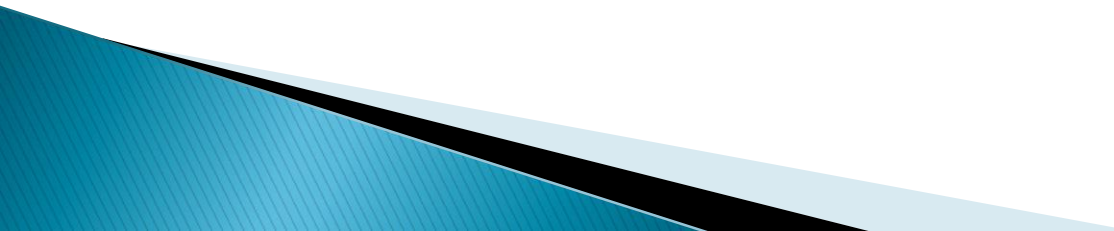
- Informações meteorológicas

Irrigação como estratégia de adaptação as mudanças climáticas

- Irrigação é uma das estratégias possíveis de adaptação de muitas regiões agrícolas do país,
- **Dificuldades**
 - Limitação dos recursos hídricos no período seco
 - Custos dos sistemas e infra-estrutura e energia
 - Combinação de menor disponibilidade e aumento na demanda de água pode tornar frequentes os conflitos pelo uso da água e gestão de diferentes canais de irrigação
- Irrigação como estratégia de mitigação das mudanças climáticas ao contribuir para o aumento do estoque de carbono em solos agrícolas

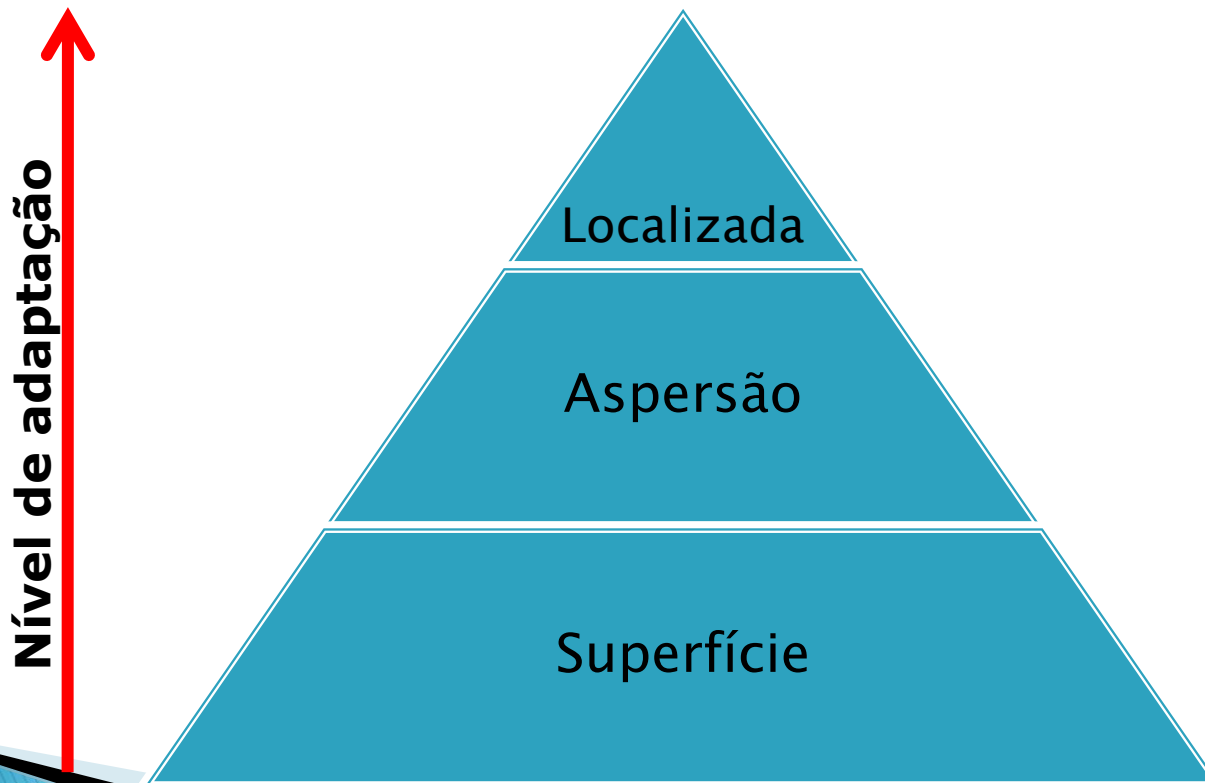


Sistemas de irrigação sustentáveis face as MC

- Não existe um sistema de irrigação que por si só é sustentável face as mudanças climáticas,
 - Uma serie de acções conjuntas podem tornar o seu sistema de irrigação sustentável face as mudanças climáticas,
 - Depende dos eventos climáticos,
- 

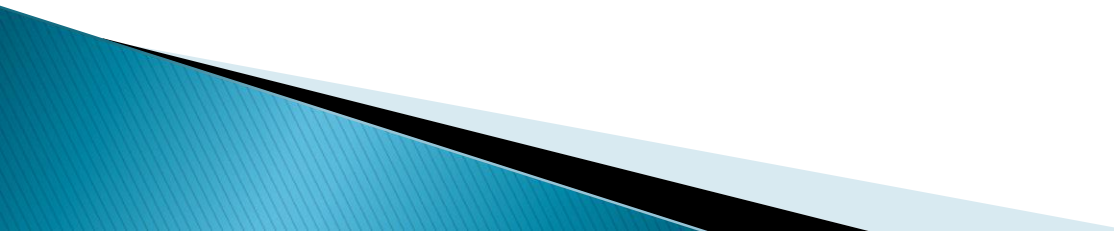
Sistemas de irrigação sustentáveis face as MC

Facilidade de adaptação face as mudanças climáticas



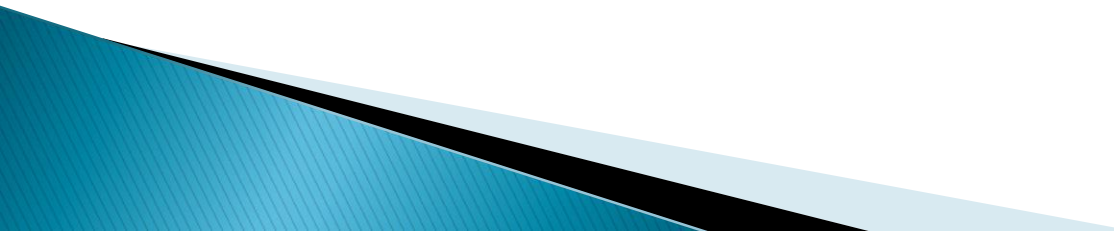
Sistemas de irrigação sustentáveis face as MC

Estratégias sustentáveis

- i. Dimensionamento operacional e hidráulico adequado dos sistemas de irrigação.
 - ii. Fortalecer a relação água, solo, planta, sistema de rega e operador
 - iii. Maneio mais eficiente da irrigação, por meio do emprego de tecnologias disponíveis e considerando-se a relação custo-benefício dos sistemas e capacidade dos usuários (utilização, manutenção, reparação)
 - iv. Irrigação deficitária (produtividade do uso da água)
- 

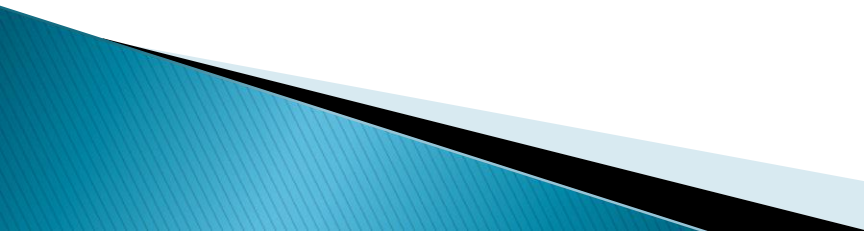
Sistemas de irrigação sustentáveis face as MC

Estratégias sustentáveis

- v. Redução de custos com energia (uso de sistemas fotovoltaicos)
 - vi. Investir em sistemas captação e armazenamento da água de chuva e o uso de técnicas que reduzam a evaporação de água dos reservatórios, além da intensificação do uso de águas residuais,
 - vii. Sistemas integrados (canais de irrigação–jusantes)
 - viii. Uso de estufas e sombrites
- 

Sistemas de irrigação sustentáveis face as MC

Estratégias sustentáveis

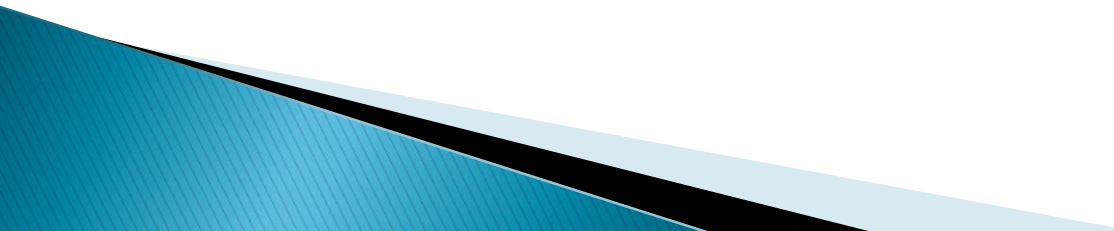
- ix. Boas praticas agrícolas,
 - x. Selecção de variedades melhoradas e altamente produtivas, tolerantes ao déficit hídrico;
 - xi. Adopção de novos sistemas de cultivo que maximizem a eficiência do uso da água e da radiação solar;
 - xii. Ligação com o mercado
 - xiii. Esforço conjunto da academia, governo , produtores e sociedade civil
- 

Obrigado

Sistemas de Irrigação

Jose Pires, MSc

Objectivos?

- Conhecer os diferentes sistemas de rega,
 - Conhecer os principais sistemas de condução e aplicação da água no solo,
 - Dominar os critérios usados para selecção dos sistemas de rega,
 - Conhecer e dominar os métodos de gestão da rega
- 

Sistemas de rega

- ▶ **Método de rega:** conjunto de aspectos que caracterizam o modo como a água é aplicada às culturas.
- ▶ **Sistema de rega:** conjunto de equipamentos e técnicas que proporcionam a aplicação da água seguindo um determinado método. Basicamente, um projeto de irrigação é composto por dois sistemas: o sistema de irrigação, propriamente dito, e o de drenagem, quando necessário.

Classificação dos métodos de rega

➤ Rega de superfície ou por gravidade



➤ Rega localizada ou microrrega



➤ Rega por aspersão



Classificação dos métodos de rega



Classificação dos métodos de rega

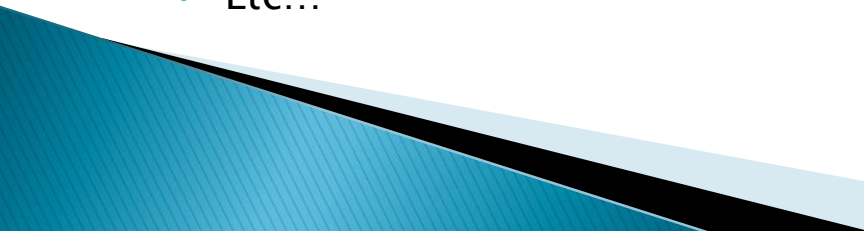


Classificação dos métodos de rega



Sistemas de condução e aplicação da água no solo

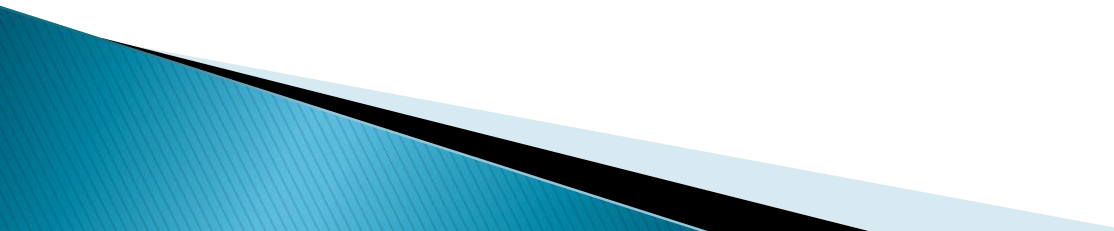
- ▶ Em geral há dois formatos de rega:
 - À pressão
 - À gravidade

 - ▶ Mas na realidade, podem ser:
 - Sistemas completamente fechados (só pressão)
 - Sistemas completamente abertos (só gravidade)
 - Sistemas de bombas (pressão) com canais abertos (gravidade)
 - Sistemas de canais abertos (gravidade) com tubos de aspersores (pressão).
 - Etc...
- 

Sistemas completamente fechados



Sistemas completamente fechados

- Na maioria dos casos a captação é através de uma bomba
 - Sempre precisa energia externa (combustível ou electricidade)
 - Transporte através de tubos
 - Para aplicar com métodos de pressão:
 - Gota a gota
 - Aspersores
 - Pivot
- 

