
**Ministério da Agricultura
Direção Nacional de Serviços Agrários (DNSA)
Departamento de Engenharia Hidráulica (DEH)
Small Scale Irrigation Project (SSIP)
Rua de Resistência, 1746, 3º Andar
Maputo, Moçambique**

MANUAL PRÁTICA
de
DIMENSIONAMENTO TÉCNICO DE REGADIOS
de Pequena Escala
para Associações de Regantes

Aplicado nas condições de Moçambique

Agosto 2008

Manual preparado por:

**Adriaan van den Dries
Engenheiro Hidráulico**

CONTEUDO

MANUAL de DIMENSIONAMENTO

1. INTRODUCAO

- 1.1. Contexto e Enquadramento deste manual
- 1.2. A importância de Dimensionamento de Regadios
- 1.3. Objectivo, Âmbito e Abordagem de Manual
- 1.4. Para quem serve este manual?
- 1.5. Conteúdo e Organização do Manual

PARTE 1 IDENTIFICACAO DE RECURSOS E CONDICOES PARA IRRIGACAO

2. IDENTIFICACAO DE RECURSOS E CONDICOES PARA IRRIGACAO

- 2.1. Ciclo de Projecto
- 2.2. Condições e Recursos necessários p/ desenvolvimento de irrigação
- 2.3. Potencial de Desenvolvimento de Irrigação em Moçambique
- 2.4. Paisagens hidráulicos
- 2.5. Necessidades de Agua de rega
- 2.6. Recursos de água
- 2.7. Topografia
- 2.8. Solos
- 2.9. Organização social de regantes
- 2.10. Factores externos e contexto envolvente

PARTE 2 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO

Manual de Dimensionamento de Regadios

3. CONCEPTUALIZACAO DE DIMENSIONAMENTO e FACTORES CRITICOS

3.1. Conceitualização e abordagem de dimensionamento

3.1.1 O conceito dum sistema de irrigação como um instrumento sócio-técnico

3.1.2 Os princípios principais do dimensionamento

3.1.3 Opções Técnicas de Dimensionamento

3.2. Tipo de sistemas de irrigação da pequena escala

3.3. Tecnologias de Irrigação e as suas Condições de Utilização

3.4. O processo de Dimensionamento e factores críticos

3.4.1. Esboço do processo de Dimensionamento

3.4.2. Características do processo de Dimensionamento

3.4.3 Parâmetros críticos no Dimensionamento de sistemas de irrigação

3.4.4 Estimativa de necessidades da água de irrigação e caudais de dimensionamento

3.4.5 Dados básicos para o dimensionamento de sistemas de irrigação

3.4.6 Distribuição de água e Aplicação no campo

3.4.7 Canais vs Tubagem; Canais de terra vs canais revestidos

3.4.8 Selecção da bomba e do motor

3.4.9 Nível de Detalhe do Dimensionamento

3.4.10 Incertezas sobre o uso dos sistemas de irrigação

3.4.11 Estimativa e comparação de custos

4. AS RELACOES NO COMPLEXO ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO

4.1 Esboço do Complexo Atmosfera-Agua-Planta-Solo

4.2 O papel de Agua na Planta

Manual de Dimensionamento de Regadios

- 4.3. Necessidades de Água de Culturas
 - 4.3.1. Factores Climáticos e Demanda Evaporativa de Atmosfera
 - 4.3.2. Evapotranspiracao
 - 4.3.3. Determinação da Evapotranspiracao de Referência (ET_o)
 - 4.3.3. EVAPOTRANSPIRATION de CULTURA (ET_{crop})
- 4.4. Precipitação
 - 4.4.1. Indicadores estatísticas de variabilidade da precipitação
 - 4.4.2. Precipitação confiável
 - 4.4.3. Precipitação eficaz
- 4.5. Necessidades de Água de Irrigação
 - 4.5.1. Necessidades liquidas de irrigação duma cultura
 - 4.5.2. Necessidades liquidas de irrigação do Arroz
 - 4.5.3. Necessidades de Irrigação no nível do Sistema de Irrigação
 - 4.5.4. Necessidades brutos de Irrigação e calculo do caudal de bomba
- 4.6. O Sistema Planta – Água -Solo
 - 4.6.1. Propriedades de Solo
 - 4.6.2. Sistema da Planta-Solo-Água
 - 4.6.3. Balança hídrica no solo
 - 4.6.4. Programação de Irrigação
- 5. DISTRIBUICAO de AGUA de REGA
 - 5.1. Relação entre a programação de rega e a distribuição de água
 - 5.2. Parâmetros de distribuição
 - 5.2.1. Intervalo de rega
 - 5.2.2. Duração da aplicação da água (T_{apl})

Manual de Dimensionamento de Regadios

5.2.3 Caudal de aplicação (q)

5.3 Adaptação pratica da distribuição a aplicação no campo

5.4 Calculo da Superficie do bloco de distribuição

5.5 Princípios de Configuração e Dimensionamento de regadios

6. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA POR UM REDE DE CANAIS e METODOS SUPERFICIAIS de REGA

6.1 Principio de Dimensionamento

6.2 Processo de Dimensionamento

6.3 A configuração do Sistema de Irrigação

6.3.1 A rede de canais

6.3.2 Elementos dum sistema de canais abertos c/ métodos superficiais de rega

6.4 Dimensionamento de Canais

6.4.1 Plano de Água

6.4.2 Perfil transversal dum canal de rega

6.4.3 Cálculos de Dimensionamento dum canal

6.4.4 Perfil longitudinal

6.4.5 Perfis e vistos dum canal trapezoidal de rega

6.4.6 Perdas de Água em Canais de Rega

6.4.7 Canais vs Tubagem; Canais em terra vs Canais revestidos

6.5 Selecção e dimensionamento de Obras de regadio

6.5.1 Analises funcional de obras de regadio

6.5.2 Obras de Distribuição de Água

6.5.3 Obras de regulação

6.5.4 Obras de entrega

Manual de Dimensionamento de Regadios

6.5.5 Obras de tranquilização

6.5.6 Obras diversas

7. DIMENSIONAMENTO e SELECCAO de UNIDADES de BOMBAGEM

7.1 Tipos de Bombas

7.2 Bomba Centrífuga

7.2.1 Caudal Q

7.2.2 Altura Manométrica: H_{man}

7.2.3 Eficiência da bomba: η_{bomba}

7.3 Curvas Características das Bombas Centrífugas

7.3.1 Curva $Q-H_{man}$ (Caudal – Altura Manométrica)

7.3.2 Curva característica $Q-P$ (Caudal-Potencia Absorvida)

7.3.3 Determinação da Potencia Necessário de motor

7.3.4 Curva característica $Q-NPSH_r$ (Caudal-NPSH_r)

7.4 Variação de características da bomba $c/$ a velocidade de rotação

7.5 Selecção de motores

7.6. Acessórios sistema de bombagem

7.7. Golpe de Ariete

8. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA POR UMA REDE DE TUBAGEM e METODOS SUPERFICIAIS de REGA

9. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA POR UMA REDE DE TUBAGEM e MANGUEIRAS

10. DIMENSIONAMENTO de PEQUENAS BARRAGENS

Manual de Dimensionamento de Regadios

10.1. O conceito Represa

10.2 Dimensionamento de pequenas barragens em terra

PARTE 3 CONSTRUCAO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO, RELACAO COM DIMENSIONAMENTO

11. CONSTRUCAO de SISTEMAS de IRRIGACAO

11.1 A tradução do projecto dimensionado em exigências construtivas. Ligando o dimensionamento e a construção de sistemas de irrigação

11.2 Modalidades da implementação e da construção

11.3 Fiscalização & Controlo de qualidade

11.4 Os Custos da Construção

PARTE 4 EXPLORACAO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO, RELACAO COM DIMENSIONAMENTO

12. EXPLORACAO de SISTEMAS de IRRIGACAO

12.1 Relação entre o dimensionamento e a exploração de sistemas de rega

12.2 Manual de Exploração

12.3 Assuntos e factores críticos na operação e manutenção de sistemas de irrigação de escala pequena

12.3.1 Tipo de sistema

12.3.2 Condições para utilização dum sistema c/bombagem

12.3.3 Adaptação mútua do calendário da irrigação e do calendário agrária

12.3.4 Níveis da operação

12.4 Organização da associação de regantes

Manual de Dimensionamento de Regadios

12.5 Custos de O&M e Taxa de Exploração

12.6 Distribuição da água

12.7 Rega do campo

12.8 Treinamento de O&M

LISTA DE LITERATURA

CONTEUDO DE CD-ROM

ANEXOS

ANEXO 1 CALCULOS BASICOS e CONVERSOES

ANEXO 2 CONHECIMENTOS BASICOS de HIDROLOGIA

ANEXO 3 CONHECIMENTOS ELEMENTARES de TOPOGRAFIA

ANEXO 4 CONHECIMENTOS ELEMENTARES de HIDRAULICA

ANEXO 5 TABELAS

EXERCICIOS MANUAL

EXERCISIO 1 CALCULOS BASICOS e CONVERSOES

EXERCISIO 2 CALCULOS BASICOS e CONVERSOES

EXERCISIO 3 RECURSOS HIDRICOS 1 ANALISES de VARIABILIDADE de ESCOAMENTOS e CAUDAIS

EXERCISIO 4 RECURSOS HIDRICOS 2 BALANCA de AGUA numa LAGOA

Manual de Dimensionamento de Regadios

- EXERCICIO 5 RECURSOS HIDRICOS 3 ESTIMATIVO DO CAUDAL num
CANAL ou RIACHO
METODO de FLUTUADOR
- EXERCICIO 6 RECURSOS HIDRICOS 4 MEDICAO de CAUDAL com
VERTEDOR
- EXERCICIO 7 TOPOGRAFIA 1 CONCEITOS GERAIS
- EXERCICIO 8 TOPOGRAFIA 2 CURVAS DE NÍVEL
- EXERCICIO 9 TOPOGRAFIA 3 LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO
DUMA PARCELA
- EXERCICIO 10 TOPOGRAFIA 4 TÓPICOS DIVERSOS
- EXERCICIO 11 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 1
NECESSIDADES DE AGUA DE REGA
- EXERCICIO 12 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 2
- EXERCICIO 13 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 3
Sistema Solo-Planta-Agua; Programação de Rega
- EXERCISIO 14 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 4
Necessidades de Água dum Sistema; Programação de Rega
- EXERCICIO 15 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 5
Necessidades de Rega para arroz
- EXERCICIO 16 RELACOES ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO 6
Eficiências de Rega e Caudal Manejável
- EXERCICIO 17 DISTRIBUICAO de AGUA 1
Avaliação de Praticas de Rega
- EXERCICIO 18 DISTRIBUICAO de AGUA 2
Infiltração de água no solo
- EXERCICIO 19 DISTRIBUICAO de AGUA 3
Adaptações Calendário de rega- horas de bombagem- caudal de
bombagem

Manual de Dimensionamento de Regadios

- EXERCICIO 20 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 1
Configuração sistemas de rega para arroz
- EXERCICIO 21 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 2
Determinação da linha de água nos canais de rega
- EXERCICIO 22 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 3
Determinação linha de água nos canais de rega
- EXERCICIO 23 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 4
Configuração dum Sistema de irrigação
- EXERCICIO 24 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 5
Dimensionamento regadio p/ arroz
- EXERCICIO 25 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 6
Dimensionamento dum pequeno regadio
- EXERCICIO 26 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 7
Dimensionamento dum Regadio de Gravidade por Tubagem
- EXERCICIO 27 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 8
Dimensionamento dum Sistema de Mangueira I
- EXERCICIO 28 DIMENSIONAMENTO DE REGADIOS 9
Dimensionamento dum Sistema de Mangueira II
- EXERCICIO 29 DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE BOMBAGEM 1
Seleccção de Bombas Centrifugas
- EXERCICIO 30 DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE BOMBAGEM 2
Relações perdas de cargas- caudal- diâmetro- velocidade
Seleccção de Bombas Centrifugas
- EXERCICIO 31 DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE BOMBAGEM 3
Dimensionamento e Seleccção de Bombas Centrifugas
Curva de instalação
- EXERCICIO 32 DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE BOMBAGEM 4
Adaptação bomba e motor em função da velocidade de rotação
- EXERCICIO 33 DIMENSIONAMENTO de BOMBAS 5
Leituras de Gráficos perdas de carga em tubagem
- EXERCICIO 34 DIMENSIONAMENTO DE BARRAGENS 1
Dimensionamento hidráulico numa pequena barragem

Manual de Dimensionamento de Regadios

ELABORACAO DE EXERCICIOS

EXERCICIO 1 ate 34

Manual de Dimensionamento de Regadios

LISTA de FIGURAS

- FIGURA 2.1. Ciclo do Projecto
- FIGURA 3.1 Exemplo da Relação entre Distribuição de Água e Dimensionamento
- FIGURA 3.2 Esboço do Processo de dimensionamento dum sistema de Irrigação tipo 1
- FIGURE 4.1 COMPLEXO PLANTA - SOLO - AGUA - ATMOSFERE
- FIGURA 4.2 RELACOES CULTURA-ATMOSFERA-SOLO-AGUA
- FIGURA 4.3 Factores na determinação de Evapotranspiração de Referencia (ET_o) e Evapotranspiração da Cultura (ET_{crop})
- FIGURA 4.4 Determinação gráfica de valores de ET_o por década a partir de valores mensais
- FIGURA 4.5 Exemplo da variação do coeficiente kc no ciclo de crescimento
- FIGURA 4.6 Fases de crescimento do milho
- FIGURA 4.7 Exemplo (da construção) dum curva do coeficiente de cultura
- FIGURA 4.8 Precipitação eficaz
- FIGURA 4.9 Contribuição da água subterrânea à zona radicular
- FIGURA 4.10 Exemplo dum padrão de culturas
- FIGURA 4.11 Classificação de solos em base de textura
- FIGURA 4.12 Avaliação de textura de solo no campo
- FIGURA 4.13 Apresentação esquemática de uma amostra cúbica do solo com as três fases do solo: sólidos, água e ar.
- FIGURA.4.14 Curva da retenção da água do solo para vários tipos do solo.
- FIGURA 4.15 Desenvolvimento de Profundidade eficaz de enraizamento dum cultura de milho no ciclo de crescimento

Manual de Dimensionamento de Regadios

- FIGURE 4.16 Redução em evapotranspiracao devido a stress hídrico
- FIGURA 4.17 Apresentação esquemática da água do solo na zona radicular
- FIGURA 4.18 Desenvolvimento de RAM e TAM durante o ciclo de crescimento de milho num solo franco arenoso ($S_a = 150 \text{ mm/m}$)
- FIGURA 4.19 Balança diária de água na zona radicular de amendoim (da Tabela 4.21)
- FIGURA 4.20 Esgotamento da água na zona radicular (do TABELA 4.22)
- FIGURA 4.21 Apresentação esquemática da balança de água do zona radicular
- FIGURA 4.22 Evapotranspiracao da cultura como função da humidade do solo na zona radicular
- FIGURA 4.23 Apresentação gráfica de programação de rega
- FIGURA 4.24 APRESENTACAO GRAFICA de esgotamento da água no solo (“linha de serrote”)
- FIGURA 6.1 Esboço do Processo de dimensionamento dum sistema de Irrigação tipo 1 (padrão heterogéneo de culturas)
- FIGURA 6.2 Exemplo da Configuração dum Regadio
- FIGURA 6.3 Canal de Rega trapezoidal
- FIGURA 6.4 Calculo dum canal com Programa HCanales
- FIGURA 6.5 Planta e perfis dum Canal de rega
- FIGURA 6.6 Vertedor Rectangular
- FIGURA 6.7 Secção longitudinal dum vertedor
- FIGURA 6.8 Exemplo Uso de Vertedores
- FIGURA 6.9 Caixa de distribuição
- FIGURA 6.10 Orifícios
- FIGURA 6.11 Obras de Queda
- FIGURA 7.1 Altura geométrica

Manual de Dimensionamento de Regádios

FIGURA 7.2	Mapa geral de selecção de bombas KSB-ETA (1450 rpm)
FIGURA 7.3	Curvas características de ETA 65-125 (1450 rpm)
FIGURA 7.4	Curva de Instalação
FIGURA 7.5	Curvas características dum motor diesel Motor Lister-Petter, Zeta Series ZA1
FIGURA 9.1	Configuração de Regadio c/ Mangueiras
FIGURA 10.1	CICLO HIDROLOGICO
FIGURA 10.2	Calculo aproximado do volume do aterro de Barragem

LISTA de MAPAS

MAPA 2.1	Zonas climáticas em Moçambique (Classificação de Kírie)
MAPA 2.2.	Precipitação média anual em Moçambique
MAPA 2.3.	Bacias hidrográficas dos Rios mais importantes
MAPA 2.4	Relevo e Altitude

LISTA de TABELAS

TABELA 2.1	Escoamento médio anual nas regiões das ARAs.
TABELA 2.2	ETo para diferentes regiões agro-climaticos
TABELA 2.3	Características das Fontes de Agua
TABELA 3.1	Características dos tipos de sistemas de irrigação
TABELA 3.2	Comparando sistemas de irrigação tipo 1 e 2
TABELA 3.3	Opções técnicas e condições de utilização de tecnologia
TABELA 3.4	Perdas de Água num canal em função do caudal

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.1	Evapotranspiracao de Referencia (ET _o) para diferentes Regiões Agro-Climaticas
TABELA 4.2	Valores de kc para o estágio inicial da cultura.
TABELA 4.3	Exemplo do desenvolvimento dum kc-curva para algumas culturas
TABELA 4.4	Valores sugeridos de kc valores para arroz
TABELA 4.5	Exemplo do cálculo de E _{temos}
TABELA 4.6	Ordem de grandeza da Precipitação nas zonas climáticas globais
TABELA 4.7	Analises das precipitações mensais (Outubro) em Quelimane
TABELA 4.8	Precipitação eficaz média mensal em relação a ET _{crop} mensal e precipitação médio mensal (USDA SCS, 1969)
TABELA 4.9	Estimativa da Necessidades liquidas mensais e sazonal de milho
TABELA 4.10	Estimativa da Necessidade de Lavagem e da IRRnet
TABELA 4.11	Exemplo cálculo Necessidades da irrigação de arroz
TABELA 4.12.	Exemplo dum padrão de culturas
TABELA 4.13	Necessidades líquidas de água de rega ao nível de sistema
TABELA 4. 14	Valores indicativos de Eficiências de transporte e de aplicação
TABELA 4.15	Calculo Necessidade bruto de Irrigação
TABELA 4.16	Limites de Tamanho de Classes de Partículas
TABELA 4.17	Classificação simples de Solos
TABELA 4.18	Constantes médias da humidade do solo para diferentes tipos do solo
TABELA 4.19	Exemplo da humidade disponível total do solo contida na zona radicular
TABELA 4.20	Factores de esgotamento em função da cultura, ET _{crop} e solo

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.21	Exemplo da Balança de água no solo
TABELA 4.22	Balança de água no solo (Exemplo TABELA 4.21)
TABELA 6.1	Inclinações admissíveis de canais
TABELA 6.2	Valores indicativos de k_m
TABELA 6.3	Valores de k_m
TABELA 6.4	Velocidade Máxima Permitida em canais de terra
TABELA 6.5	Estimativas de Infiltração em função de terra ou revestimento
TABELA 6.6	Perdas de água em função de caudal
TABELA 7.1	Redução percentual de potência (ac) em função de Temperatura e Altitude
TABELA 7.2	Exemplos Calculo de Potencia de motor
TABELA 9.1	Dimensionamento regadio de mangueira relacionado com a Operação
TABELA 10.1	Coefficiente C na estimativa de escoamento anual ($V_{\text{anual}}=C*A*P_{\text{anual}}$)
TABELA 10.2	Valores de C e valores para o cálculo de i (Método Racional: $Q_{\text{cheia}}= C * i * A$)

ANEXO 5

TABELA 1	Duração aproximada das fases de desenvolvimento para algumas culturas.
TABELA 2	Coefficientes de Cultura
TABELA 3	Profundidade efectiva da zona radicular (D) e fracção de esgotamento permitido de agua disponível no solo (p) para culturas completamente desenvolvidos ($ET_{\text{crop}} = 5-6 \text{ mm/dia}$).

LISTA de CAIXAS

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 3.1 Situação de bombas de rega em Moçambique

CAIXA 3.2 Problemas com Parcelamento de Terras

CAIXA 3.3 Disponibilidade da água e intervenção política

CAIXA 3.4 Motores Sobredimensionados

CAIXA 5.1 Estimativa de horas de rega no Sistema de Mandruzi Gappo

CAIXA 11.1 Caderno de Encargos: instrumento básico para construção

LISTA de FOTOGRAFIAS

FOTO 2.1 Paisagem Hidráulica de Zonas Montanhosas (Açude de Nintulo)

FOTO 2.2 Paisagem Hidráulica de Planície (Buzi)

FOTO 2.3 Nível mínimo do rio Licuari (Novembro 2006)

FOTO 2.4 Nível de cheia do R. Licuari (Janeiro 2007)

FOTO 5.1 Rega por sulcos curtos (Nintulo, Maio 2005)

FOTO 6.1 Vertedor numa caixa de tranquilização p/ um canal de distribuição.
Medição e afinação de caudal no regadio de Mandruzi

FOTO 10.1 Açude na associação Mexesse (Malema)

Manual de Dimensionamento de Regadios

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto e Enquadramento deste manual

Moçambique tem recursos enormes de terra e água (embora dividido muito desigual sobre o seu território), mas estes recursos são muito subutilizados na solução dos problemas que o seu povo enfrenta, em particular os relacionados com a pobreza e a fome. Períodos cíclicos de seca e a ocorrência de cheias destrutivas mostram claramente a vulnerabilidade do sector agrícola. O programa de Governo preconiza no desenvolvimento de hidráulica agrícola um instrumento importante para apoiar o desenvolvimento do sector agrícola e garantir o estabelecimento de condições mais seguras e favoráveis para a produção agrícola que é o mais importante fonte de rendimento e sobrevivência da maioria de povo Moçambicano.

Entretanto, existe um abismo entre as exigências de desenvolvimento agrícola e a capacidade de resposta, particularmente na construção e reabilitação de regadios e o uso proveitoso e sustentado dos sistemas de rega. Os constrangimentos são muitos e de ordem diverso, tanto no sector privado como no Estado.

Um dos constrangimentos críticos é a capacidade institucional e técnica no nível do estado e no sector privado, que é muito limitada em todos os níveis. Um dos instrumentos cruciais para aumentar a capacidade institucional e técnica é a melhoria dos conhecimentos e do 'saber fazer' dos técnicos que trabalham na área de hidráulica agrícola, particularmente aqueles que trabalham nas tarefas e actividades essenciais relacionados com a concepção e implementação de regadios (identificação, dimensionamento, construção, fiscalização) e o melhoramento de uso, operação e manutenção de sistemas existentes.

Este manual de dimensionamento pretende de contribuir para o treino e formação de técnicos que trabalham no sector de hidráulica agrícola. Este manual é baseado num curso de treinamento em 2007 para técnicos que trabalham nas estruturas provinciais e centrais do ministério de Agricultura. Este curso tinha como objectivo central o treinamento no dimensionamento de pequenos regadios e outras obras de hidráulica agrícola. Este manual pode ser considerado como uma sistematização deste curso.

1.2. A importância de Dimensionamento de Regadios

O dimensionamento é uma fase crucial no projecto dum regadio. Um regadio bem dimensionado pode fazer uma diferença grande com um regadio mal dimensionado que se manifesta na facilidade e qualidade de gestão de água, na eficiência do uso de água, nos custos de operação e custos de construção/investimento. Um exemplo claro é a situação das moto/electrobombas que são utilizados na rega. Não se exagera quando se afirma que a maior parte das bombas no País tem características técnicas que não são bem adaptadas às condições de campo e tem uma eficiência baixa que se reflecte em custos de consumo de combustível mais altos que necessário.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Todos técnicos de hidráulica agrícola necessitam conhecimentos relacionados com o dimensionamento de sistemas de irrigação embora com acentos diferentes em cada nível e especialização. Nas instituições governamentais os técnicos no nível central devem ser capazes de concepcionalizar sistemas de irrigação, fazer termos de referência para o dimensionamento de sistemas de irrigação e ser capaz de avaliar e revisar os dimensionamentos feitos por outros (consultores etc); no nível provincial os técnicos devem ser capaz de dimensionar pequenos regadios; e no nível distrital técnicos devem ser capaz de identificar lugares com condições e recursos necessários para rega e devem compreender a relação entre o dimensionamento e a exploração (gestão e operação) dum sistema (como escrito numa guia de exploração) em fim de utilizar os sistemas numa maneira eficaz e proveitosa.

Há varias razoes para fazer o dimensionamento de sistemas de irrigação, uma peca central na formação e treinamento de técnicos.

Primeiro, dimensionar um regadio implica que os técnicos são obrigados de aplicar, combinar, balancear e integrar todos as peças de conhecimento de varias disciplinas (topografia, solos, culturas, recursos hídricos, hidráulica, economia, construção etc) que em conjunto constituem a “ciência de irrigação”.

Segundo, o dimensionamento dum sistema tem que ser ligado com e facilitar o seu uso posterior e tem que tomar em conta como o sistema pode ser construído com a tecnologia disponível. No dimensionamento dum sistema de rega, técnicos são confrontados com varias questões fundamentais, por exemplo: “como dimensionar um sistema que pode ser construído com menos custos possíveis (quer por empreiteiros quer por administração directa), tomando em conta os recursos disponíveis e métodos de construção?”, “como dimensionar um sistema que pode ser gerido e operado eficientemente (custos de operação mínimas) e eficazmente (simplicidade, transparência, sem conflitos) por seus utentes?”.

Estes questões obrigam os técnicos de tomar em conta as opiniões de utentes e construtores e a negociar varias opções alternativas de dimensionamento. Assim, o dimensionamento dum regadio representa uma culminação de muitos aspectos juntos que devem ser combinados numa maneira balanceada, uma prova excelente de ‘saber fazer’ que permite de ganhar rapidamente uma compreensão profunda da ‘arte de irrigação’.

1.3. Objectivo, Âmbito e Abordagem de Manual

O objectivo geral do manual é de contribuir para a formação dum corpo técnico que é capaz de desenvolver o sector de Hidráulica Agrícola em Moçambique. Técnicos de Hidráulica Agrícola precisam saber como aplicar os seus conhecimentos teóricos na prática. Especificamente este manual pretende de ser um instrumento na formação e treino de técnicos que são capazes de identificar condições e recursos para implementação de sistemas de rega, dimensionar regadios pequenos (ate 100 ha), preparar cadernos de encargo (programa de trabalho, especificações técnicos e mapas de quantidades) para execução de obras de regadio e para apoiar e acompanhar associações de regantes na gestão de seus regadios.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Dimensionar é uma habilidade que se desenvolve com a experiência. Dimensionar somente se pode aprender fazendo dimensionamentos. A experiência com o Projecto de Rega na pequena escala (SSIP) mostra que os técnicos têm que dimensionar pelo menos 2 ate 3 sistemas de rega e precisam ser acompanhado neste processo e controlados os dimensionamentos antes eles se sentem seguros e podem os fazer sozinho.

Não se pode aprender o dimensionamento de regadio a partir de um livro c/ “receitas de cozinha”. Primeiro, porque cada regadio é inserido numa situação particular e um contexto específico que é diferente dos outros. Segundo porque o dimensionamento dum regadio é um processo altamente iterativo o que significa que só tentativamente se consegue de chegar a uma solução que aproxima a óptima.