Sistemas completamente abertos



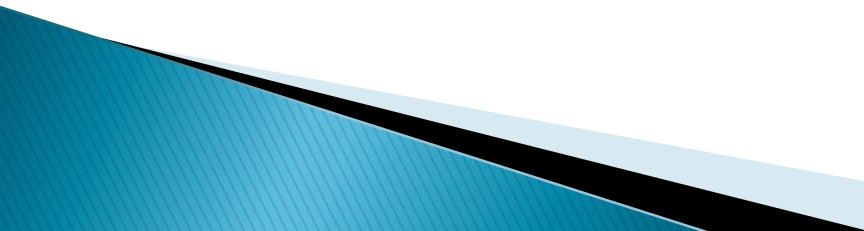
Sistema complementamente abertos

- ▶ A captação sempre directamente do rio, nascentes
- ▶ Transporte por canais abertos (revestidos ou de terra)
- ▶ A aplicação por gravidade:
 - Inundação (arroz)
 - Sulcos (culturas em linha)

Sistemas de bombas e canais



Sistema de bombas e canais

- ▶ Captação é de rios, grandes e pequenos, ou lagoas
 - ▶ Sempre precisa energia externa (combustível ou electricidade)
 - ▶ Transporte através de canais ou tubos
 - ▶ A aplicação com métodos de gravidade:
 - Inundação
 - Sulcos
- 

Sistema de canais e pressão



Sistema de canais e pressão

- ▶ A captação directamente do rio
 - Em geral são encontrados em zonas montanhosas
- ▶ Transporte através de tubos
 - Sempre precisa de uma diferença de elevação grande para obter a pressão necessária
- ▶ A aplicação com métodos de pressão:
 - Aspersores (em geral)
 - Gota a Gota (é possível também)

Seleccão do sistema de rega

Factor	Rega de superfície	Rega por aspersão	Microrrega
Custo da água	Baixo	Médio	Alto
Disponibilidade de água	Periódica ou irregular	Regular	Contínua
Pureza da água	Não limitante	Sem sólidos	Elevada
Infiltração da água no solo	Baixas a média	Médias a elevadas	Indiferente
Capacidade utilizável do solo	Elevada	Média	Baixa
Topografia da superfície	Uniforme, pequeno declive	Uniforme ou ligeiramente irregular	Irregular
Sensibilidade ao stress	Baixa	Moderada	Elevada
Valor da cultura	Baixo	Moderada	Elevada
Custo da mão-se-obra	Baixo	Médio	Elevada
Custo da energia	Elevado	Baixo	Moderado
Disponibilidade de capital	Baixo	Médio a elevado	Elevado
Exigência em tecnologia	Baixa	Médio a alta	Elevada

Seleccão do sistema de rega

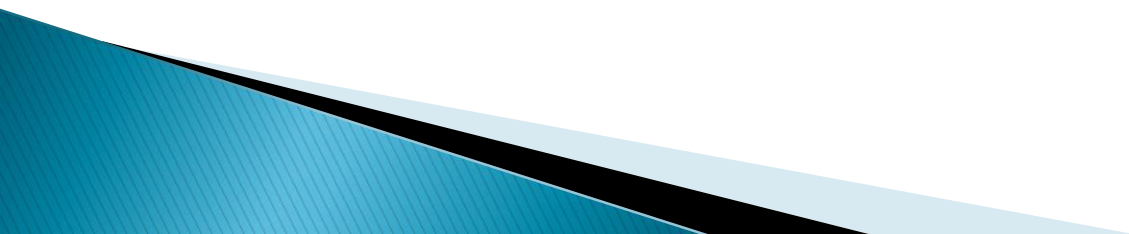
Discutir como estes factores afectam na
selecção do sistema de rega.

Métodos de gestão da rega

O papel do agricultor é garantir que as suas culturas crescem no máximo do seu potencial genético.

Nesta óptica, a função da rega é garantir que a água nunca seja um factor limitante ao crescimento óptimo das culturas.

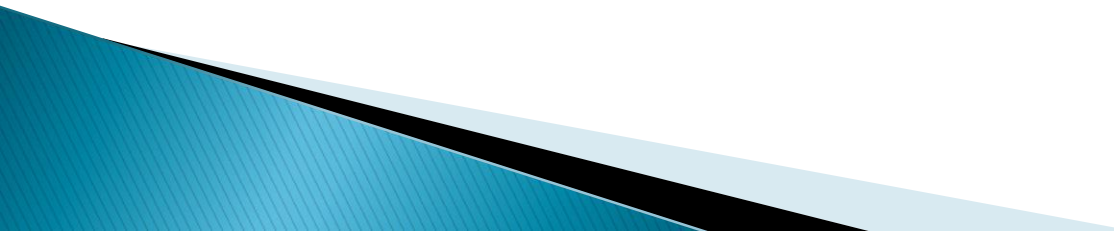
A gestão da rega pretende alcançar essa meta de otimização, utilizando o mínimo de água e demais recursos.



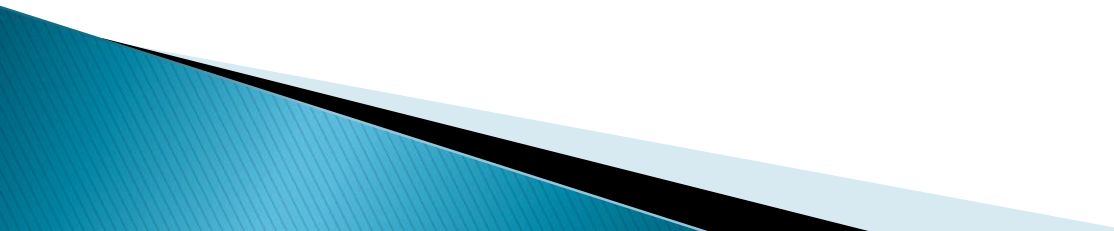
Métodos de gestão da rega

Que metodos de gestão de rega é realizado pelas comunidades?

Oque é teor de humidade de agua no solo?



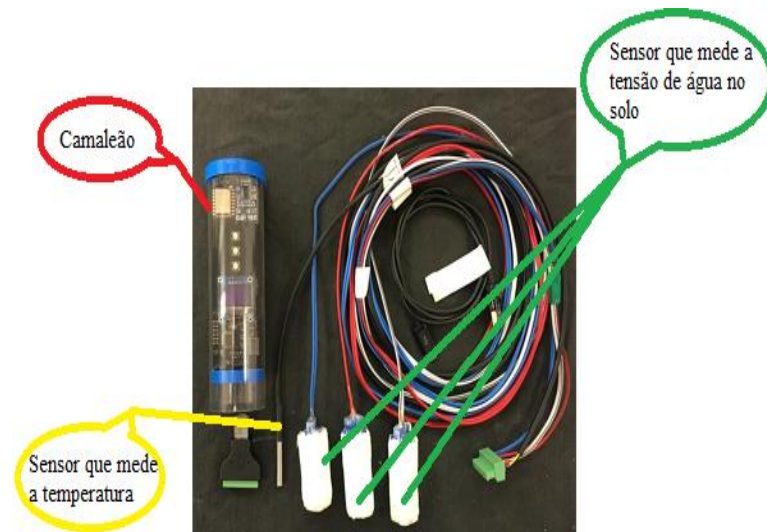
Métodos de gestão da rega

- ▶ Métodos de gestão de rega:
 - ✓ Disponibilidade de água no solo
 - ✓ Estado hídrico das plantas
 - ✓ Evapotranspiração,
- 

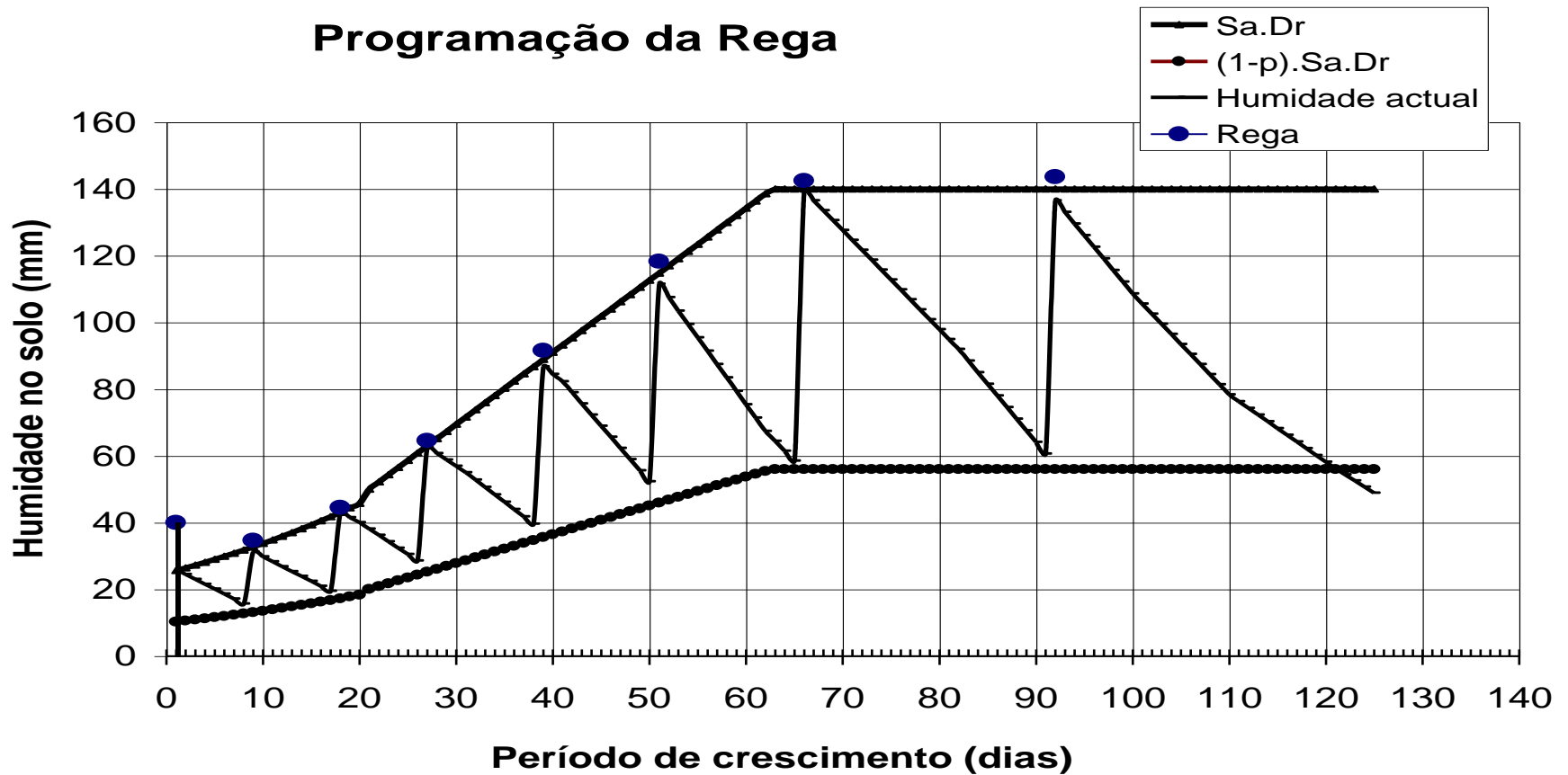
Disponibilidade de água no solo

Disponibilidade de água no solo

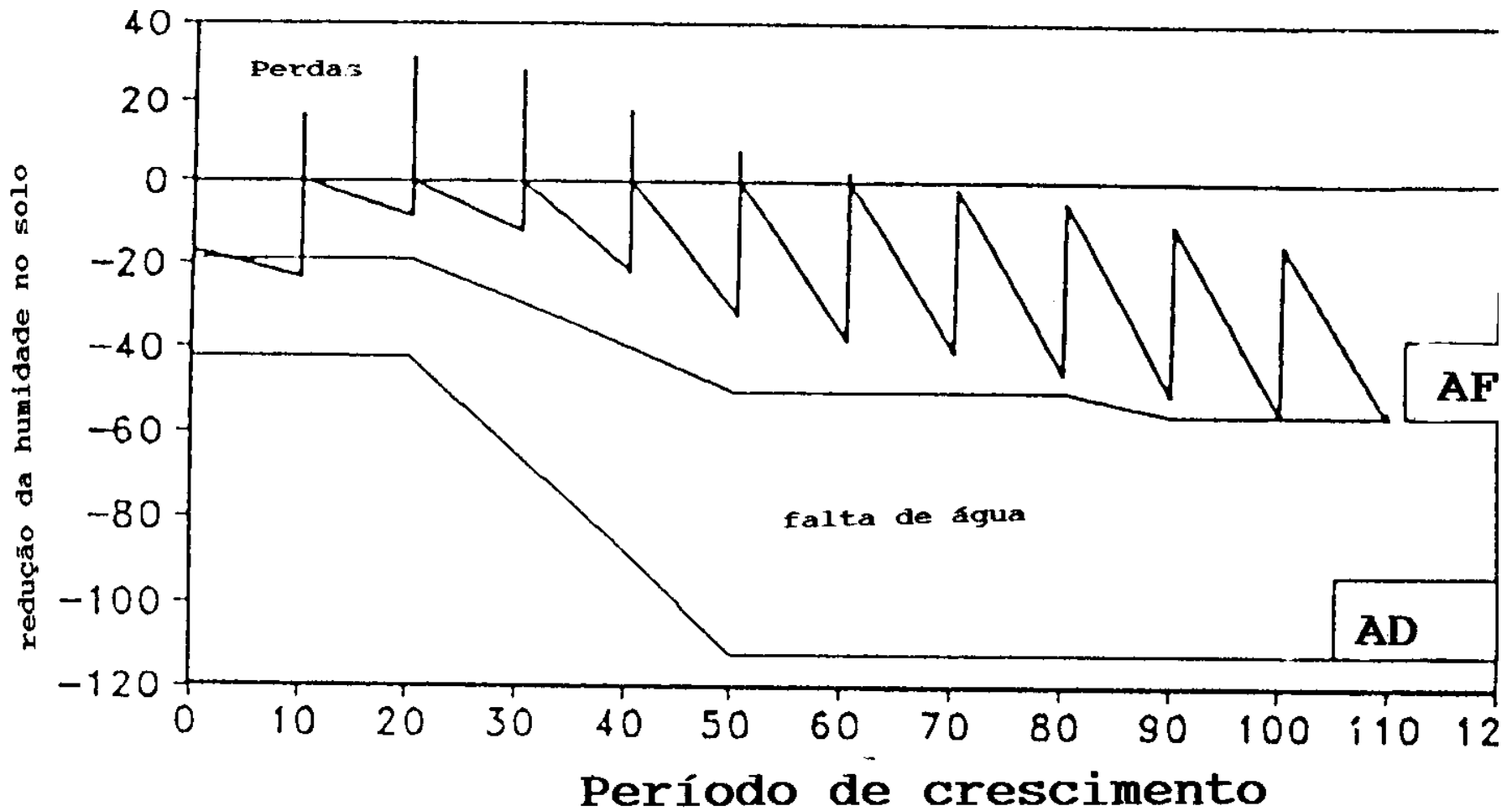
- Medição directa
- Método gravimétrico/estufa
- Uso de sensores/Sondas TDR