Este manual visa de apresentar *uma clara metodologia de dimensionamento* de pequenos sistemas de rega e tratar os seus aspectos práticos. No manual há um acento no ‘saber fazer’, de ligar teoria e pratica, de utilizar o conhecimento científico num perspectiva prático. O manual não trata conhecimentos em geral ou muita detalhas (que se pode estudar em muitos outras publicações, p.e aquelas mencionadas na lista de literatura), mas concentra-se na lógica e metodologia para resolver problemas na prática. Nesta perspectiva o manual pode ser uma ferramenta e um documento de apoio que complementa a formação prático (treino ‘on-the-job’) no dimensionamento de regadios.

Este manual se concentra ao dimensionamento de regadios de pequena escala (digamos, ate 100 há) para grupos de camponeses (que são organizados em associações ou em processo de organização) ou que são enquadrados nos sectores terciários de grandes regadios.

Embora os princípios de dimensionamento apresentados no manual são também validos para regadios de media e grande dimensão, a distribuição de água no nível primário e secundário nestes regadios pode ser mais complexa e as obras de regadio correspondentes são maiores e complicados.

Também é preciso notar que o curso tem um focos em sistemas por gravidade, por um lado porque são geralmente os sistemas mais adequados para a realidade actual no Pais, por outro lado porque os técnicos sentem em geral mais dificuldades de dimensionar um sistema de gravidade que um sistema de aspersão ou de gota-a-gota (por estes tipos de sistemas também existem melhores manuais).

Em resumo, este manual tem as seguintes linhas mestres:

- Um foco metodológico: fornecer um método de dimensionamento com ênfase nos aspectos hidráulicos
- Ligar dimensionamento com a gestão de água
- Baseado na situação e condições de Moçambique
- Abordagem pratica: o teoria somente é tratado na perspectiva pratica como dimensionar um regadio: usa-se muitos regras empíricas e de experiência.
- Balança entre conhecimentos princípios científicos e saber fazer, a pratica de dimensionamento

Manual de Dimensionamento de Regadios

1.4. Para quem serve este manual?

Todos técnicos de hidráulica agrícola necessitam conhecimentos relacionados com o dimensionamento de sistemas de irrigação embora com acentos diferentes em cada nível e especialização. Nas instituições governamentais os técnicos no nível central devem ser capazes de concepcionalizar sistemas de irrigação, fazer termos de referência para o dimensionamento de sistemas de irrigação e ser capaz de avaliar e revisar os dimensionamentos feitos por outros (consultores etc); no nível provincial os técnicos devem ser capaz de dimensionar pequenos regadios; e no nível distrital, técnicos devem ser capazes de identificar lugares com condições e recursos necessários para rega e devem compreender a relação entre o dimensionamento e a exploração (gestão e operação) dum sistema (como escrito numa guia de exploração) em fim de utilizar os sistemas numa maneira eficaz e proveitosa.

Este manual destina-se aos técnicos com um nível académica superior (licenciatura na engenharia agrícola ou civil) ou médio (instituto industrial hidráulica) com experiência. A única habilidade absolutamente necessária é um conhecimento prático de matemática e física simples (aritmética, unidades físicas, conceitos de percentagem, pendente, conversões, ordem de grandeza de parâmetros etc). Conhecimentos de computador na óptica de utilizador (WORD, EXCEL) e de Inglês são recomendados, mas não essencial.

1.5. Conteúdo e Organização do Manual

O Manual consiste dos seguintes componentes:

- a- Texto de estudo que trata do teoria, metodologia e pratica de dimensionamento
- b- Anexos com conhecimentos e dados básicos
- c- Exercícios para praticar o dimensionamento e testar os conhecimentos
- d- Elaboração destes exercícios
- e- Lista de literatura

Alem do manual foi composto um CD com documentos e programas de cálculo.

Ad a. Texto de Estudo

O texto de estudo consiste de seguintes partes:

Parte 1 Identificação de recursos e condições para irrigação

Antes de dimensionar um sistema temos que investigar/identificar quais são as condições locais e saber que estes são suficientes para criar um sistema de irrigação. Nesta parte usam-se muitas regras empíricas e regras baseadas na experiência. A Parte 1 consiste de um capítulo (Cap. 2).

Manual de Dimensionamento de Regadios

Parte 2 Dimensionamento de sistemas de irrigação

É a parte central deste manual que trata de dimensionamento de regadios. Consiste de 7 capítulos.

Na Cap. 3 apresenta-se uma conceptualização de dimensionamento e uma tipologia de sistemas. Também se analisa os factores e parâmetros críticos no dimensionamento.

O Cap.4 trata das relações no complexo atmosfera-agua-planta-solo que da resposta aos questões básicos de quanto e quando regar (aplicação) no nível de parcela e sistema, a caudal necessária de bomba etc. Há muitas alternativas na aplicação de água de rega. No Cap.5 trata-se de distribuição de água que pode ser considerada uma tradução pratica da aplicação de água no nível do sistema e do campo. Os capítulos 6, 8 e 9 tratam o dimensionamento específico de vários tipos de sistemas de rega, a saber, sistemas com canais abertas e métodos superficiais de rega (rega de gravidade), sistemas c/ tubagem e métodos superficiais de rega e sistemas com rega por mangueira. No Cap. 7 trata-se a selecção e dimensionamento de unidades de bombagem. Finalmente o Cap. 10 trata de dimensionamento hidráulica de pequenas barragens.

Parte 3 Construção de sistemas de irrigação, relação com dimensionamento

Parte 4 Exploração de sistemas de irrigação, relação com dimensionamento

Já foi mencionada que é necessário de ligar o dimensionamento do sistema com sua posterior construção e exploração. Estes fases e suas relações com o dimensionamento são o objecto de respectivamente Cap. 11 e Cap. 12.

Ad b Anexos

No Anexo 1 são resumidos os mais importantes cálculos básicos e conversões utilizadas no dimensionamento de regadio. Para técnicos hidráulicos é necessário métodos de recolher, controlar e analisar dados do campo. Os dados referentes à disponibilidade de água e topografia são os mais críticos. Nos Anexos 2 e 3 se encontra respectivamente método simples das análises de recursos hídricos e do levantamento topográfica. No Anexo 4 são resumidos os conhecimentos necessários elementares de hidráulica. Finalmente, no Anexo 5 são apresentadas tabelas de vários parâmetros que são úteis no dimensionamento de sistemas.

Ad c· Exercícios

Os exercícios servem para testar os conhecimentos e aplicá-los em situações praticas para desenvolvimento de ‘saber fazer’. Os exercícios são desenvolvidos na base da experiência de treino e interesse de técnicos. Aborda-se os problemas mais frequentes encontrados (fazer perfis longitudinais de canais de rega, diferença de funcionamento hidráulico entre vertedores e orifícios, selecção de bombas, dimensionamento de pequenas barragens etc).

Ad d Elaboração de Exercícios

Manual de Dimensionamento de Regadios

Naturalmente é muito recomendável de fazer os exercícios antes de ver a sua elaboração.

Ad e Literatura

A lista de literatura é anotada com indicações da utilidade da referência. No Texto do Estudo é referida (indicado como REFERENCIA nr.....) frequentemente aos documentos nesta lista de literatura. O conteúdo duma parte das referências se encontra no CD-ROM que acompanha este manual.

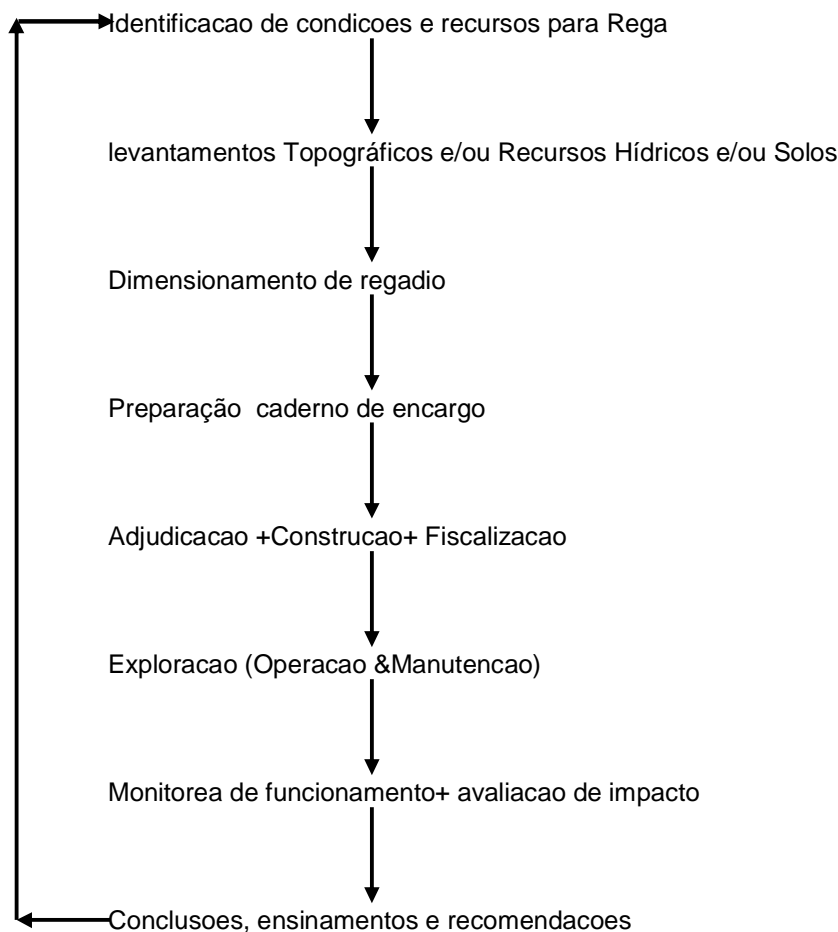
2. IDENTIFICACAO DE CONDICÕES E RECURSOS PARA IRRIGACAO

Neste capítulo trata-se de examinar e discutir as condições e os recursos necessários vs os presentes num local onde se pretende de desenvolver um projecto de irrigação. Nesta fase de identificação ainda não se faz cálculos detalhados mas usa-se principalmente regras empíricas e aproximações baseadas na experiência. Vários conceitos utilizados neste capítulo seriam tratados com mais pormenor em PARTE 3 e nos ANEXOS 2 e 3. Este capítulo não pretende de ser completo, faz ênfasis nos recursos de água. Para tratamento adicional recomenda-se de consultar as REFERENCIAS 1 e 10.

2.1. Ciclo de Projecto

A identificação de condições e recursos para rega faz parte do ciclo completo de realização, desenvolvimento e avaliação dum projecto de regadio (veja FIGURA 2.1).

FIGURA 2.1. Ciclo do Projecto



Manual de Dimensionamento de Regadios

O ciclo do projecto representa uma sequência lógica de actividades. As falhas cometidas nas fases anteriores invariavelmente se reflectem nas fases posteriores. Alguns exemplos são:

- Um regadio dimensionado em base dum levantamento topográfico mal feito causa sérios problemas na fase de construção e exploração, por exemplo uma construção mais custosa para rectificar canais construídos que são baixos demais para regar.
- Uma sobre estimativa de água disponível conduz ao dimensionamento e construção dum sistema de irrigação que é grande demais.
- Uma falha na identificação de direitos de terra pode causar um uso pouco intensivo e conflitos na exploração de regadio.

A identificação de condições e recursos para rega é uma actividade crucial na realização dum projecto de rega. Esta fase é muitas vezes subestimada. Conforme a experiência do Projecto de rega de pequena escala (SSIP) se verifica que os problemas na exploração de regadio muitas vezes têm as suas raízes nesta fase. Neste contexto se deve notar que em vários níveis de decisão (produtores, administração em vários níveis, ministério de agricultura) também existem muitas ideias erradas e ilusões sobre as potencialidades para rega, normalmente são muito sobre estimadas. Não vale a pena de implementar a todo custo regadios numa zona onde os recursos hídricos não tem qualidade (água subterrânea salgada) e/ou são tão escassos (precipitação, águas superficiais) que nem é bastante para o consumo humano e/ou do gado como por exemplo nas zonas interiores das províncias de Gaza e Inhambane.

2.2. Condições e Recursos necessários p/ desenvolvimento de irrigação

Comparado com a agricultura de sequeiro, a agricultura irrigada pode ter os seguintes vantagens e mais valia:

- Mais segurança contra seca
- Fazer mais culturas por ano
- Aumentar produção/há (rendimento)
- Estabilizar a produção para mercado
- Promover desenvolvimento em áreas secas
- Gerar rendimentos monetários de culturas de rendimento

Isto mostra que a irrigação pode ser um instrumento para desenvolver, aumentar e diversificar a produção agrícola e o mundo rural em geral. Mas a irrigação somente pode ser um instrumento efectivo quando certas condições e recursos são presentes ou podem ser criados.

As condições e recursos mais importantes são os seguintes:

- Produtores com vontade e capacidade
- Água em quantidade e qualidade
- Contexto envolvente e Ambiente institucional favorável
- Recursos de terra em condições p/regagem devem ser disponíveis

Crucial é que estas condições e recursos devem ser presentes no mesmo tempo. Muitas vezes falta num local um ou mais recursos cruciais.

Manual de Dimensionamento de Regadios

2.3. Potencial de Desenvolvimento de Irrigação em Moçambique

As condições naturais globais em Moçambique relevantes para o desenvolvimento da irrigação são os seguintes:

* *Clima*

O clima é o factor determinante para julgar a necessidade de irrigação.

No MAPA 2.1 Moçambique é dividido em zonas climáticas conforme a classificação climática de Koppen. Neste Mapa se pode distinguir claramente as zonas mais secas (semi-áridos): Sul de província de Tete e o interior de províncias de Inhambane, Gaza e Maputo. A divisão de Moçambique em zonas climáticas se reflecte no padrão espacial de precipitação em Moçambique.