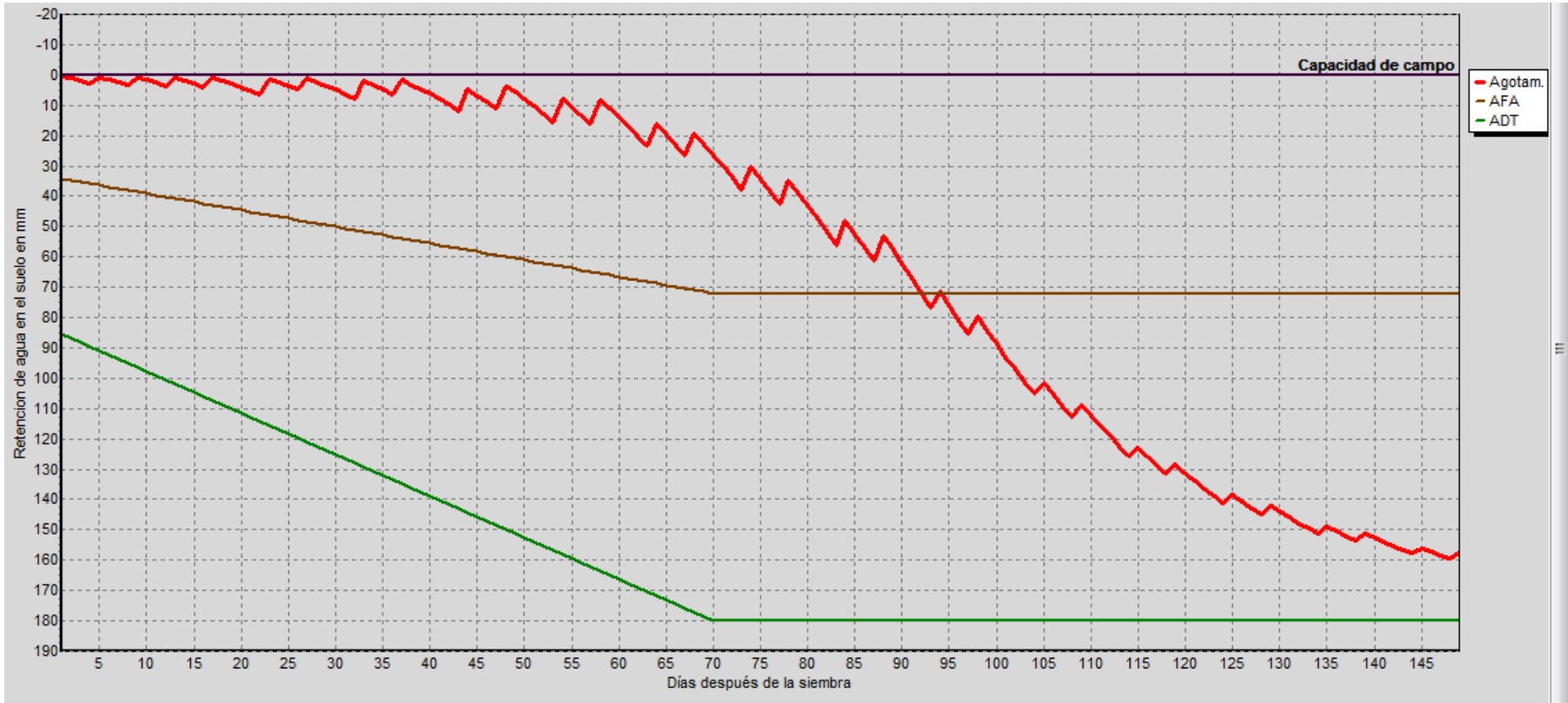
Disponibilidade de água no solo



Disponibilidade de água no solo



Disponibilidad de agua no solo



Estado hidrico da planta

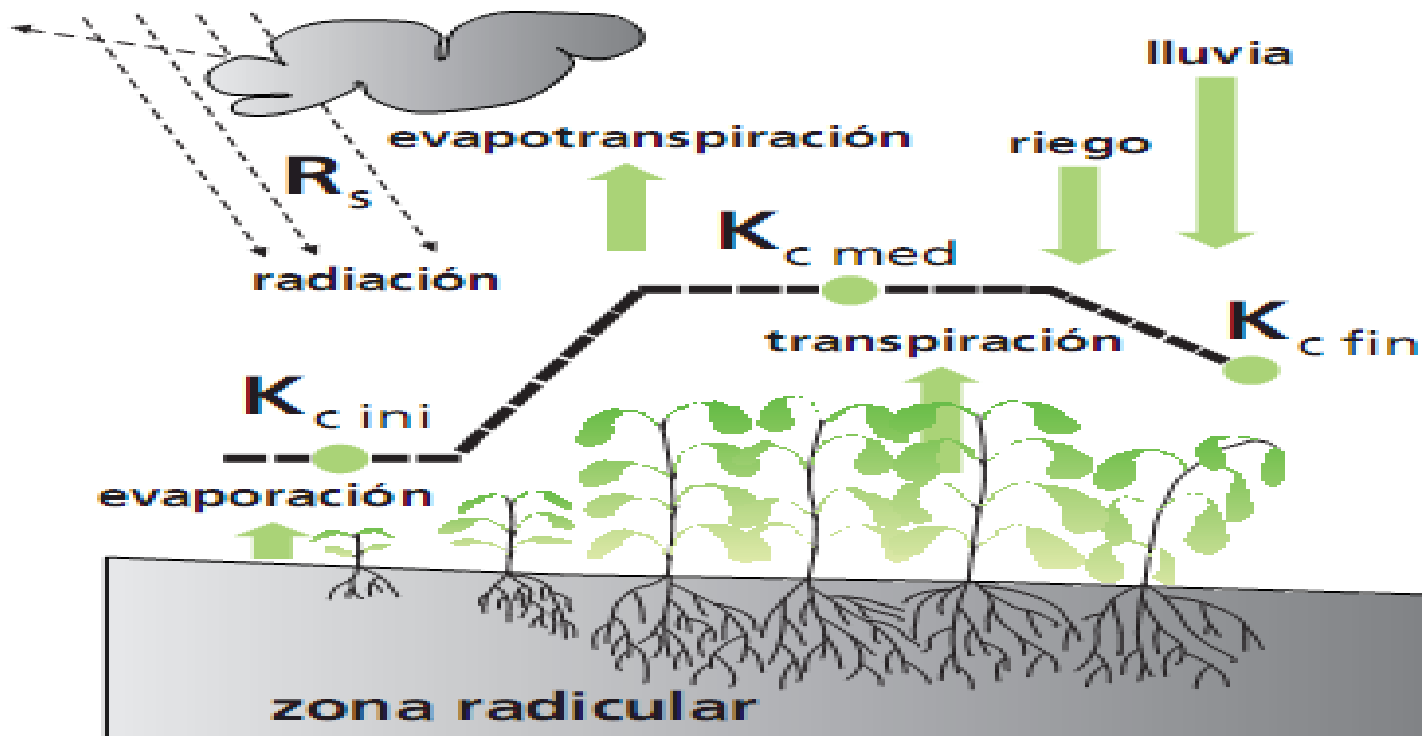
Como é realizado pelo produtor?

Vigor, Folhas, Murcha

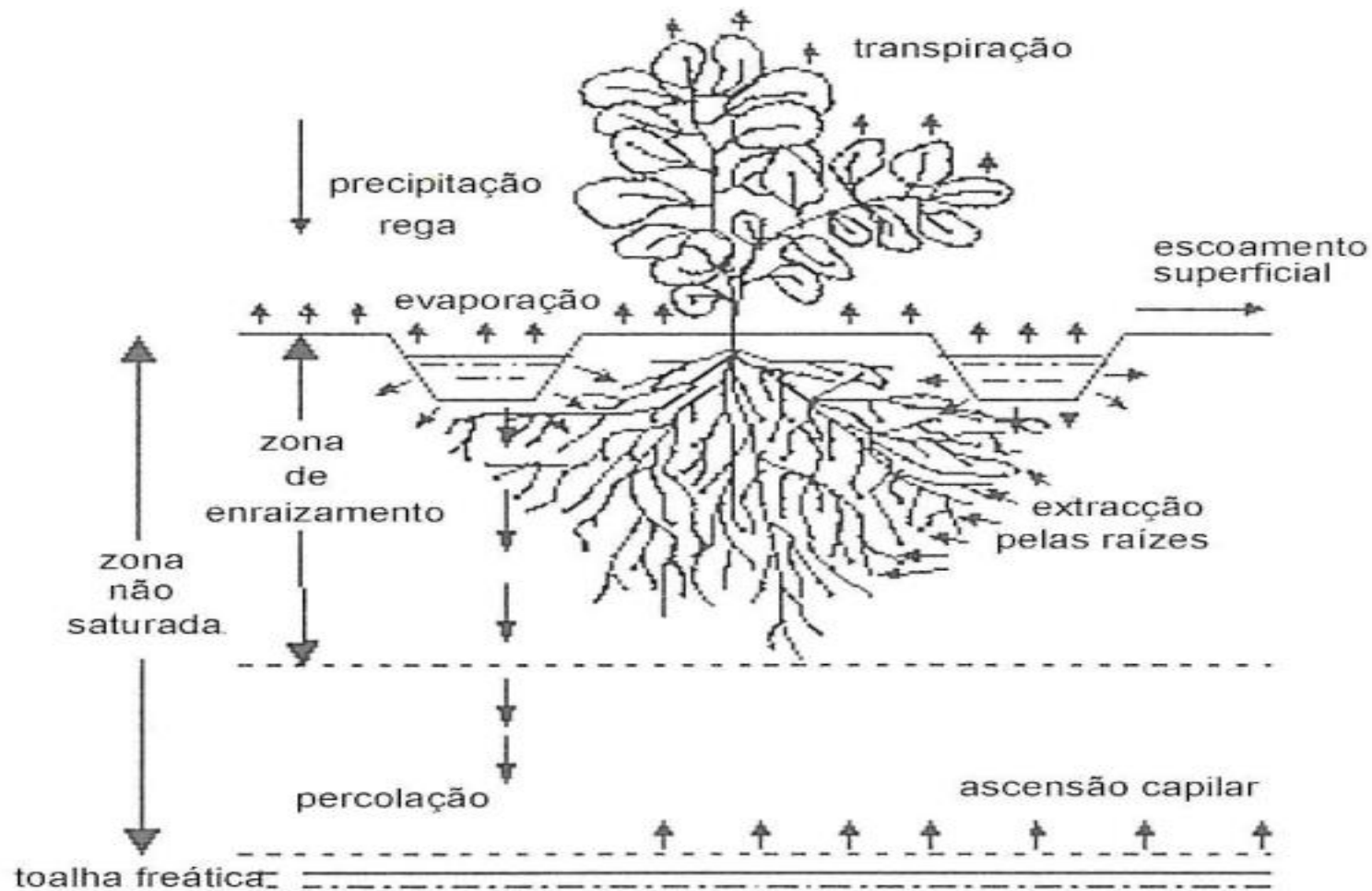
Equipamentos: Determinam o potencial hidrico foliar

Evapotranspiração

É conhecida como evapotranspiração (ET) a combinação de dois processos separados pelos quais a água é perdida através da superfície do solo por evaporação e por outra parte pela transpiração da cultura