* *Precipitação*

A precipitação media anual em Moçambique varia de menos que 400 mm (semi-árido) ate mais que 2000 mm (pluvioso), dependente do lugar (veja MAPA 2.2). Há uma clara tendência que a precipitação baixa de Norte para sul. Também a precipitação soube nas áreas montanhosas.

Alem da variabilidade no espaço há também uma grande variabilidade interanual na precipitação.

A distribuição de precipitação durante o ano é claramente temporal. Aproximadamente 80% da precipitação caía nos 5 meses da estação de chuvas (Dezembro-Abril).

* *Evapotranspiracao Potencial*

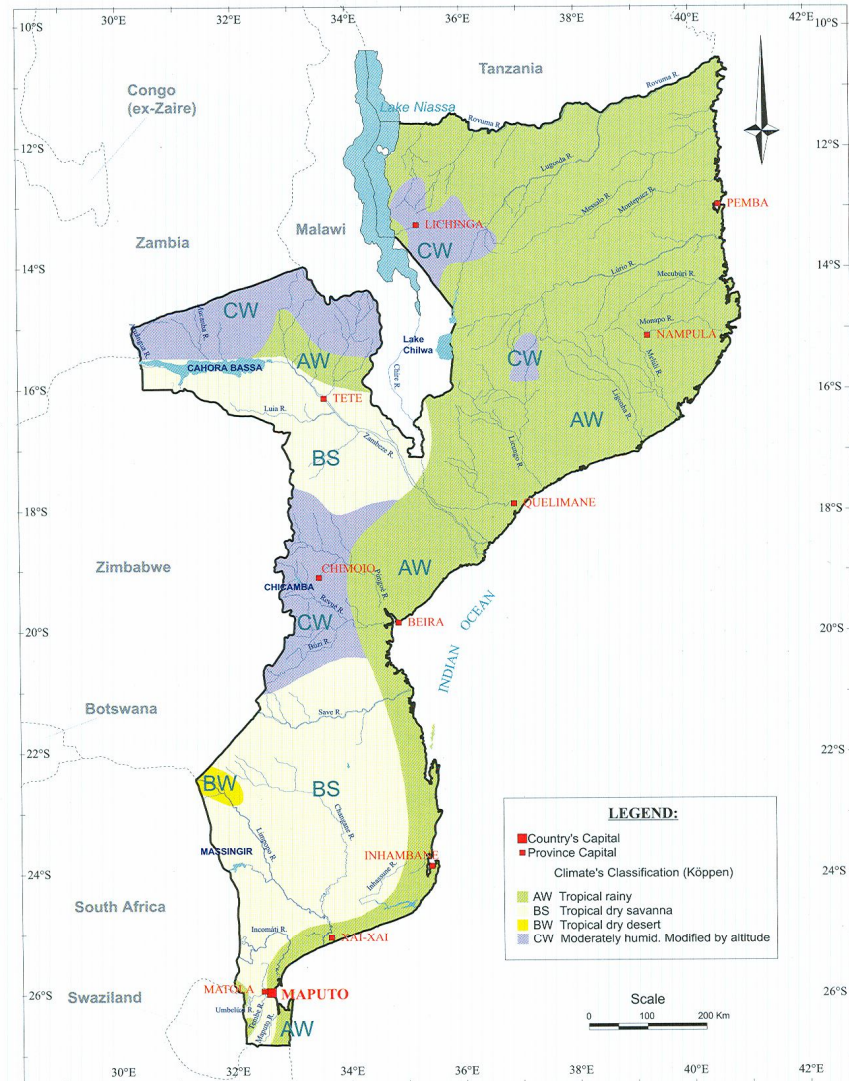
A evapotranspiracao potencial (ETp) é uma boa aproximação das necessidades de água das culturas.

A ETp anual no território Moçambicano varia entre 1250 e 1750 mm. Isto mostra que a ETp não tem uma grande variabilidade espacial em comparação a precipitação. Também a ETp não tem uma grande variabilidade interanual.

A variação de ETp durante o ano segue um padrão muito claro: o mínimo (2-4 mm/dia) e o máximo valor (5-7 mm/dia) da ETp ocorrem ambos no tempo seco, respectivamente em Junho/Julho e Setembro/Outubro

Manual de Dimensionamento de Regadios

MAPA 2.1 Zonas climáticas em Moçambique (Classificação de Köppen)



Sources: Map with title "Mapa de Moçambique, Divisão Territorial" (by DINAGECA, 1987), Geographical Atlas of Mozambique, 1986

Figure 4: Types of climate (Köppen's classification)

Manual de Dimensionamento de Regadios

MAPA 2.2. Precipitação média anual em Moçambique

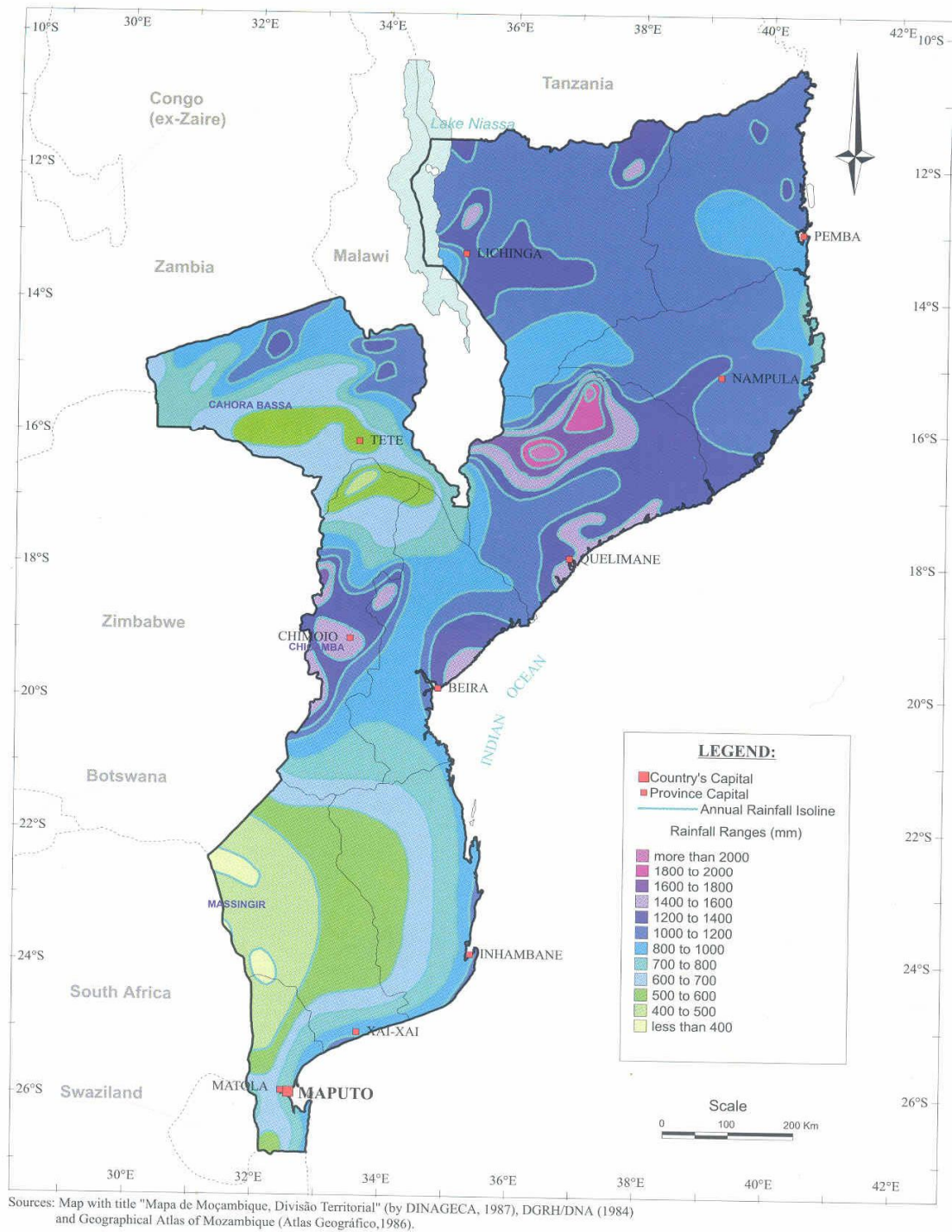


Figure 5: Distribution of mean annual rainfall

** Necessidade global de Irrigação em Moçambique*

Manual de Dimensionamento de Regadios

Para fazer uma primeira aproximação da necessidade de rega pode-se comparar a precipitação média anual (aproximação para a disponibilidade natural de água) com a evapotranspiração potencial anual (aproximação para a necessidade de água). Onde a precipitação é menos que a evapotranspiração potencial, irrigação será necessária. O deficit hídrico é mais concentrado no Sul. Na dimensão temporal há um deficit hídrico generalizado em quase todo Moçambique no período seco (Maio/Junho/Julho-Novembro/Dezembro).

* *Recursos hídricos*

Em princípio, o deficit hídrico pode ser compensado pela irrigação.

ATENÇÃO: *irrigação será somente possível se há de facto recursos hídricos disponíveis no local na sua dimensão temporal.*

Há dois tipos de recursos hídricos:

- a- *Recursos hídricos superficiais*
- b- *Água subterrânea*

ad a *Recursos hídricos superficiais* (Rios etc)

Os recursos hídricos superficiais são constituídos pelos rios e lagoas. As bacias de rios mais importantes são apresentadas no MAPA 2.3. Moçambique tem uma abundância de recursos hídricos superficiais como a TABELA 2.1 mostra.

TABELA 2.1 Escoamento média anual nas regiões das ARAs.

Região	Área (1,000 km ²)	Escoamento médio anual (km ³)			Escoamento médio anual (mm)		
		Na fronteira	Origine em Moçambique	Total	Na fronteira	Origine em Moçambique	Total
Sul	192	17.0	3.8	20.8	89	20	109
Centro	84	1.2	18.4	19.6	14	219	233
Zambeze	140	88.0	18.0	106.0	629	129	758
Centro-Norte	196	0.0	35.2	35.2	0	180	180
Norte	168	10.0	24.9	34.9	60	148	208
Total	780	116.2	100.3	216.5	149	129	278

Fonte: **Carmo Vaz, A.** *Recursos hídricos de Moçambique, potencial, problemas políticos*, associação Moçambicana de ciências e tecnologia, Maputo, 1999.

Notes:

- Sul: inclui todas as bacias no sul da Save e a própria bacia do R. Save
- Centro: são todas as bacias entre as bacias de R. Save e R. Zambezi
- Zambeze: corresponde com a bacia de R. Zambeze
- Centro-Norte: são todas as bacias ao norte de R. Zambeze até o R. Lurio, incluso a própria bacia de R. Lurio
- Norte: cobre todas as bacias no norte da bacia do R. Lurio

O escoamento médio anual é estimado em 216,000 milhões de metros cúbicos (Mm³), de que 100,000 Mm³ tem o seu origine na precipitação dentro de Moçambique. O resto tem

Manual de Dimensionamento de Regadios

o seu origine nos países a montante que esta a diminuir com o uso crescente de água nestes países.

A tabela mostra que Moçambique é muito dependente da água com origine nos países a montante, particularmente na região sul aonde mais que 80% do escoamento médio anual vem dos Países a montante.

Ad b Água subterrânea

A água subterrânea serve em primeiro lugar para o uso e consumo humano por causa de disponibilidade limitada e a qualidade boa desta água. As quantidades de água subterrânea que pode ser extraído facilmente no maior parte do território Moçambicana não são suficientes para regar áreas consideráveis. Alem disto há grandes zonas nas planícies dos rios grandes (Limpopo, Pungue, Zambézia etc), no interior da Gaza e Inhambane e nas zonas costeiras (Quelimane-Nicoadala) onde a água subterrânea é salgado. Há uma excepção onde a água subterrânea é uma fonte importante de rega para certas áreas. Este é o caso de machongos que são áreas turfosas circundadas com massivas de areia. Estas áreas têm uma rega natural por causa de água subterrânea originária de massivas de areia.