Evapotranspiração



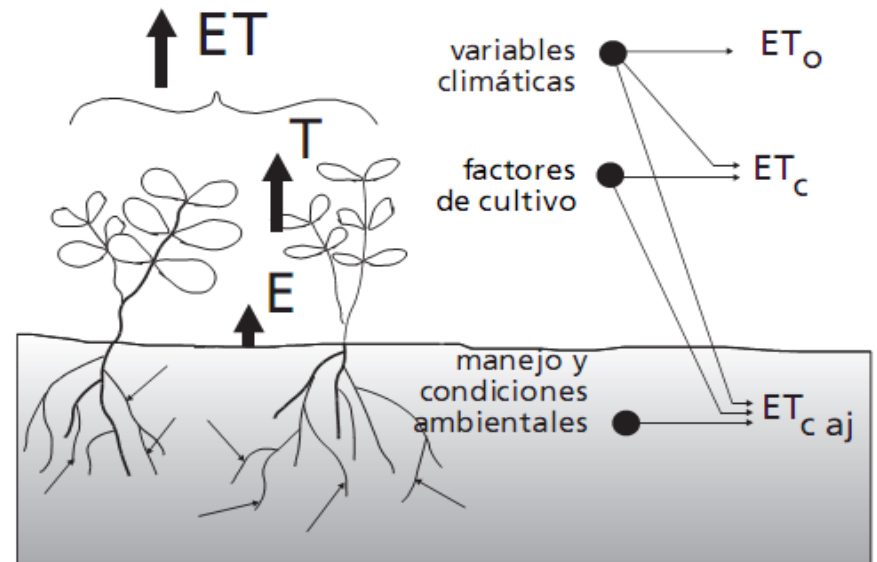
Equação Balanço hídrico

$$\Delta S + \Delta V = (P + I + Ac) - (Es + Dr + ET)$$

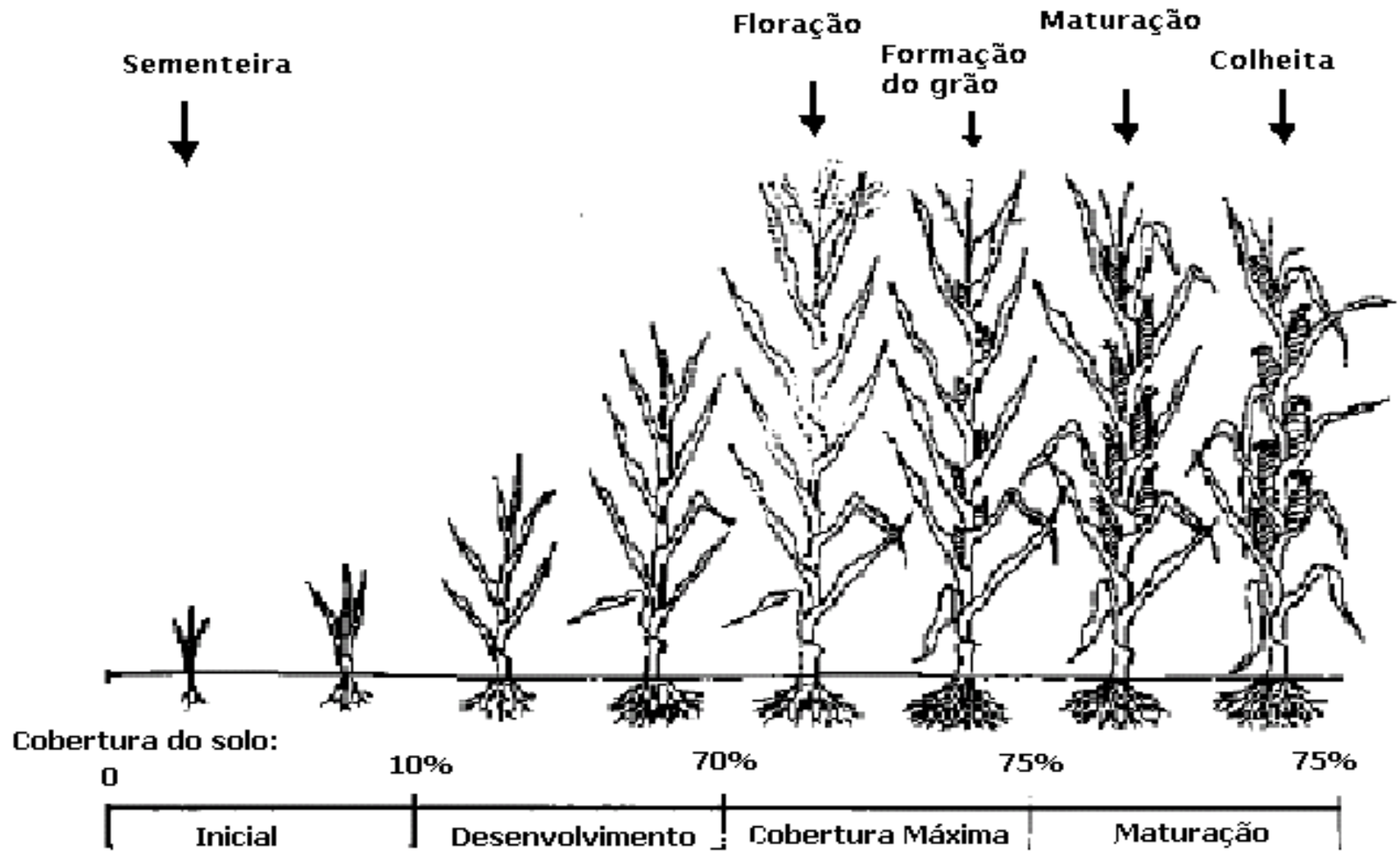
ΔS	Varição do armazenamento do solo
ΔV	Varição do armazenamento na planta
P	Precipitação
I	Rega
Ac	Ascensão capilar
Es	Escorrimento superficial
Dr	Drenagem para profundidade superior a z
ET	Evapotranspiração

Evapotranspiração

- Climáticas (Temperatura, Radiação solar, V.Vento e Humidade relativa do ar)
- Tipo de cultura (Tipo de espécie, Variedade e estagio de desenvolvimento)
- Praticas culturais e ambientais



Evapotranspiração



Evapotranspiração

$$E_{tc} = k_c * E_{to} \text{ (mm)}$$

- ▶ O que significa 1 mm? (l/m²-m³/há)
- ▶ A evapotranspiração em dias chuvosos é mais baixa ou mais alta que em dias secos? Porquê?
- ▶ No início de uma semana, o solo está na capacidade do campo. A semana é quente. Uma machamba pequena de tomates com uma área de 20 por 30 metros tem uma evapotranspiração média de 2 mm/dia. Se você quer irrigar essa machamba com irrigação de baldes de 10 litros, quantos baldes você tem que colocar depois desta semana? Se tiver que usar uma motobomba com caudal de 300 litros/min, quanto tempo será necessário irrigar?

Sistema de Rega por Gravidade e Desenho Participativo

Jose Pires, MSc

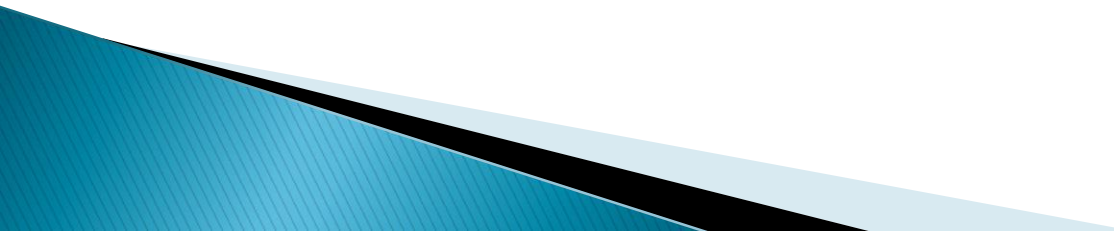
Irrigação por gravidade

- ▶ Os sistemas de irrigação por gravidade caracterizam-se por utilizar a superfície do solo para distribuir a água;
- ▶ A irrigação por superfície prevalece em 70% das áreas irrigadas do mundo;



Irrigação por gravidade

Por que a baixa eficiência?

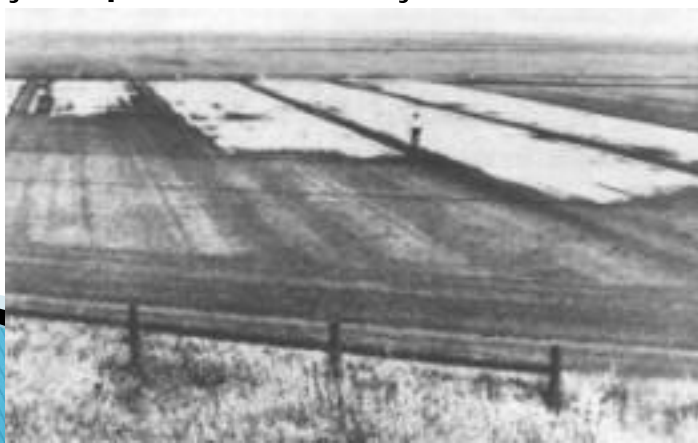
- ▶ A irrigação por superfície tende a ter uma eficiência menor em função das diferentes lâminas aplicadas.
 - ▶ A falta de combinação adequada das variáveis **comprimento da área, declividade da superfície do terreno, vazão aplicada e tempo de aplicação** e o manejo deficiente.
 - ▶ Na maioria dos manejos, o tempo de aplicação não é adotado adequadamente, ocasionando excesso de água.
- 

Irrigação por gravidade

Classificação

Dentre os principais sistemas utilizados na irrigação por superfície pode-se citar:

1. Irrigação por sulcos (milho, feijão, tomate, algodão, trigo, batata)
2. Irrigação por faixas (pastagem, arroz, trigo)
3. Irrigação por inundação (arroz)



Irrigação por sulcos

A distribuição da água para os sulcos pode ser por:

- ▶ Sifões
- ▶ Mangueira plástica flexível com orifícios calibrados
- ▶ Tubos rígidos janelados
- ▶ **Nossos produtores?**



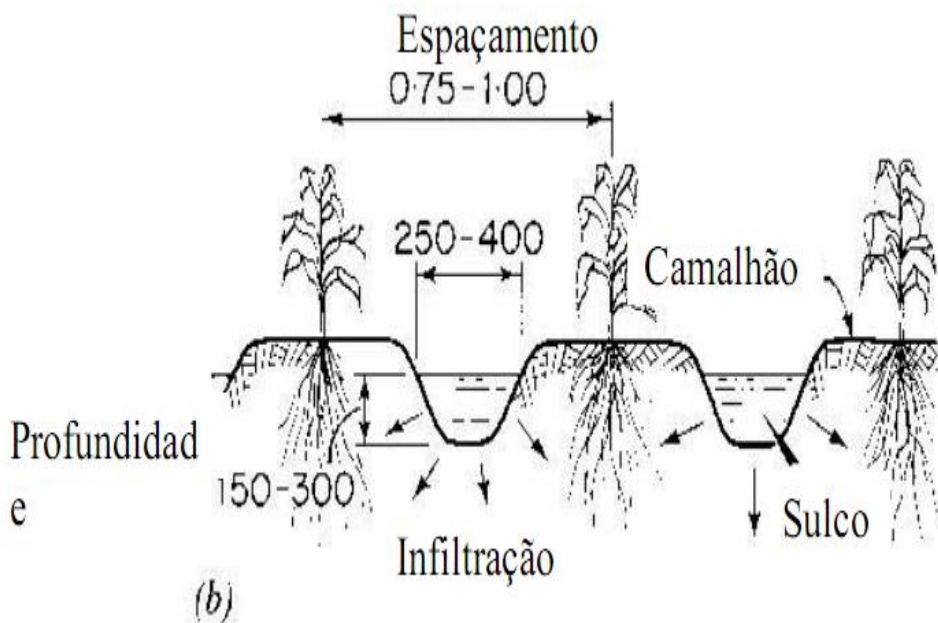
Irrigação por sulcos

Forma e Dimensão dos Sulcos

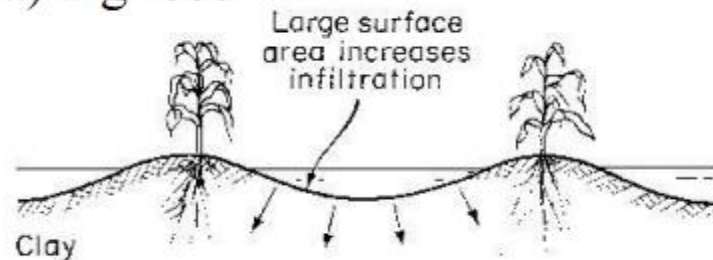
Canal de alimentação

Tipo de solo

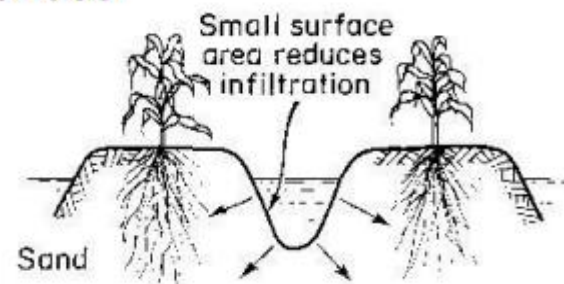
Cultura (Fase inicial-pouco profundo,
Desenvolvimento mais profundo)



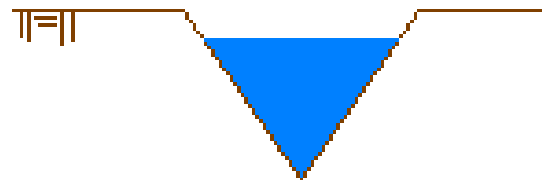
a) argiloso



b) arenoso



25-30 cm



Irrigação por sulcos

Comprimento dos Sulcos

O comprimento dos sulcos depende de:

i. Tipo de solo

Same Stream size

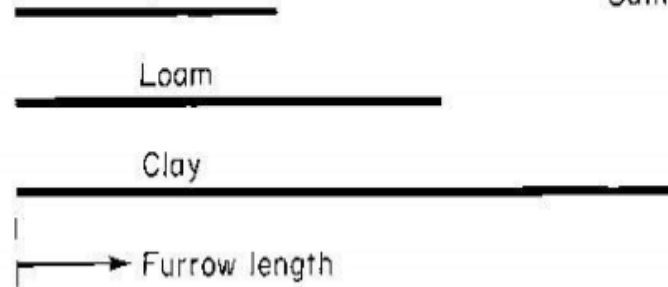


Sand

Loam

Clay

Same irrigation depth



ii. Caudal de alimentação

Increasing Stream size

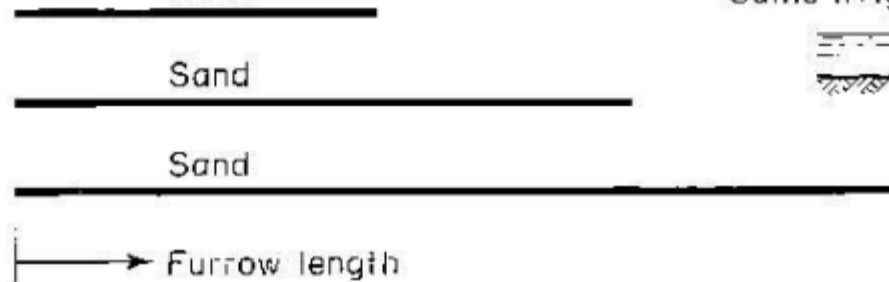


Sand

Sand

Sand

Same irrigation depth



Irrigação por sulcos

Sulcos longos:

- Perda por percolação profunda menor uniformidade de irrigação
- Possibilidade de acumulação da água das chuvas causando erosão.