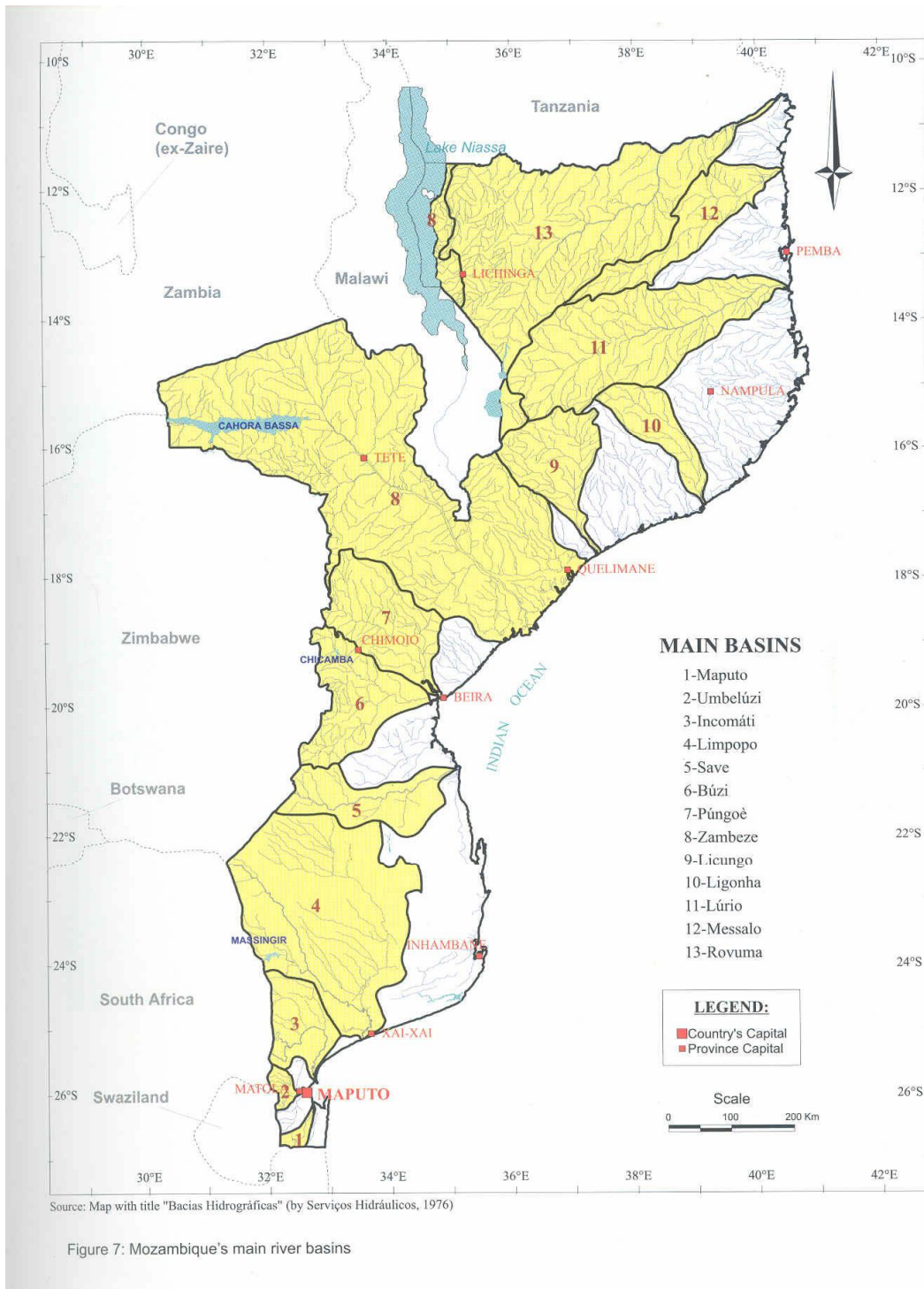
** Conclusões*

Das considerações em cima podemos concluir que:

- Há grandes quantidades de águas superficiais disponíveis no território Moçambicana
- A disponibilidade de água eh muito desigual no espaço. Nas regiões Centro-Norte há uma abundância relativa enquanto no Sul há uma escassez relativa. Há mesmo áreas onde a disponibilidade eh quase nulo como no interior da Gaza e Inhambane onde chove pouco e que eh uma área que não eh atravessada para rios permanentes. Isto implica que nesta área não há água para desenvolver a agricultura irrigada. A pouca água disponível se deve destinar em primeiro lugar para o consumo humano e do gado.
- A disponibilidade de água eh muito desigual na dimensão temporal. No tempo de chuva há frequentemente grandes quantidades (em excesso) de água durante o ano enquanto no tempo seco (Julho- November) muitos rios estão secas. Isto implica que se deve adaptar o padrão de culturas (culturas, áreas, calendário agrícola) a disponibilidade de água.
- O sul de Moçambique eh muito dependente da água com origine nos países a montante.
- Há uma paradoxa aparente no desenvolvimento de recurso de água em Moçambique. Exactamente na parte sul de Pais onde há escassez de água se necessita mais água (por causa do desenvolvimento) que em áreas com mais abundância de água.
- A importância de água subterrânea como fonte para rega eh limitado, excepto para pequenas áreas como hortas familiares e algumas áreas especificas nas províncias de Gaza e Inhambane ('Machongos').

Manual de Dimensionamento de Regadios

MAPA 2.3. Bacias hidrográficas dos Rios mais importantes

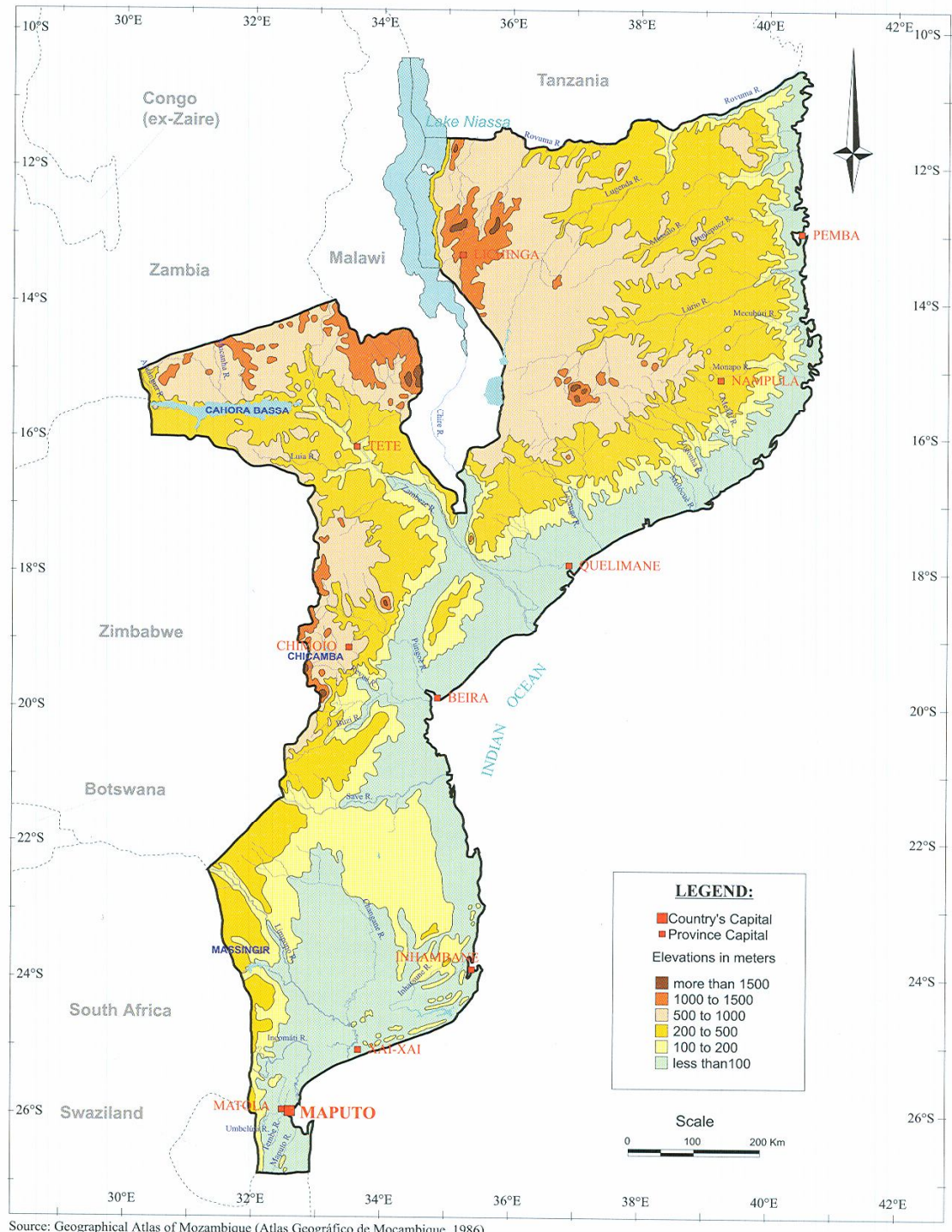


* *Topografia*

Manual de Dimensionamento de Regadios

No MAPA 2.4 apresenta –se o relevo do território Moçambicano. Pode-se distinguir claramente as planícies dos rios grandes e as áreas montanhosas.

MAPA 2.4 Relevo e Altitude



2.4. Paisagens Hidráulicas

Manual de Dimensionamento de Regadios

Cada sistema de irrigação é inserido num conjunto específico de condições naturais e recursos aplicados, que molda a sua forma, a tecnologia de rega e o seu funcionamento. Estes diferentes conjuntos específicos podem chamar Paisagens Hidráulicas.

As condições naturais que determinam uma paisagem hidráulica são de carácter hidrológico, topográfico e geológico.

Em Moçambique podemos distinguir claramente duas paisagens hidráulicas principais:

- As áreas montanhosas: grandes partes de províncias de Cabo Delgado, Niassa, Nampula, Zambezia, Sofala e Manica (veja FOTO 2.1)
- As planícies dos rios (grandes e pequenas) que atravessam o país de oeste para este: grandes partes de Maputo, Gaza, Inhambane, Sofala, Zambezia, Nampula e Cabo Delgado (veja FOTO 2.2)

FOTO 2.1 Paisagem Hidráulica de Zonas Montanhosas (Açude de Nintulo)



FOTO 2.2 Paisagem Hidráulica de Planície (Buzi)

Manual de Dimensionamento de Regadios



As implicações desta diferença em Paisagens Hidráulicas são:

- **Diferença em Tecnologias Hidráulicas**
Nas áreas montanhosas o açude é a tecnologia mais evidente para mobilização de água. O açude levanta o nível de água de tal maneira que pode entrar numa rede de canais abertos. O açude precisa de condições topográficas específicas. Há condições favoráveis que fazem o açude a tecnologia mais adequada nas montanhas: (pequeno) caudal permanente e possibilidade de fundar a parede na rocha. Excepto o açude de Macarretane que fornece água ao regadio de Chokwe, não se encontra nas planícies açudes porque a sua construção é complicada e custosa (não pode ser uma simples parede fixa mas precisa de comportas para evacuar cheias). A tecnologia para a mobilização de água nas planícies é normalmente a bomba que –como um açude– também levanta o nível de água para cima do nível de terreno para regar.
- **Diferença em investimentos no regadio**
Nos pequenos rios de montanhas os custos dum açude não são necessariamente mais altos que uma bomba. Os custos dum açude num rio de planície são muito mais altos que dum estação de bombagem, consideradas como peças de tecnologia. Mas isto não é necessariamente verdade quando calculado como custo por hectare.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- **Diferença em Custos de Exploração**
Os custos monetários de exploração dum bomba por unidade de água mobilizada são mais altos que um açude por causa de custos de combustível. Nas montanhas, os açudes nos pequenos rios permanentes quase não tem custos monetários.
- **Diferença em Organização de regantes**
A organização requerida de regantes para operar e manter um sistema de irrigação alimentado por um açude num pequeno rio permanente eh muito mais simples que um sistema de rega com motobomba (gasolina ou diesel). No primeiro caso quase toda operação e manutenção (limpeza de canais, escavação de sedimentos etc) pode ser realizada mediante mobilização de própria força trabalho dos membros da associação. Na organização esta mobilização directa eh complementado pelo controlo directa da presença de membros. A exploração dum sistema de bombagem com sua logística e custos monetários significa a divisão de tarefas, os membros tem que confiar certas tarefas e poderes a pessoas (especializadas p.e contabilista, operador motobomba etc) que eles não podem controlar directamente. Para um sistema de bombagem funcionar, isto requer certas condições de uso que devem ser presentes (Veja Capitula 3)

Alem dos dois paisagens hidráulicas principais distinguidos há bastante paisagens hidráulicas específicos. Alguns exemplos são:

- **Machongos (Gaza, Maputo, Inhambane)**

Machongos são áreas turfosas que são circundados com massivas de areia. Estas áreas têm uma rega natural por causa de água subterrânea originário de massivas de areia. Estes áreas férteis tem dois grandes problema:
- a manutenção dum certo nível de água nas valas. Não pode ser alto demais (problemas de crescimento de culturas) mas também não pode ser baixo demais (problemas com oxidação do solo que faz baixar o terreno).
- crescimento exuberante de vegetação nas valas. Na ausência de limpeza de valas, estas áreas tem grandes problemas de drenagem e ficam inundados com grandes chuvas.

- **Áreas com rega de maré doce (Chinde)**

O caudal do rio Zambeze eh ate agora tão grande (mínimo $\pm 1,000$ m³/seg) que na sua delta o maré eh doce. A ilha Makwandaia na delta tem uma elevação mais alto que a maré alta normal mas uma elevação mais baixa que a maré alta viva. Então, isto significa que este ilha recebe uma rega natural cada 14 dias nos períodos de ocorrência das mares vivos. Em outras áreas como Sombo também se pode aproveitar as mares doces para fazer uma rega por gravidade.

- **Áreas com Inundação controlado (Nante)**

No baixo Licungo há uma outra situação hidrológica excepcional. O rio Licungo tem a sua bacia de recepção no território nacional, principalmente nos distritos

Manual de Dimensionamento de Regadios

montanhosas de Milange e Gurue, os distritos com os maiores precipitações no País. A bacia de recepção reage rapidamente na precipitação. Na prática isto resulta em várias cheias (geralmente repentinas ou da curta duração) na estação de chuvas (Dezembro-Abril). O baixo Licungo, margem esquerda (Nante), eh protegido contra as cheias por diques. Por meio de comportas no dique eh possível de deixar entrar a água de cheias e regar por gravidade. Alem de ser possível de aproveitar instantaneamente a água de cheias, a área de Munda-Munda tem a condição excepcional de possuir uma grande reservatório natural (lagoas) c/ uma capacidade útil de $\pm 1,000,000$ m³ que pode ser utilizada para rega de gravidade.

2.5. Necessidades de Água de rega

Nesta secção vamos indicar umas regras empíricas e baseadas na experiência que são importantes na estimativa da água de rega necessária na fase de identificação.

As culturas precisam de água para o seu crescimento e desenvolvimento. O consumo de água duma cultura eh igual à transpiração desta cultura mais a evaporação da terra/do solo em que esta cultura esta estabelecida. A transpiração duma cultura mais a evaporação da terra eh definido como a evapotranspiracao duma cultura (ETc). Em caso que não há falta de água no solo, a evapotranspiracao duma cultura (ETc) eh máxima (ETm) ou potencial (ETp). Se não há outros factores limitantes (fertilidade, doenças, concorrência com infestantes etc) esta ETc máxima corresponde com o rendimento mais alto da cultura naquele lugar.