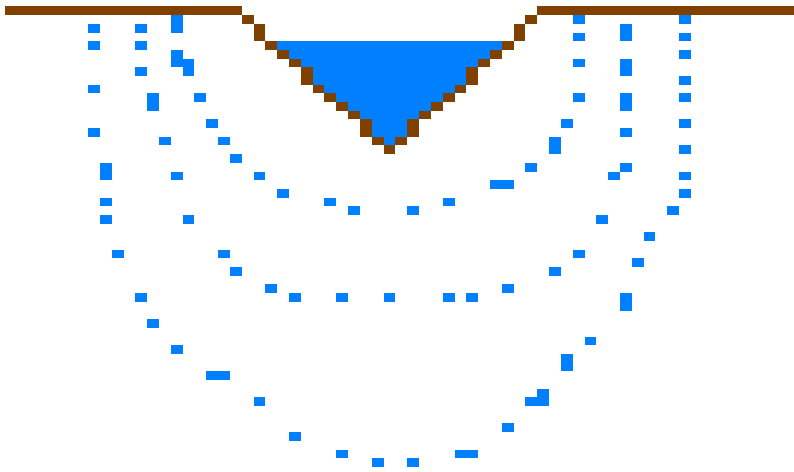
O comprimento do sulco deve ser tal que o tempo para a frente de escoamento (ou frente de avanço) atingir o final do sulco seja igual a $\frac{1}{4}$ do tempo necessário para infiltrar a lâmina de irrigação real necessária na extremidade final (ITN).

Sulcos curtos:

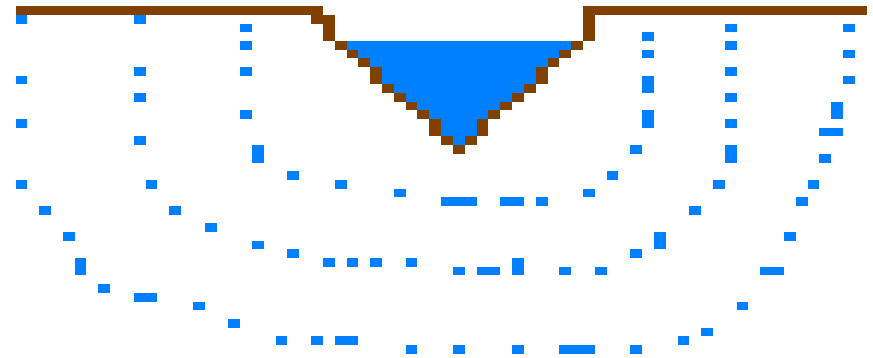
- Mais trabalhoso (maior número de sulcos);
- Canais de condução custo de manutenção e maior perda de área de cultivo;
- Dificulta a mecanização da área.

$$T_a = \frac{1}{4} T_o \text{ define o L máximo}$$

Infiltração – Sulcos



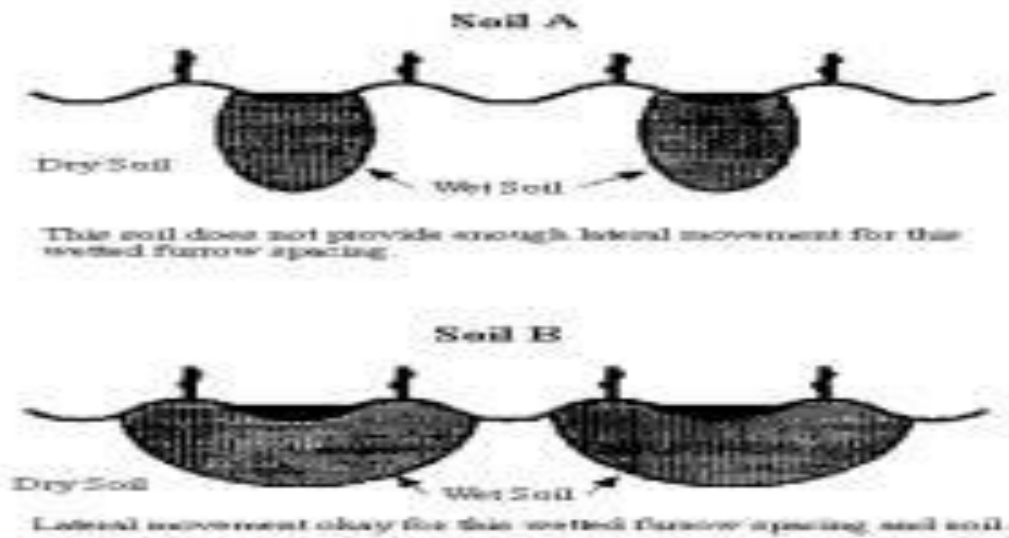
Solo Arenoso
Argiloso



Solo

Espaçamento – Sulcos

O espaçamento entre sulcos deve considerar que o movimento lateral da água entre sulcos adjacentes deve humedecer toda a zona radicular antes de humedecer regiões abaixo dela. Na maioria das vezes o espaçamento é definido pelo espaçamento da cultura.



Declividade – Sulcos

O sulco deve possuir um declive que proporcione a máxima velocidade sem provocar erosão.

Normalmente a declividade do sulco fica entre 0,5 e 2%.

Caudal do Sulco

A vazão máxima permitida deve ser a que não causara erosão no sulco.

Existe o conceito de vazão máxima não erosiva, em função da declividade do sulco e da erodibilidade do solo.

Fórmulas de Criddle para determinação da caudal não-erosiva

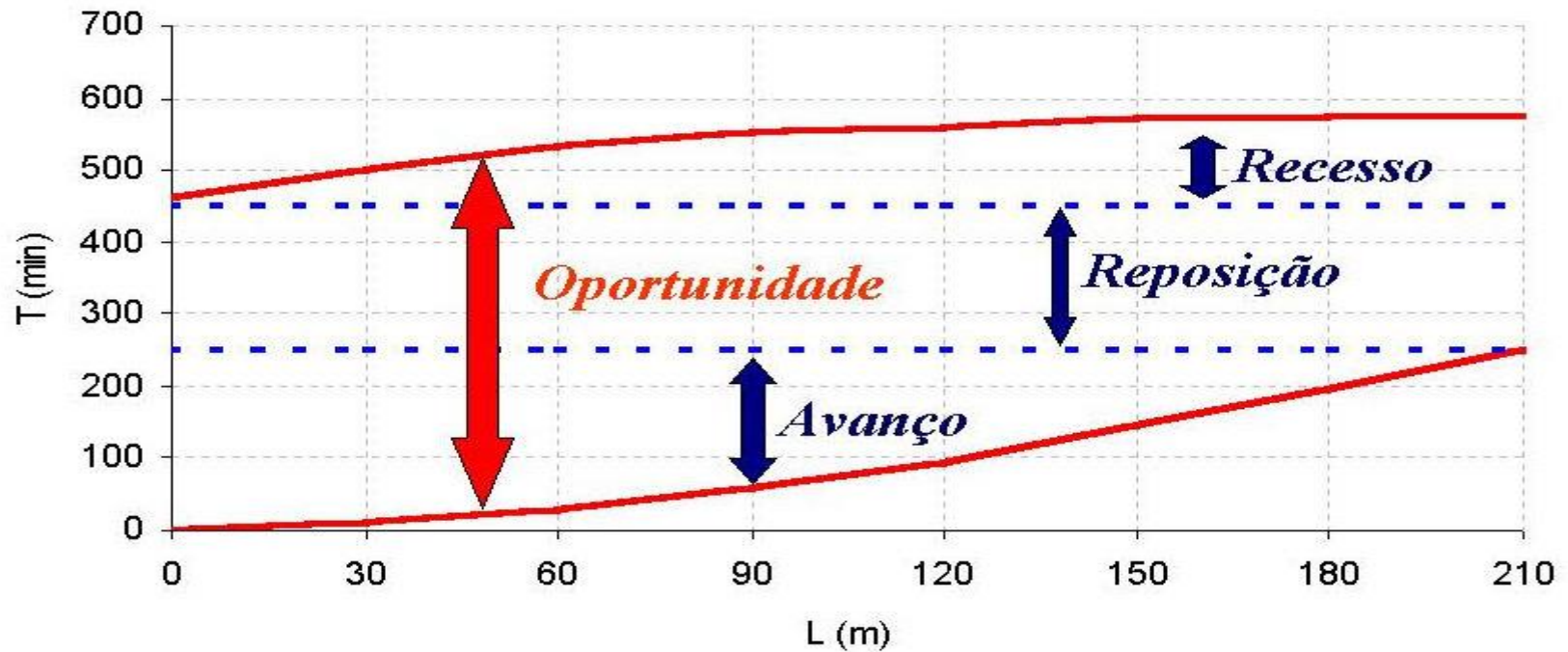
$$Q_{\max} = 0.631 / S$$

Em que:

Q – caudal máxima não-erosiva (L/s);

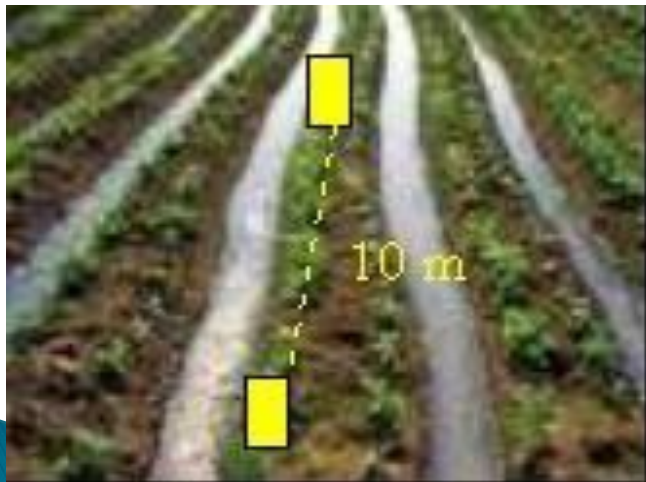
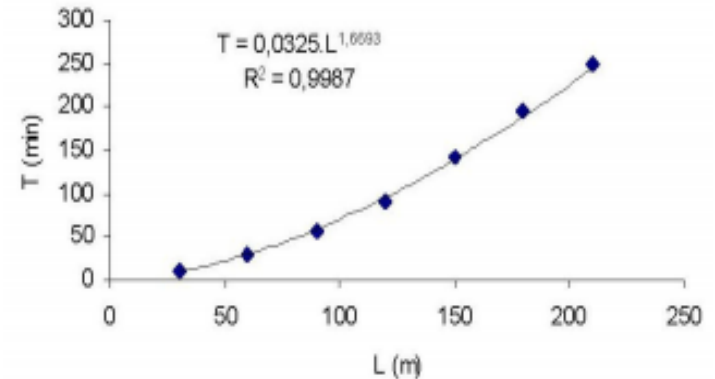
S – declividade do sulco (%);

Fases da irrigação por sulcos



Tempo de avanço

- ▶ Tempo entre o início da rega e avanço da água para o final do sulco.
- ▶ A determinação do tempo de avanço dever ser feita na área em que será realizada a irrigação. Medir o tempo que a água leva para alcançar as estacas espaçadas de 10 m.



Dist (m)	T (min)	Dist (m)	T (min)
0	0	120	92
30	10	150	143
60	29	180	195
90	57	200	250

Cumprimento do sulco

Um dos grandes problemas com os nossos produtores esta no cumprimento do sulco que são muito curto e demanda muito tempo e esforço para irrigar.

A velocidade de avanço de agua nos sulcos de irrigação depende dos seguintes factores: Vazão aplicada, capacidade de infiltração no solo, declividade, rugosidade e comprimento do sulco.

Método de Criddle: O tempo para a frente de avanço chegar ao final do sulco deve ser igual a $1/4$ do tempo necessário para aplicar a lâmina de irrigação. Ou $1/4 T_o$.

Dimensionamento (Irrigação por sulcos)

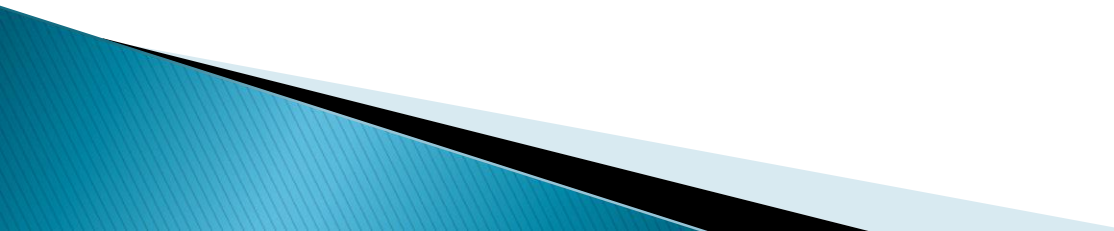
PASSOS

- a) IRN
- b) Comprimento do sulcos
- c) Numero de sulcos por hectare
- d) Volume de água a ser aplicado por sulco e tempo de aplicação
- e) Turno de Rega (TR)
- f) Numero de sulcos irrigados por vez
- g) Área irrigada por dia

Portanto o dimensionamento e apenas operacional e não hidráulico

Passos para desenho participativo de regadio

Passos no desenho (assumindo que há água e terra disponíveis):

- Identificação dos beneficiários
 - Escolha das culturas,
 - Mapeamento dos canais e das áreas dos beneficiários
 - Determinação de tipo de tecnologia
 - Desenho e Implementação (programação da rega e criação de comité de gestão do canal de irrigação)
- 

Passos para desenho participativo de regadio

Trabalho em grupo.

Que metodologia vamos usar para cada uma das fases?

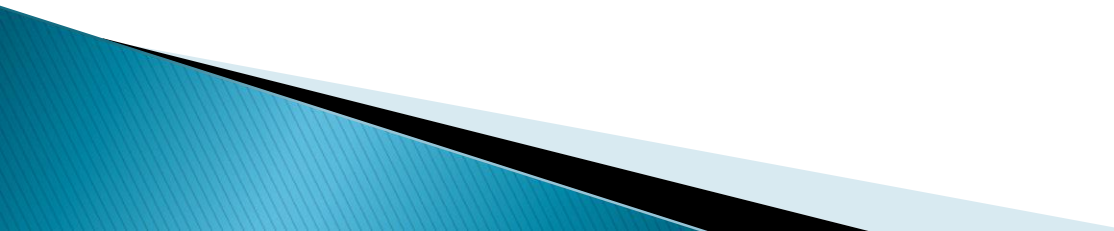
Cada grupo discutir uma fase

Desenho de Sistema de Rega Localizada

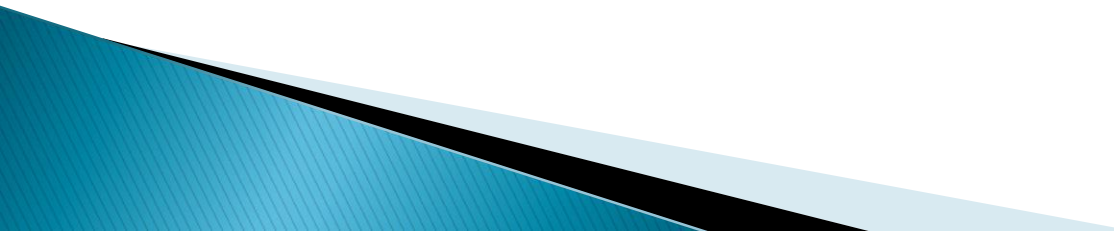


José Pires, MSc

Questões de partida.

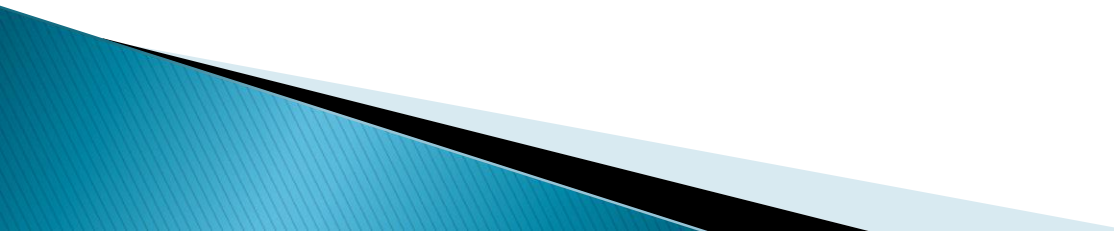
- Quais são as técnicas de irrigação por localizada?
 - Quais são as vantagens e desvantagens?
 - Que culturas podem ser praticadas?
 - Quais são os principais componentes de rega por gotejamento?
- 

Vantagens

- Economia de água (Como?)
 - Favorece o desenvolvimento e produção das plantas
 - Reduz o risco da salinidade para as plantas
 - Alta eficiência na aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos
 - Limita o desenvolvimento e a disseminação de ervas daninhas
 - Reduz a exigência de mão-de-obra para operação
 - Reduz o consumo de energia
 - Facilita as práticas culturais
- 

Desvantagens

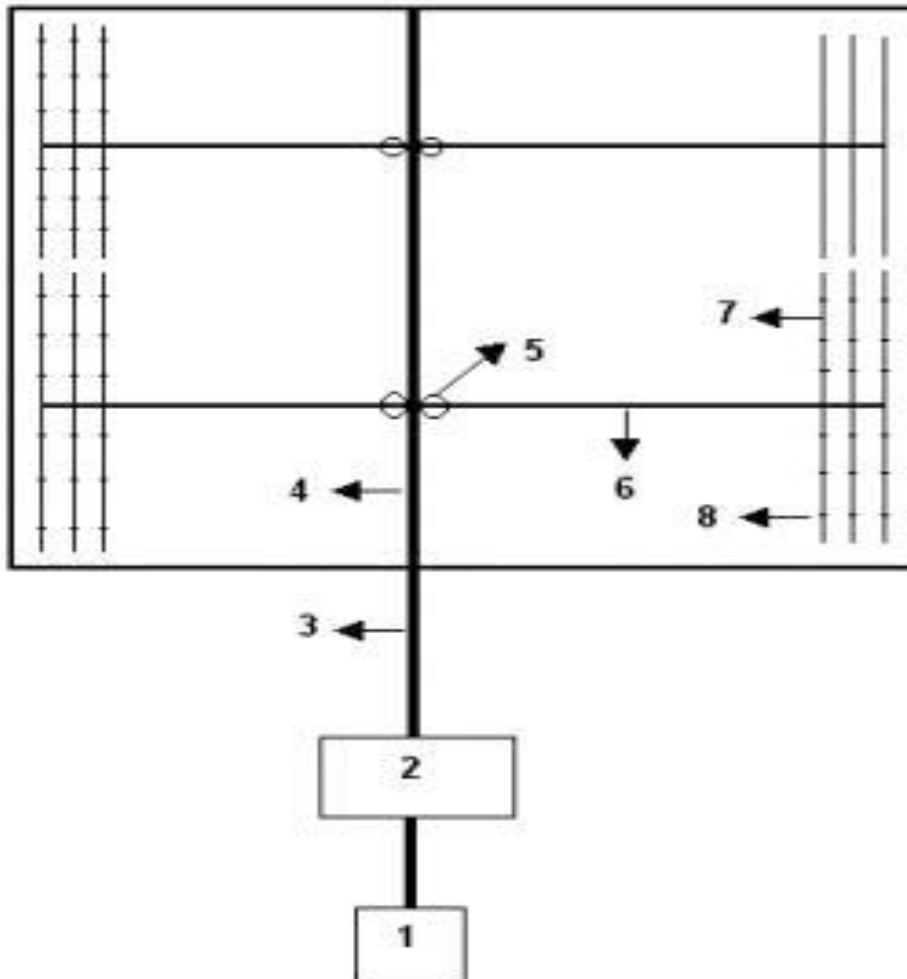
Permanente necessidade de manutenção

- ▶ Obstrução dos emissores (química, física, biológica, formigas, insetos)
 - ▶ Rompimento de tubulações
 - ▶ Danos e falhas em acessórios e equipamentos
 - ▶ Danos às tubulações de PE por animais roedores e acidentes nas ráticas culturais
- 

Limitações técnicas e econômicas

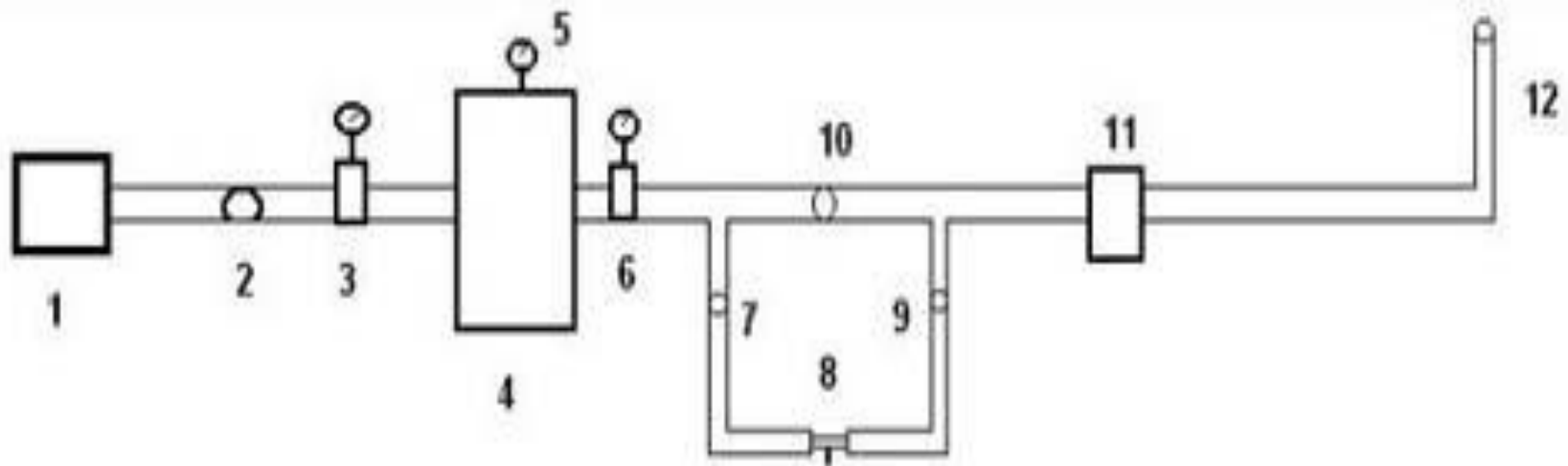
- ▶ Os sistemas de IL são fixos e requerem grandes quantidades de tubulações e acessórios. Conseqüentemente, o investimento de capital no sistema é elevado.
- ▶ Do custo inicial total de um sistema de IL, as tubulações representam cerca de 60% a 70%.
- ▶ Em 1 hectare de tomate e milho necessita 11.100 metros de tubos gotejadores e para produção de alface, repolho necessita cerca de 22.222 metros

Componentes do Sistema



1. Bombeamento;
2. Cabeçal de controle;
3. Tubulação de recalque;
4. Linha principal;
5. Válvulas de passagem;
6. Linha de derivação;
7. Linhas laterais;
8. Emissores