A necessidade máxima de água duma cultura podemos numa primeira aproximação estimar no ordem de grandeza da evapotranspiracao de referência (ETo). O conceito da evapotranspiracao de referência eh definido como “a evapotranspiracao duma grande superfície de erva de altura de 8 ate 15 cm que cobre completamente o solo e que não tem falta de água” (cultura de referencia).

A evapotranspiracao de referencia eh directamente determinado por a demanda evaporativa de atmosfera que na sua vez eh determinado principalmente por parâmetros climáticos (radiação solar, a temperatura, a humidade relativa de ar e a velocidade de vento).

A evapotranspiracao pode ser representado como uma camada de água que sai por unidade de tempo, expressado em mm/dia ou mm/mês. O ordem de grandeza de evapotranspiracao de referencia em diferentes regiões agro-climatologicas eh representado na TABELA 2.2.

TABELA 2.2. ETo para diferentes regiões agro-climaticos

	Temperatura media diária (°C)		
	< 10	20	> 30
	frio	moderado	quente
Regiões	ET _o (mm/dia)		

Manual de Dimensionamento de Regadios

TROPICOS Latitude 0 - 20°			
Húmido	3 - 4	4 - 5	5 - 6
sub-húmido	3 - 5	5 - 6	7 - 8
semi-arido	4 - 5	6 - 7	8 - 9
árido	4 - 5	7 - 8	9 - 10
SUBTROPICOS Lat. 20 - 40° Precipitação no Verão			
Húmido	3 - 4	4 - 5	5 - 6
sub-húmido	3 - 5	5 - 6	6 - 7
semi-arido	4 - 5	6 - 7	7 - 8
árido	4 - 5	7 - 8	10 - 11
Precipitação no Inverno			
(sub)húmido	2 - 3	4 - 5	5 - 6
semi-arido	3 - 4	5 - 6	7 - 8
árido	3 - 4	6 - 7	10 - 11
TEMPERADOS Lat. 40 - 60°			
(sub)húmido	2 - 3	3 - 4	5 - 7
(semi)-árido	3 - 4	5 - 6	8 - 9

Nota: os valores **marcados** são representativos para Moçambique

Esta tabela mostra claramente que a evapotranspiração é dentro de limites bastante estreitos. Em Moçambique a evapotranspiração de referência se encontra na faixa entre 3 (Junho-Julho) e 7 (Outubro-Novembro) mm/dia.

* Ordem de Grandeza de necessidades de água e necessidades de rega

A consumo de água (evapotranspiração potencial) dum campo com culturas regadas anda em Moçambique *entre 3 e 7 mm/dia*, dependente da época do ano. Um razoável média é à volta de *5-6 mm/dia (Agosto-Setembro)* que corresponde com 50-60 m³/ha/dia. Com perdas de infiltração e de aplicação (infiltração profunda e/ou escoamento superficial) a volta de 50-70 % da evapotranspiração (rega por gravidade), a necessidade de água de rega na época de estiagem (praticamente não há precipitação) anda a volta de *8.5-9 mm/dia* que aproxima *um caudal contínuo fictício de 1 litro/segundo/ha*. No caso de rega complementar de arroz (incluídas as necessidades especiais de saturação de solo etc) no período de chuvas, também este valor do caudal contínuo fictício (1 litro/seg/ha) é uma boa aproximação de necessidades de rega.

Em caso que se rega com uma bomba durante 12 horas por dia, um caudal contínuo fictício de 1 litro/segundo/ha corresponde com um caudal de 2 l/seg/ha.

Manual de Dimensionamento de Regadios

PRIMEIRA APROXIMACAO DA NECESSIDADE DE REGA

Numa primeira aproximação se pode tomar 1 litro/seg/ha como caudal contínuo de dimensionamento para cobrir as necessidades de rega nas condições prevalentes em Moçambique. Em caso de regar só 12 horas/dia uma bomba pode ser dimensionada com um caudal de 2 l/seg/ha.

Na pratica isto implica que se sabe o caudal dum fonte de água se pode fazer um primeira estimativa da área de rega, por exemplo um riacho com um caudal mínimo permanente de 25 litros/seg tem um potencial de rega de aproximadamente 25 ha, supondo que se usa todo o caudal permanente. Em caso que somente se rega de dia (12 horas/dia) se pode regar 12.5 hectares. Em caso que a água que corre durante a noite pode ser armazenada num reservatório, a superfície de rega pode ser duplicada.

Unidades e Conversões

1 litro/seg/ha = 86.4 m³/dia/há = 8.64 mm/dia (para derivação veja ANEXO 1).

8 mm/dia = 80 m³/ha/dia = 240 mm/mês = 2400 m³/ha/mês.

Atenção

Neste caso (caudal mínimo de 25 l/seg) a capacidade de bomba deve ser adaptada a esta caudal. Se instalar uma bomba que ultrapassa este caudal a bomba no período seco não pode trabalhar. Se quiser utilizar o caudal do rio também fora do período de estiagem eh melhor de instalar mais unidades de bombagem.

* Comparação necessidades de água de rega vs necessidades de consumo humano

A quantidade de água necessário para rega eh muito maior que as necessidades de consumo de outros usos. Por exemplo, se supnhamos que o consumo media duma pessoa eh 100 l/dia, a necessidade de rega de um hectare de culturas pode ser comparada com o consumo duma comunidade de 850 pessoas. Esta diferença grande nos diferentes consumos eh muitas vezes uma fonte de confusão. Uma pequena fonte de água p.e com um caudal de 1 litro/seg serve para o consumo de muitas pessoas mas somente para uma pequena área de rega. Muitas vezes a disponibilidade de água eh sobre estimada.

2.6. Recursos de água

Nesta secção analisamos as fontes de água e as suas propriedades/características, os usos e direitos, métodos de análises e medição de recursos de água.

Fontes de água

Na TABELA 2.3 são apresentados as fontes potenciais de água para irrigação e as suas características.

TABELA 2.3 Características das Fontes de Água

Manual de Dimensionamento de Regadios

Características	Grandes Rios	Pequenos Rios Permanentes	Rios Efémeros	Lagoas naturais e artificiais	Água Subterrânea
Caudal e Disponibilidade	Muito variável (a)	Variável (b)	Muito Variável (c)	disponibilidade fixa (d)	Pequeno mas relativamente constante (e)
Ocorrência de Cheias/ inundações	++++	+ (f)	++++	n.a.	n.a.
Qualidade: Salinidade	No troco baixo do rio (g)	-	No troco baixo rio	-	Variável (h)
Sedimentos	No Tempo de chuva	Tempo de chuva (g1)	Tempo de chuva	n.a.	n.a.
Meias de Extracção	Moto/electro bombas (j)	Açude	bomba	Moto/electro bomba	Bomba
Investimento					

Notas:

(a): Depende do rio. O R. Zambeze tem sempre um grande caudal (mínimo ≈ 1000 m³/seg) por causa de água permanentemente turbinado na Cahora Bassa, não há limitações de disponibilidade de água; R. Pungue e R. Licungo têm grande variabilidade (inter-anual e dentro do ano) mas tem ainda um caudal de base considerável; Caudais dos rios no sul (Limpopo, Incomati, Umbeluzi, Maputo) são muito variáveis (inter-anual e dentro do ano) mas os caudais no tempo de estiagem são fortemente determinados pela operação de barragens nacionais (Massingir, Corumane, Pequenos Libombos) e internacionais (Africa de Sul, Suazilândia)

(b): Rios de Montanha: grande variabilidade, por exemplo o rio Lituwa (perto de Lioma) tem uma variação no caudal de 0.15 m³/s – 70 m³/s. Rios alimentado por infiltração de massivos de areia cheio de água subterrânea (R. Bobole, R. Lumane) não tem tanto variabilidade nos caudais.

(c): No tempo de estiagem não corre nenhum água neste tipo de rios (normalmente tem poços ou bolsas de água no leito do rio), no tempo de chuva podem ocorrer cheias (por exemplo o Caudal de cheia no R. Licuari eh a volta de 4,000 m³/s); grande variabilidade inter-anual e dentro do ano.

(d): Normalmente as lagoas naturais se enchem ate a capacidade máxima ate o fim do tempo de chuva. Esta capacidade eh mais ou menos fixo e pode ser utilizado para rega (veja EXERCISIO 3). Nos planícies há muitas lagoas naturais que são normalmente antigos braços do rio. Exemplo lagoas artificiais: câmaras de empréstimo para construção ou actividades industriais (lagoas de Mandruzi feito pelo fabrica de cimento de Dondo)

(e): Normalmente se pode extrair de poços e furos somente pequenas caudais a volta de 0.5-2 l/s (um excepção forma a água artesianas numa profundidade de 20-30 m em baixo de planície de Macia, alimentado pelo grandes massivos de areia na região de Macia-Bilene).

(f): Normalmente os caudais de cheio nos rios de montanha não causam inundações locais.

(g): Intrusão salina se verifica nos trocos baixos/ deltas dos rios, algumas vezes ate 70-80 km de foz (Limpopo, Incomati). A língua salina pode ser combatido por meio de caudais mais altos de montante que custa água de albufeiras.

Manual de Dimensionamento de Regadios

(g1): O carga de sedimentos nos rios de montanha pode ser muito grande, não só de areia mas ate de pedra. Por causa disto a barragem tipo Tirol ou Caucasião as vezes eh o mais indicado.

(h): A maior parte da água subterrâneo nos planícies dos rios tem salinidade alto e não se pode utilizar para rega e/ou consumo humano e/ou consumo de gado.

(i): Nos grandes rios se pode também construir açudes que permitem de fazer grandes regadios par gravidade. Estes açudes tem que ser munidos com comportas de cheia como no açude de Macarretane (regadio de Chokwe). Contudo, estas obras são muito caros (comparável com custos para a construção de pontes grandes como a ponte de Caia).

Pode-se concluir que para rega em Moçambique os cursos superficiais de água são quase os únicos fontes para rega. Água subterrânea tem pouca importância para desenvolvimento de regadio (mas água subterrânea tem grande importância como fonte para consumo humano). As fontes menos custosos para desenvolver regadio são os pequenos rios permanentes de montanha. Basta um açude de dimensões limitada no rio para derivar a água por gravidade num sistema de canais.

Nos rios de planícies construir açudes eh muito mais custoso por causa de ocorrência de inundações. Se quiser evitar ou diminuir estes eh necessário de equipar um açude com comportas de cheia (compare Açude de Macarratane) e/ou construir diques de defesa a montante.

Entretanto nos rios de planícies o meio de extracção de água mais utilizado eh a moto/electro bomba. Os custos de investimento são muito mais baixos que um açude mas os custos de exploração (consumo de combustível) são mais altos.

O potencial de regadio depende da grandeza /tamanho do caudal e a sua variabilidade. O potencial depende também de adaptação de padrão de culturas ao padrão de disponibilidade de caudal e a presença de estruturas de armazenamento.

Disponibilidade de Água

Algumas métodos simples para medição de caudais são tratados no ANEXO 2.

* *Rios*

A disponibilidade de água no tempo e espaço eh a propriedade mais importante para o dimensionamento de sistemas de irrigação.

No enquanto, a disponibilidade num rio tem em geral uma grande variabilidade no tempo porque a disponibilidade de água tem uma forte relação com a precipitação. Primeiro, a disponibilidade de água tem uma variabilidade dentro do ano hidrológico; no tempo de chuva os caudais são grandes, no tempo seco os caudais diminuem fortemente, frequentemente ate zero. Segundo, há uma grande variabilidade entre os anos.

Para o dimensionamento de regadios eh indispensável de definir um caudal confiável. A caudal confiável é definida como o caudal mínimo que pode ser esperado ou

Manual de Dimensionamento de Regadios

ultrapassado com certa probabilidade. Para determinar o caudal confiável necessita-se fazer um análise da variabilidade de caudal. Um método simples para analisar a variabilidade de caudal e determinar o caudal confiável com diferentes probabilidades (níveis de risco) encontra-se no ANEXO 2 (Veja também EXERCICIO 3).

Os valores mensais do caudal confiável são elementos indispensáveis para adaptar o padrão de necessidades de água (dependente do padrão de culturas) ao padrão de disponibilidade de água.

* *Lagoas*

Sobre a quantidade de água que é disponível numa bolsa de água num rio, numa represa ou numa lagoa, há geralmente ideias erradas. Quantas vezes não se pode ouvir a expressão “Aquele água nunca seca” que leva muitas vezes a sobre-estimar a disponibilidade destas fontes de água

Na base deste sobre estimação da disponibilidade de água foram feitos muitos investimentos (bombas, represas etc) que tem pouco sentido e nenhum proveito

Para estimar a disponibilidade de água numa fonte de água há um instrumento fundamental analítico que é a balança de água que é específico para cada sistema natural ou construído.

A balança de Água ou lei de conservação de massa é baseado na seguinte equação simples:

$$\text{Água que entra} = \text{Água que sai} + \text{mudança no armazenamento}$$

Esta equação é válida para todas as escalas de tempo e espaço qualquer período considerada.

No ANEXO 2 trata-se o conceito da balança de água em mais pormenor. Os exemplos no ANEXO 2 ilustram o uso deste conceito (Veja também EXERCICIO 4)

* *Água subterrânea*

Dum poço ou furo raramente se pode extrair um caudal contínuo mais que 2 litros/seg. Por causa de disponibilidade limitada, a água subterrânea serve em primeira lugar para o uso e consumo humano. Também pode servir para regar pequenas hortas.

É possível de fazer um ensaio simples para determinar o rendimento dum poço. Nota-se o nível de água antes de extrair. Depois de extrair certa quantidade medida de água se nota o nível de água. Nota-se o tempo que leve para o nível de água chegar ao nível original. O rendimento do poço é igual ao quantidade de água extraído dividido por o tempo de remonta. Por exemplo, se 1 m³ é extraída e o nível de água leve 2 horas para recuperar, o rendimento do poço é a volta de 0.5 m³/hora.