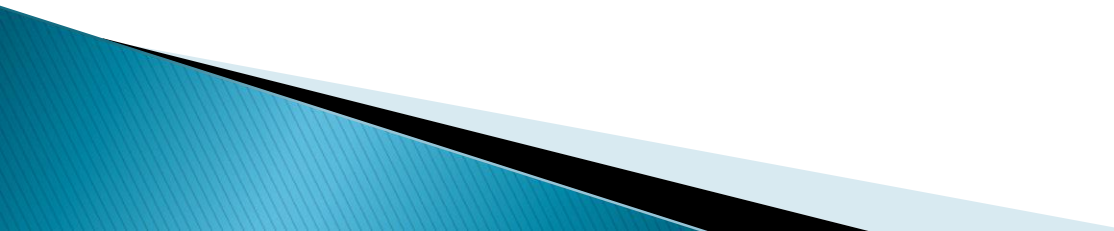
Componentes do Sistema



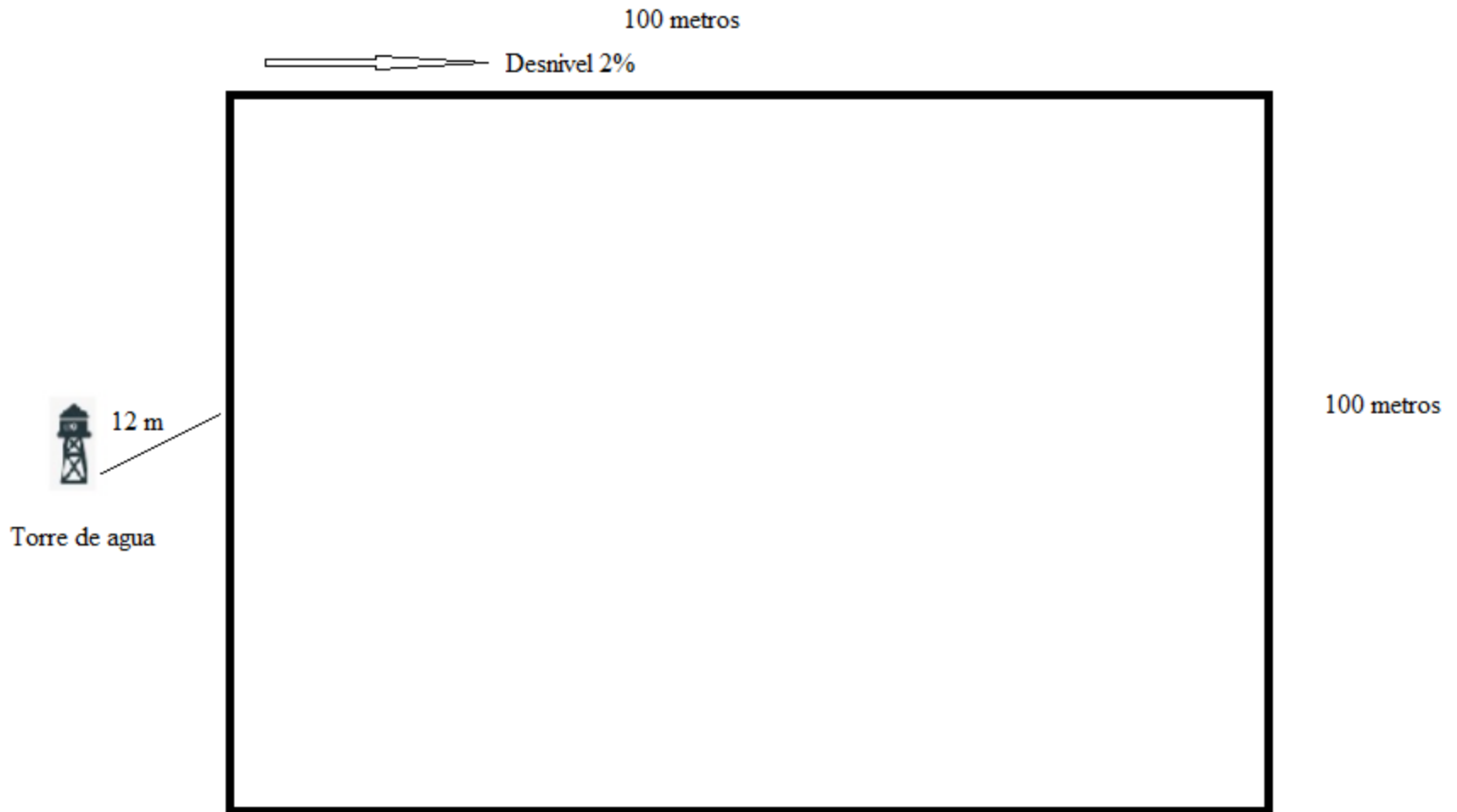
1: Motobomba 2: Registro 3: Medidor de caudal 4: Filtro de areia 5: Manômetro do filtro 6: Manômetro da saída do filtro 7: Registro de esfera 8: Injetor venturi (fertirrigação) 9: Registro de esfera 10: Registro de esfera da linha de recalque 11: Filtro de tela e/ou disco 12: Linha principal

Trabalho em grupo 1.

- a) Com base no layout, faça o desenho do sistema de rega considerando que o produtor pretende estabelecer 4 blocos de 0,25 ha.

 - a) Elabore o mapa de quantidades e especificações técnicas, considerando que a linha principal ser constituída por tubo PEAD, com diâmetro de 40 mm
- 

Trabalho em grupo 1.



Trabalho pratico

Com base na área preparada, faça a montagem do sistema de rega.

Cenário 1 – Cultura de Milho

Cenário 2 – Cultura de Repolho

Avaliação de Desempenho do Sistema de Rega

Avaliação do Desempenho do Sistema de Rega

Qual é a necessidade de se avaliar o desempenho do sistema de rega?

Trabalho em grupo

Indicar aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento da planta; Economia da água e Necessidade de melhorar ou redimensionar o sistema.

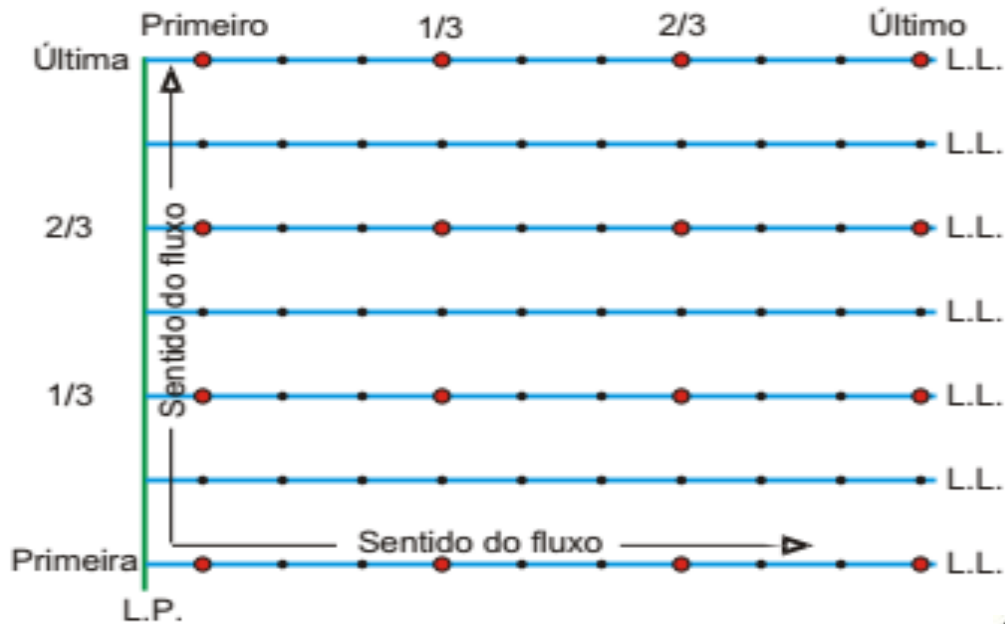
Avaliação do Desempenho do Sistema de Rega

A função da irrigação é fornecer condição hídrica adequada ao desenvolvimento das plantas, para que estas expressem todo o seu potencial genético, proporcionando maior retorno econômico.

O resultado do teste de uniformidade de distribuição de água, é utilizado tanto para o manejo da irrigação quanto para diagnosticar a necessidade de manutenção do sistema.

Portanto, a uniformidade de distribuição de água deve ser tratada como um importante parâmetro de informação para a avaliação do estado de funcionamento e da eficiência do sistema de irrigação.

Metodologia



Metodologia

I. Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (Merriam e Keller, 1978)

$$CUD = 100 \left(\frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right)$$

Onde:

CUD- Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

qmed- Média de todas vazões (L/h)

q25%- Média de 25% de todas as vazões (L/h)

II. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942)

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_{med}|}{n * q_{med}} \right]$$

Onde:

CUC- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

qi- Vazão de cada gotejador (L/h)

qmed= Média de todas vazões (L/h)

n = Número de gotejadores

III. Eficiência de Aplicação (Silva et al., 2015)

$$E_a = 0.9 * CUD$$

$$\begin{aligned} \text{Volume coletado} &= 200 \text{ mL} \times 3600 \text{ segundos} = 720000 \text{ mL/hora} \\ 720000 \text{ mL/hora} &\div 120 \text{ segundos} = 6000 \text{ mL/hora} \\ 6000 \text{ mL/h} &\div 1000 = 6,0 \text{ litros/hora} \end{aligned}$$

Metodologia

Valores recomendados para avaliação do CUC e CUD, adaptado Mirriam e Keller (1978) e Bernardo et al. (2009)

Coefficientes de Uniformidade (%)	Classificação
90 a 100	Excelente
80 a 90	Bom
70 a 80	Regular
70 a 60	Mau
Menor que 60	Inaceitável

Valores recomendados para avaliação da eficiência de aplicação, adaptado de Silva et al. (2015)

Eficiência de aplicação (%)	Classificação
Maior que 90	Ideal
80 a 90	Aceitável
Menor que 80	Inaceitável

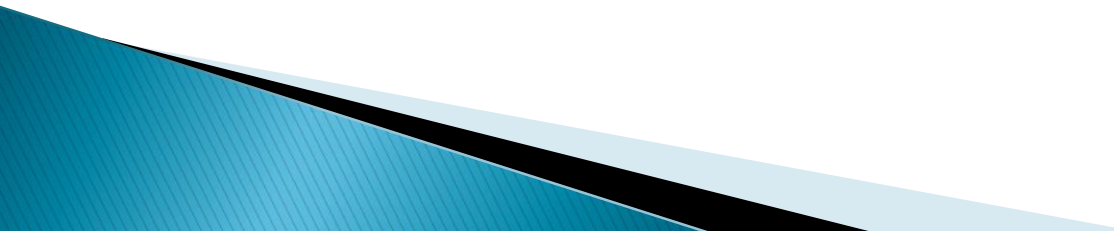
Medição de Caudal

Jose Pires, MSc

O que significa caudal?

- Passagem de um certo volume de água num certo tempo.
- Quem sabe a unidade usada para um caudal?
 - m^3/s ou l/s
- Qual é a diferença entre litros e metros cúbicos?
 - Quanto litros cabe num m^3 ?

Importância?

- Qual é a sua importância na gestão dos canais de irrigação?
 - Como influencia na duração de irrigação por sulco?
 - Qual é a sua importância na rega por gotejamento/aspersão?
 - Que estratégias devemos usar para rentabilizar os caudais nas comunidades?
- 

Medição de caudal

- Qual é a diferença entre velocidade e caudal?
 - Velocidade: Passagem dum certa distância por certo tempo m/s
 - Caudal: Passagem dum certo volume por tempo m^3/s
- O que é uma superfície m^2 ou ha, área
 - Área molhada de um perfil do canal
- Como chegar de uma velocidade e superfície para obter um caudal?
 - Multiplicar a velocidade com o superfície

Métodos simples de medição de caudal

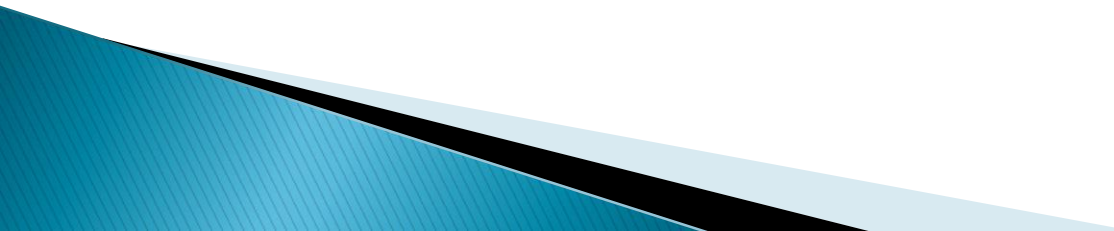
Vamos tratar 3 métodos:

- i. Balde
- ii. Flutuador
- iii. Vertedor

Método com Balde

- ▶ Como fazer?
 - Medir o tempo que leva para encher um balde dum certo volume
 - Dividir o volume do balde pelo tempo que leva a encher para ter o resultado de caudal

Vantagens e desvantagens do uso de baldes

- ▶ Método simples, com pouco material
 - ▶ Dá uma rápida estimativa do caudal
 - ▶ Só funciona com caudais pequenos (como de um aspersor)
- 

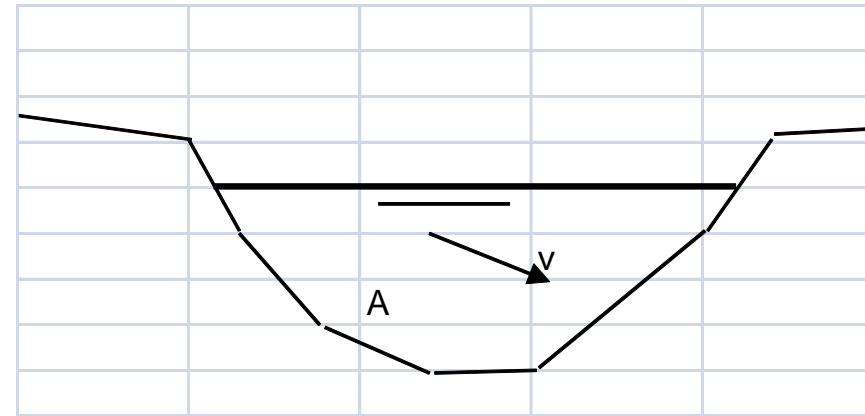
Método com Flutuador

- Método rápido e barato para estimar caudais
- Não é muito exacto: erros de pelo menos 10%
- Método consiste em dois passos:
 - Estimar velocidade (em m/s) da água que corre no canal
 - Medir secção molhada (em m²) do canal ou riacho

Método com Flutuador

- Fórmula: $Q = v * A$
- Q = caudal (m³/s)
- v = velocidade (m/s)
- A = superfície da secção molhada (m²)

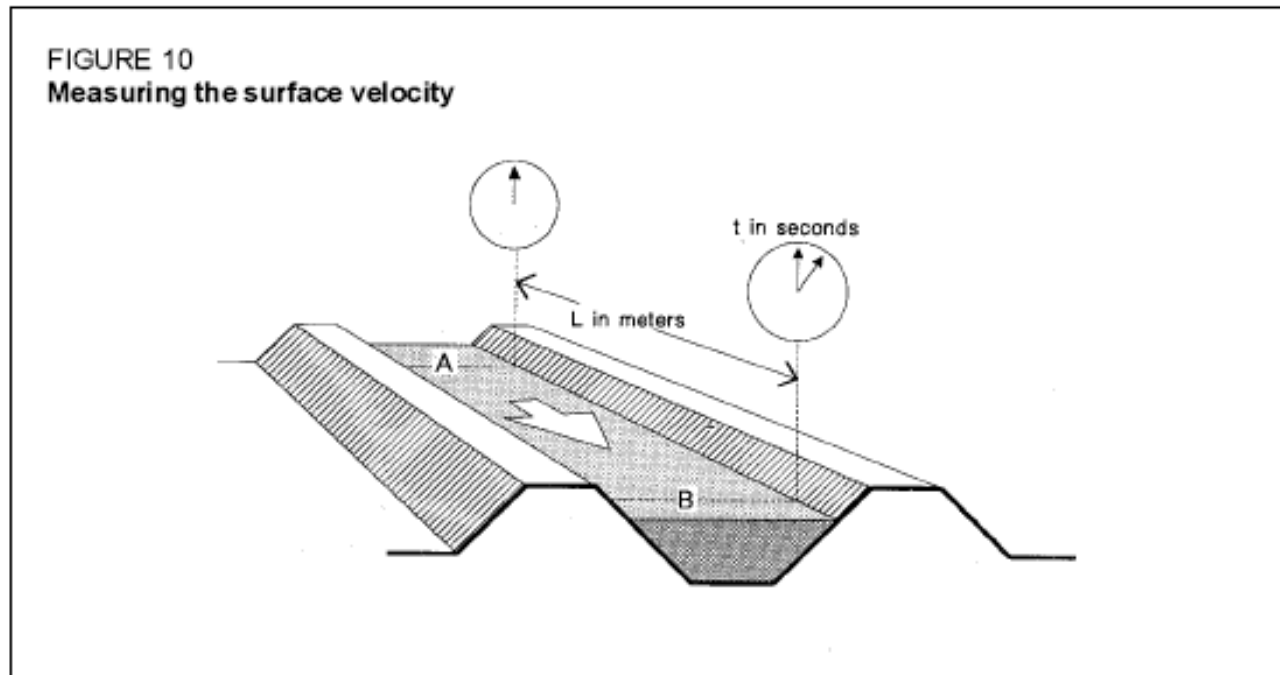
- Passo 1: Estimar velocidade
 - Determinar velocidade com flutuador num percurso de 10 ou 20 metros do canal
 - Medir tempo que o flutuador gasta para chegar ao outro lado
 - Cuidados a ter:
 - - Varias repetições
 - - flutuador tem que ficar no meio
 - - percurso tem que estar reto e uniforme



Método com Flutuador

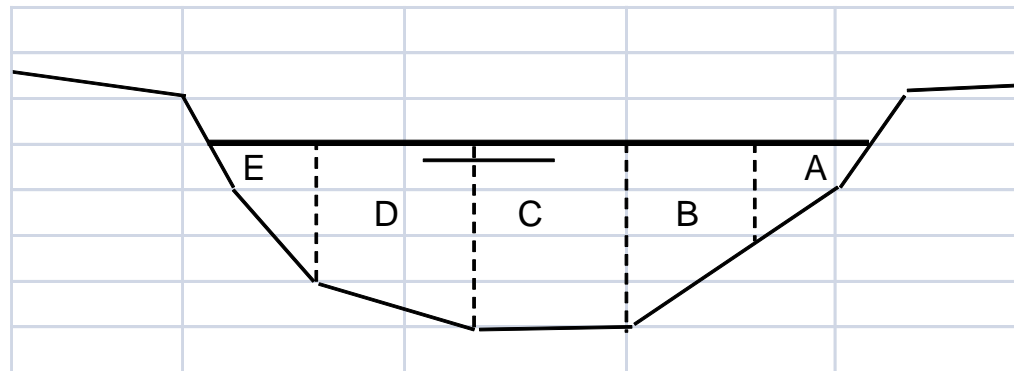
- $V_s = L/t$ (m/s) = velocidade de superfície
- velocidade média: $V = 0,75 * V_s$

Porque a velocidade de água na superfície é maior do que a velocidade media

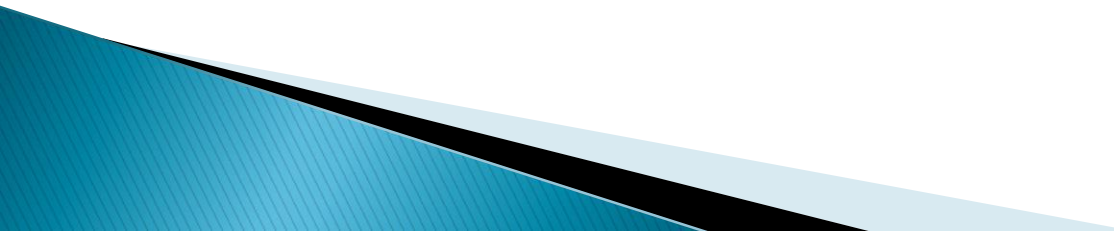


Método com Flutuador

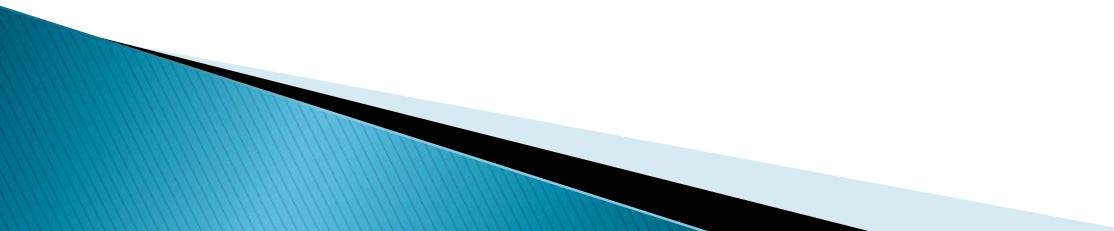
- **Passo 2: Medir secção molhada (em m²) do canal**
- **Secção molhada = soma de superfícies A + B + C + D + E**
- **Calcular caudal do canal:**
 - $Q = 0,75 * V_s * A$



Vantagens

- ▶ Método simples, com pouco material
 - ▶ Dá uma rápida estimativa do caudal
 - ▶ Não precisa-se de obstruções no rio ou canal
- 

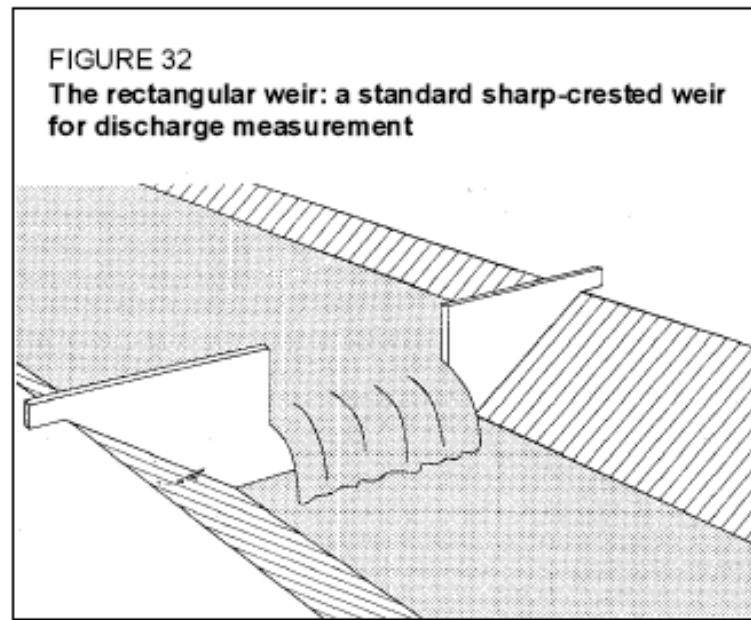
Desvantagens

- ▶ Tem um erro bem grande
 - ▶ Em canais de terra ou rios a variação da forma da área molhada, leva a variação na velocidade
 - ▶ Sempre há um erro na medição da área
 - ▶ Precisa dum troço recto
- 

Metodo medição de caudal: vertedor 1

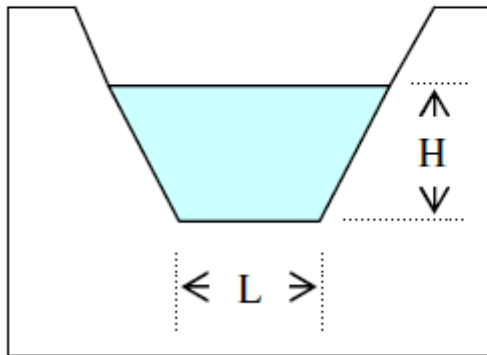
■ O que é um vertedor?

= dispositivo hidráulico que pode servir para distribuir água ou medir caudais



Vertedor Chipuleti

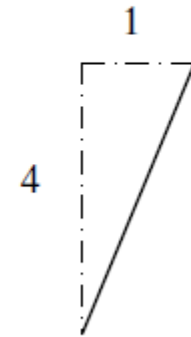
Vertedor trapezoidal (CIPOLLETTI)



$$Q = 1,86 \cdot L \cdot H^{3/2}$$

($Q = \text{m}^3/\text{s}$; $H = \text{m}$; $L = \text{m}$)

inclinação: 1:4



Exemplos no terreno







Método medição de caudal: vertedor 2

- **Vertedor tem uma propriedade hidráulica importante:**

= o caudal que passa em cima de vertedor só depende do nível de água à montante e não do nível de água à jusante (a água tem que cair)

- **Fórmula para um vertedor rectangular:**

- $Q = c * b * h^{1,5}$

Q = caudal (m³/s)

c = coeficiente de caudal (1,6 é razoavel)

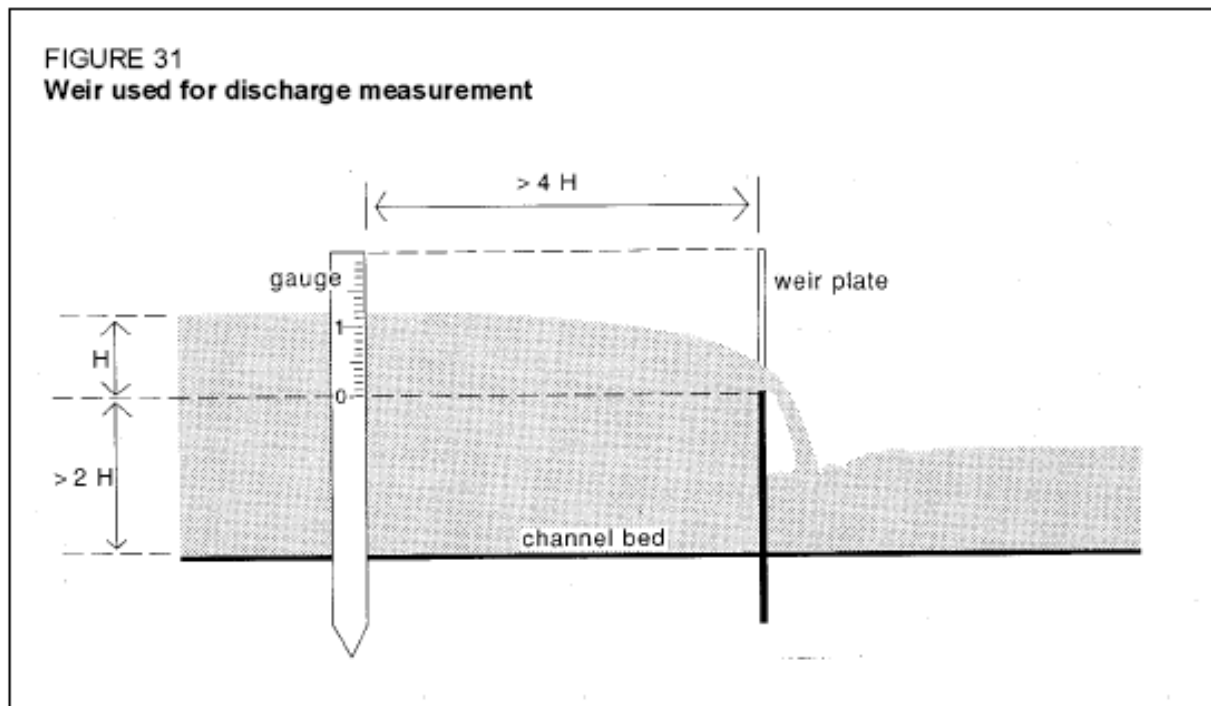
b = largura de vertedor (m)

h = altura de água em cima do vertedor (VEJA figura seguinte)

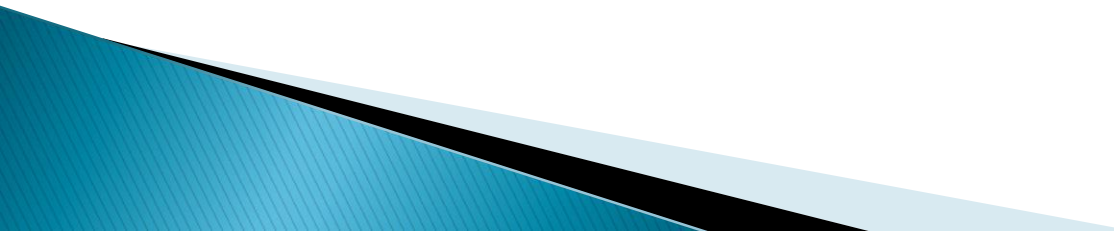
Metodo medição de caudal: vertedor 3

- **Secção longitudinal de um vertedor**

h na fórmula não é mesma do que H na figura !



Vantagens

- ▶ Pode-se construir facilmente com material barato
 - ▶ Não precisa de máquinas, energia ou calibrações (só de boa construção)
 - ▶ Dá o caudal no momento em que se mede
- 

Desvantagens

- ▶ Cada vertedor tem a seu constante, é importante consultar a teoria sobre qual aplicar
 - ▶ Tem que construir uma barreira no canal, nem sempre é possível
 - ▶ Com Chipuletis não permanentes é difícil controlar que toda água passe pela abertura
 - ▶ Só dá para pequenos caudais, 5–100 l/s
- 