Manual de Dimensionamento de Regadios

A posição da motobomba merece uma menção especial. Em muitos lugares nas margens dos rios a amplitude entre níveis baixos (o mais relevante para a irrigação) e níveis elevados (cheias) é mais do que a altura máxima da sucção da bomba. Assim não é possível de posicionar a bomba numa posição fixa acima do nível de cheia mais elevada. Consequentemente a unidade da motobomba deve ser móvel ou poderia ser ficado situada abaixo do nível da cheia desde que é equipado com um mecanismo que pode levantar o motor acima do nível da cheia ou a motobomba deve ser colocado numa estrutura à prova de água.

Cheias

Num lugar onde se quer criar um sistema de irrigação é crucial de conhecer a frequência, duração e níveis de cheias, principalmente nos planícies. O nível máximo de cheias determina o nível da base de colocação da bomba, o nível de (eventuais) diques de protecção e da altura dos canais de rega. Um outro variável importante é o amplitude entre o nível mínimo e nível máximo de água no rio (veja FOTOS 5.3 e 5.4) . Se este amplitude atinge 5-7 metros a altura máxima de sucção da bomba pode ser ultrapassado. Em caso que se pretende de regar todo ano com bomba, é necessário de adaptar o nível da bomba ou da estação de bombagem . As duas possibilidades são:

- Colocar a base da bomba em baixo do nível máximo da cheia . Isto significa que a bomba fica numa cave que deve ser impermeabilizada ou se deve montar um dispositivo (guincho) que permite de levantar o motor (eléctrico ou de combustível) em cima do nível de cheia.
- Fazer a motobomba móvel

Manual de Dimensionamento de Regadios

FOTO 2.3 Nível mínimo do rio Licuari (Novembro 2006)



Manual de Dimensionamento de Regadios

FOTO 2.4 Nível de cheia do R. Licuari (Janeiro 2007)



Qualidade de Água

A salinidade é o parâmetro principal na avaliação da qualidade da água para rega. A condutividade eléctrica da água (EC_w) fornece uma indicação rápida da salinidade. Se a $EC_w < 1$ [dS/m] a água é apta para a maioria de culturas em condições normais. Água com uma condutividade de $EC_w > 3$ [dS/m] não é apta para rega.

Observação

A Salinidade, expressado em [mg/litro], é directamente proporcional com a condutividade eléctrica da água

EC_w = condutividade eléctrica da água de irrigação [dS/m ou mmhos/cm]. A condutividade eléctrica é directamente proporcional com a salinidade expressado em [miligrama/litro],

Nota: No intervalo de 0.1 até 5 dS/m é válido a seguinte aproximação: 1 dS/m \approx 640 mg/litro.

A REFERENCIA 30a trata numa maneira muito clara os aspectos relevantes da qualidade de água para a agricultura

Manual de Dimensionamento de Regadios

A quantidade de sedimentos na água é importante para avaliar as necessidades de limpeza dos canais. Uma grande concentração de sedimentos na água de rega implica a mobilização de uma considerável força de trabalho.

Usos e direitos

Na identificação da disponibilidade de água para rega se deve tomar em conta os usos e direitos actuais (e futuros) de água. Já podem existir direitos tradicionais de água (estabelecidos no passado) a jusante e a montante. Também existe um Lei de Água. Não se sabe que este lei é aplicado e como. Também não está claro que mantém este lei. Excepto no Sul, em grandes partes do país não há escassez de água de rega.

Os usos e direitos locais de água podem incluir:

- Consumo e uso de Água doméstica
- Consumo e uso de água para gado
- Irrigação já existente
- Água para pesca
- Água para caça
- Usos industriais
- Manter condições ecológicas mínimas (caudal ecológico)

2.7. Topografia

A posição do terreno no paisagem, o relevo (inclinação) do terreno, a altura de terreno p/regar em cima da fonte de água, e a rede natural de drenagem são factores críticos para julgar a aptidão para irrigação.

O Relevo do terreno e a sua regularidade (plano, ondulado, montanhosa dissecada) e uniformidade determinam a área que pode ser regada, os métodos de rega a aplicar e a altura de canais em caso de métodos de rega por gravidade. Os terrenos com uma inclinação uniforme < 1 (vert):50 (hor) são os melhores terrenos para ser adaptado ao regadio.

Em caso de rega por gravidade a altura de terreno em cima da fonte de água (mínimo, media, máximo) determina a altura de bombagem e os custos de bombagem.

A rede natural de drenagem é um determinante na configuração da rede dos canais de rega. Se deve evitar no possível de cruzar a rede de rega com a rede de drenagem.

No caso de planícies há necessidade de protecção de cheias por meio de diques de defesa. Em caso que isto não é possível deve-se pensar em alternativas para mitigar os efeitos de cheias.

A experiência do SSIP mostra que o levantamento topográfico é uma actividade crítica em que muitos problemas podem ocorrer, principalmente de qualidade. Particularmente nos sistemas de irrigação tipo 1 e tipo 3, esta qualidade é essencial. Se o levantamento

Manual de Dimensionamento de Regadios

topográfico não for feito com qualidade, o risco existe que os níveis de água nos canais não são bastante elevados para regar todas as parcelas ou são mais elevados do que necessários que implica custos mais elevados de investimento e de exploração. Um controle elementar do levantamento topográfico por o técnico de dimensionamento necessita pelo menos um controle dos níveis dos marcos de referência indicados pelo topógrafo. A qualidade do levantamento topográfico é crucial para a qualidade de dimensionamento dum sistema. No ANEXO 3 se trata com mais pormenores os aspectos mais importantes de topografia e o seu levantamento no espectro de dimensionamento de sistemas de rega.

2.8. Solos

Fora de algumas excepções (solos salinizados etc.), a avaliação de características dos solos no dimensionamento não é crítica. A aptidão para o cultivo pode ser avaliada facilmente observando as culturas que são cultivadas na área, entrevistas com produtores e fazer alguns perfis no solo com uma sonda. Esta última actividade dá uma informação sobre a textura do solo, a presença de camadas duras e a profundidade do nível freático

As propriedades de solos mais importantes para adaptação a rega são:

- A textura que determina as características da capacidade do armazenamento de água
- A Profundidade de solo e presença de rochas e camadas duras no perfil. A rega por métodos superficiais necessita uma profundidade mínima de 50 cm.

Estas características são factores determinantes para a aptidão de culturas e de programação e distribuição de rega como explicado em CAPITULO 3.

2.9. Organização social de regantes

A organização social é um factor decisiva no desempenho de irrigação e tem muitas implicações. A organização social não será discutido em profundidade neste manual que tem principalmente um carácter técnica mas queremos salientar algumas aspectos importantes. Também nas CAPITULOS 3 e 12 são tratados vários aspectos.

*** Regadio individual vs Regadio colectivo**

Sem dúvida a gestão dum regadio individual é menos complicado que a gestão dum regadio colectivo. Além disso, normalmente se forma uma associação para receber apoios, uma estratégia que é estimulado por o próprio governo. É duvidosa se esta razão é uma base suficiente para formar e fortalecer associações. Pelo menos vai contra O objectivo dum associação de regantes que é a autogestão do regadio. Também esta razão conduz a associações muito heterogéneos aonde os membros tem interesses diferentes e as vezes contrários. Há também associações privados onde na prática só há um proprietário e o resto de membros estão ali para o Inglês ver.

*** Elementos necessários para a identificação e o dimensionamento de regadios**

Manual de Dimensionamento de Regadios

Experiência de rega
Numero de beneficiários/ famílias
Área de rega por beneficiário
Direitos/títulos de terra

* Factores e recursos limitantes

Na introdução de irrigação podem surgir uma série de outras factores que limitam o desempenho de irrigação. A irrigação estimula o crescimento de infestantes que concorrem com as culturas sobre a água e nutrientes disponíveis. Há necessidade de mais e melhores cuidados agronómicos como a monda e preparação de terra. Isto e outros actividades implica muito mais trabalho. Um outro factor limitante que ocorre frequentemente eh a fertilidade de solo. Muitos solos já estão a produzir muitos anos sem adubação, estão a empobrecer. A rentabilização de irrigação implica em muitos casos adubação. Eh muito questionável de instalar regadio quando outros factores mais limitantes não são removidos.

*Irrigação como instrumento de intensificação

Na perspectiva de sistemas agrárias ou de desenvolvimento, a irrigação pode ser considerada uma estratégia de intensificação de uso de terra e que requer muito mais trabalho. Um hectare de hortícolas intensivamente cultivado precisa a volta de 5 trabalhadores. Por outro lado, o factor limitante no desenvolvimento dos sistemas agrárias actuais no sector de pequenos produtores é a produtividade de trabalho (produção/hora de trabalho ou valor de produção por trabalhador). A irrigação como tecnologia pode ser considerada um meio para aumentar a produtividade de trabalho e no mesmo tempo um meio para aumentar a produtividade de terra. Como qualquer tecnologia, a irrigação implica um instrumento e o conhecimento como utilizar este instrumento (condições necessários de utilização).

Porem, na medida em que os instrumentos ficam mais produtivos (maior produtividade de trabalho), as condições que são necessários para sua utilização (conhecimentos, organização, custos monetários) também aumentam quer quantitativamente que qualitativamente. Cada tecnologia tem certos requisitos para o seu uso. O tecnologia dita as condições necessárias para o seu uso eficaz. Por exemplo a utilização duma motobomba exige a disponibilidade de dinheiro vivo dos regantes, quer por recursos próprios quer por meio de crédito. Isto significa uma transformação profunda: de camponês de subsistência a pequeno produtor comercial. Uma parte da produção tem que ser vendido para custear as despesas referente a operação e manutenção do sistema de irrigação. A gestão colectiva dum regadio requer também uma transformação na organização com divisão de trabalho (contabilidade, operação e manutenção de equipamento de irrigação etc) e controlo indirecto.

Um problema que foi encontrado frequentemente na fase de identificação de regadios no quadro do projecto SSIP eh o incógnito sobre o real interesse que os futuros regantes tem na aproveitamento do regadio. Houve casos que o regadio construído nem foi utilizado.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Para minimizar estes problemas se deve desde principio fazer um contrato com as obrigações de cada parte. A própria contribuição dos regantes nas diferentes fases do projecto e principalmente na construção serve como um teste de interesse real dos futuros regantes.

2.10 Factores externos e contexto envolvente

Deve haver factores favoráveis no meio envolvente que podem rentabilizar o regadio e que os produtores podem aproveitar. Não vale a pena de criar um sistema de regadio sofisticado com muitos custos de operação e manutenção numa área isolado com acesso difícil a rede viária e mercados.

Os factores principais no contexto envolvente são:

- Mercados p/ comercialização da produção.

O caso de sucesso das zonas verdes na vala de Infulene mostra claramente a importância do factor mercado

- Mercados de insumos

A água de rega pode-se aproveitar melhor em combinação com a aplicação de outros insumos

- Presença de infra-estruturas de processamento

- Um sistema de credito acessível

- Estradas de acesso

- Presença de rede eléctrica

- Investigação e extensão agrária

3. CONCEITUALIZACAO DE DIMENSIONAMENTO E FACTORES CRITICOS

3.1. Conceitualização e abordagem de dimensionamento

3.1.1 O conceito dum sistema de irrigação como um instrumento sócio-técnico

No contexto do processo de produção agrícola, um sistema de irrigação pode ser definido como *um instrumento socio-técnico* para o fornecimento da água às culturas a fim de diversificar e aumentar a produção agrícola na quantidade e/ou na qualidade. Como qualquer instrumento, um sistema de irrigação necessita ser operado numa maneira determinada a fim de conseguir os resultados desejados. Um sistema de irrigação não funciona automaticamente mas necessita a intervenção humana para ser operado e reproduzido. Além disso, um sistema de irrigação para camponeses tem um carácter socio-técnico: não pode ser controlado individualmente, mas só colectivamente que implica a necessidade dum forma da organização social.

Neste manual, a abordagem do dimensionamento da irrigação parte da concepção acima descrito dum sistema de irrigação. Isto implica que:

- O dimensionamento de um sistema de irrigação deve ser relacionado com o uso e gestão futuro do sistema. Particularmente a distribuição de água dentro dum sistema tem uma ligação directa com a maneira como o sistema é dimensionado (veja por um exemplo, FIGURA 3.1).

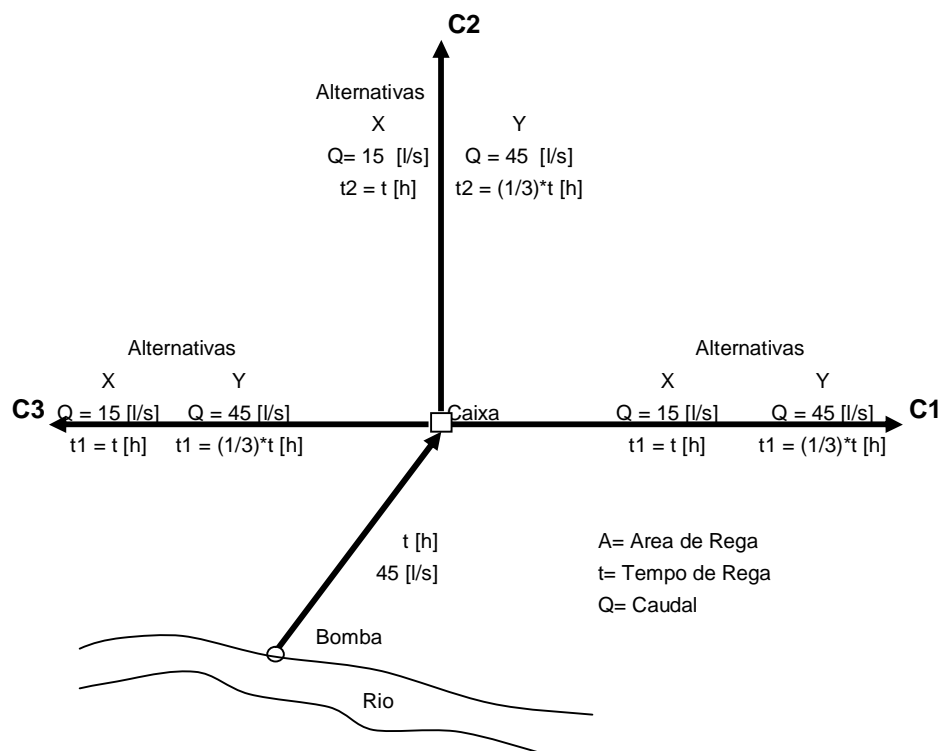
- O dimensionamento do regadio deve facilitar e fazer possível a construção de regadios por aplicação de métodos simples de construção e com minimalizacao de custos.

-O dimensionamento da irrigação deve servir ao objectivo de criar sistemas com baixos custos de exploração que são apropriados para ser geridos colectivamente para os próprios usuários

Um dimensionamento apropriado é uma *condição necessária* para realizar o potencial produtivo dum sistema. Porem, não é uma *condição suficiente* ou garantia para o uso proveitoso dum sistema. O uso que é feito dum sistema depende de muitos factores contextuais e internos tais como o acesso aos mercados e ao crédito, a organização social dos usuários da água e os cuidados e praticas agrícolas existentes (se não há sacha suficiente rega-se e aduba-se o capim!).

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 3.1 Exemplo da Relação entre Distribuição de Água e Dimensionamento



Nota: Os canais C1, C2 e C3 servem cada um a mesma superfície de rega $((1/3)*A)$

Este exemplo simples mostra claramente a relação entre a distribuição de água e o dimensionamento do sistema. Na alternativa X, a caixa de distribuição divide o caudal de bomba em 3 partes iguais sobre os canais de distribuição C1, C2 e C3 (15 [litro/seg] para cada canal). Isto implica que os tempos de operação dos canais são os mesmos. Na Alternativa Y cada canal de distribuição recebe todo caudal da bomba (45 [l/s]) rotativamente durante um terço de tempo que a bomba funcione. Isto significa que só um único canal de distribuição recebe a água no mesmo tempo. As implicações para o dimensionamento são os seguintes:

- Na alternativa X os canais de distribuição dimensionam-se para um caudal de 15 l/s
- Na alternativa Y os canais de distribuição dimensionam-se para um caudal de 45 l/s

3.1.2 Os princípios principais do dimensionamento

O dimensionamento de sistemas devem partir dos princípios de custos baixos do O&M, de uma distribuição transparente da água e uma maneira simples de compartilhar os custos, particularmente no contexto da irrigação de pequena escala com recursos financeiros escassos e uma habilidade de gestão limitado que é requerida para operar e manter os sistemas.

Isto conduz aos seguintes princípios gerais do dimensionamento:

- O dimensionamento de regadios deve visar uma distribuição de água simples, transparente e confiável. Isto implica que o dimensionamento do sistema de irrigação deve permitir que os usuários recebam a água no tempo certo e em quantidades

Manual de Dimensionamento de Regadios

suficientes numa maneira confiável que esteja clara para os usuários. A distribuição da água é baseada em princípios simples como a operação contínua dos canais e a entrega de água por rotação ao nível de parcelas.

- O dimensionamento de irrigação deve visar custos baixos de operação, de manutenção e de gestão, particularmente custos monetários. Isto implica uma preferência para um sistema de gravidade (por meio de açude). Em caso que é necessário o uso de bombas, isto implica a selecção dos sistemas com métodos da irrigação de superfície (bacias, sulcos) ou métodos da pressão baixa (mangueira) e a selecção das bombas eficientes (Veja CAIXA 3.1). A irrigação de aspersão com custos elevados de bombagem é usada somente nas culturas com rendimentos elevados, riscos limitados (doenças de culturas etc.) e com preços estáveis como, por exemplo, o açúcar.

- O dimensionamento de sistemas de irrigação deve facilitar o uso de sistemas simples de compartilhar os custos de exploração. Isto implica que os critérios de compartilhar os custos devem ser baseados em parâmetros simples a medir como p.e. tempo, área, e a divisão fixa do caudal e não em base de medições de caudal. Isto simplifica as exigências organizacionais e minimiza os custos de registro, de controlo e de colecção de taxas de exploração.

- O dimensionamento deve visar custos mínimos da construção (construção por empreiteiros ou/e pela administração directa) que tomam em conta os recursos e métodos disponíveis da construção.

3.1.3 Opções Técnicas de Dimensionamento

Os princípios acima descritos de dimensionamento podem ser traduzidos nas seguintes opções técnicas do projecto:

- Dividir a área de rega em blocos de rega manejáveis: blocos pequenos da irrigação de 5-10 ha (vegetais) a 20 ha (arroz).

- Uma divisão fixa e proporcional do caudal da fonte entre os blocos de rega (caixas de distribuição equipadas eventualmente com portas tudo ou nada ('on-off') que podem ser usadas no caso dum caudal disponível limitado). Isto limitará as exigências operacionais, fará a divisão de água entre blocos transparente e facilitará a organização de usuários da água.

- Rotação de um caudal manejável ('main d'eau') entre os usuários dentro dum bloco de irrigação.

- Cada obra tem que ser escolhido conforme o serviço que tem que fazer na operação de rega. Isto implica que as obras da distribuição são dimensionadas de acordo com as exigências operacionais da distribuição prevista da água. Por exemplo, a divisão de caudal sobre os canais de distribuição implica o uso de vertedores nas caixas de distribuição que dividem a água que entra na caixa em proporções fixas. A entrega por

Manual de Dimensionamento de Regadios

rotação do caudal do canal da distribuição implica tomadas simples para as parcelas e nos canais estruturas simples de comportas equipados com portas tudo ou nada ('on-off').

- Método da irrigação preferencial: irrigação de bacias (com ou sem sulcos) ou/e sulcos horizontais curtos em caso de irrigação de superfície.
- No caso da irrigação com bomba a capacidade requerida da bomba podia ser dividida em mais unidades. Isto impedirá uma perda total da colheita em caso duma avaria de uma das bombas e permite uma certa flexibilidade (necessidades altas vs necessidades baixas de irrigação).
- Para proporcionar flexibilidade na operação, a infra-estrutura da irrigação (canais do transporte, canais da distribuição e estruturas) pode ser dimensionada para caudais máximos no sistema e vertedores nas caixas de distribuição podem ser equipados com portas tudo ou nada.
- Para economizar nos custos de investimento e nos custos da operação a eficiência da bomba necessita ser pelo menos 70%

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 3.1 Situação de bombas de rega em Moçambique

Não é um exagero de afirmar que a grande maioria das bombas da irrigação instaladas no sector dos pequenos e médios agricultores está mal ajustada ao trabalho para que são pretendidos. Os seguintes exemplos, frequentemente encontrados ilustram esta afirmação:

- Bombas instaladas numa área pequena mas com um caudal grande que é muito difícil de dividir em unidades de caudal maneável sem a utilização de bastante força de trabalho
- Bombas que fornecem um caudal demasiado pequeno para a área que é pretendida de ser irrigada
- Bombas de alta pressão que fornecem água aplicada pelos métodos de rega superficiais
- Bombas com eficiências baixas que consomem mais energia do que necessária (se equipados com bombas eficientes)
- Bombas acopladas a motores c/ uma potencia demais grande que consomem mais energia do que necessária e que representam um investimento mais caro do que necessário
- Bombas com um caudal demasiado elevada que a fonte de água não pode fornecer.
- Combinações incorrectas da bomba e do motor. A potencia absorvida e velocidade de bomba (revoluções por minuto: rpm) por um lado e a potencia disponível e a velocidade de motor (rpm) por outro lado são mal ajustadas. Isso conduz a motores sobrecarregados e/ou às bombas que estão a funcionar com eficiência baixa.
- Bombas que não estão a funcionar porque os acessórios e a tubagem necessários não são fornecidos

Estes exemplos de bombas mal ajustadas às condições locais, implicam um investimento inicial, custos de exploração e custos de reparação muito mais elevados do que necessários.

Dois problemas principais podiam ser identificados para explicar esta situação. Primeira, a falta tremenda de conhecimento e técnicos qualificados de irrigação em relação ao dimensionamento de irrigação em geral e a selecção de unidades de bomba em particular. Bombas são requisitadas normalmente com especificações vagas como, por exemplo, “uma bomba de 3 polegadas” ou o “um motor com 2 cilindros”.

O segundo problema é a ideia geral dos responsáveis pelas decisões e aquisições que em encomendar bombas tudo vai, critérios técnicos na selecção da bomba e motor são ignorados. Particularmente agora, nos distritos com o seu orçamento anual de sete milhões do Metical a gastar, há uma pressão grande de fazer algo na esfera produtiva. Então, é fácil de comprar rapidamente qualquer bomba no mercado. A questão se e como é possível de utilizar esta bomba numa maneira produtivo, é considerada uma pergunta secundaria. Este procedimento é completamente errado. Devia ser o contrário: primeira tem que identificar uma área de irrigação e fazer um (pré) dimensionamento, então a selecção da bomba seja o resultado do (pré) dimensionamento. Este processo precisa de mais esforço e tempo mas o resultado final é uma unidade de bomba eficiente que é adaptada à área específica da irrigação e que é menos cara no investimento e nos custos de exploração.

Manual de Dimensionamento de Regadios

3.2. Tipos de sistemas de irrigação da pequena escala

Nesta secção a aptidão e as características de tipos diferentes de sistemas de irrigação da escala pequena serão consideradas. Relacionado com a tecnologia aplicada -tomando em conta as considerações em secção 3.1 os seguintes tipos de sistemas de irrigação serão distinguidos:

1. Unidade de bombagem + canais/linhas de tubagem +irrigação com métodos superficiais de rega
2. Unidade de bombagem+ linhas de tubagem + hidrantes + mangueiras
3. Rega por gravidade: Represa/açude + canais/linhas de tubagem + irrigação de superfície de parcelas
4. Irrigação de aspersão: Unidade da bomba + tubos +hidrantes+ aspersores
5. Irrigação gota-a-gota: Unidade de bombagem + filtros + tubos + linhas gotejadores
6. Bomba pedestal
7. Irrigação com baldes e regadores

O sistema de irrigação tipo 1 é utilizado tipicamente em planícies dos rios com um relevo plano e regular. Os sistemas de irrigação tipo 1 e o tipo 3 são os únicos que são aptos para a irrigação do arroz. A água de rio é levantada por electro ou moto bombas de pressão baixa (Altura manométrica: Hman 5-15 m). A água é bombeada por uma rede dos canais com funções do transporte e/ou de distribuição. A distribuição de água entre canais é realizada por caixas de distribuição, canais de distribuição equipados com comportas, uma distribuição rotativa as parcelas e tomadas de parcelas. O dimensionamento deve garantir que o nível de água nos canais e as tomadas de parcelas é suficientemente elevado para cobrir as parcelas irrigadas. O usuário da água é responsável para a configuração de sua parcela (divisão da parcela em unidades da irrigação, bacias e sulcos, canais do campo, nivelamento micro e meso) de tal maneira que a água de rega pode ser aplicada eficientemente. O caudal da bomba é dividido num determinado número de caudais manejáveis que correspondem a um número igual de canais de distribuição e de blocos respectivos da irrigação. O caudal manejável do campo (5-15 l/s pelas culturas hortícolas a 20-40 l/s pelo arroz) deve ser suficiente para cobrir o campo inteiro, mas não tão grande que o caudal não pode ser manejado eficientemente pelo um ou dois regantes. Em caso de caudais pequenos de operação (<20 l/s) deve ser considerada a alternativa de substituir a rede de canais (revestidos ou não revestidos) completamente ou parcialmente por linhas de tubagem.

O sistema de irrigação tipo 2 é apto para todas as culturas (excepto o arroz) e todos os tipos de terras, particularmente com uma topografia irregular ou ondulada, onde há uma fonte de água de confiança com um caudal suficiente. O caudal do rio é levantado por bombas de pressão média (Hman 15-25 m). A água é bombeada a uma rede de tubagem constituída por linhas de transporte e da distribuição. As linhas da distribuição são equipadas com hidrantes que são conectados à mangueiras flexíveis que aplicam a água às unidades da irrigação da parcela. Normalmente uma mangueira flexível serve várias parcelas que recebem o caudal da mangueira sequencialmente em rotação. Se o sistema é hidraulicamente bem dimensionado, o caudal nas linhas de tubagem é dividido automaticamente entre os hidrantes em proporções aproximadamente iguais. O caudal

Manual de Dimensionamento de Regadios

pela mangueira é restringido a 2-5 l/s, assim a irrigação precisa de bastante trabalho. Em comparação com o tipo 1, as eficiências de transporte e da aplicação de água são mais elevadas mas as exigências de energia por m³ de água e necessidades de força de trabalho para aplicação de água de rega são \pm 2-4 vezes mais alto. O relevo do perímetro de rega para a configuração da rede de transporte não é assim tão crítica comparada ao tipo 1.

O sistema de irrigação tipo 3 (irrigação por gravidade) se encontra normalmente em áreas montanhosas com pequenos rios permanentes. Também este tipo de sistemas é possível de criar a partir de grandes rios, mas são necessários investimentos com custos muito elevados para fazer um açude com todos os seus dispositivos (comparável com o açude de Macarretane que alimenta o regadio de Chokwe). Para extrair a água é normalmente necessário construir uma açude de diversão. Para o resto, a sua configuração e funcionamento são comparáveis a um sistema de irrigação, tipo 1. O tipo 3 tem vantagens grandes em comparação ao tipo 1 e ao tipo 2, que são os seguintes:

- nenhuns custos de energia;
- É mais fácil de gerir porque tem custos monetários mínimos e consequentemente melhor adaptado ao nível da organização dos camponeses e de sua maneira habitual de mobilização de recursos.

O sistema de irrigação tipo 4 (irrigação de aspersão) é apto para todas as colheitas (excepto o arroz) e todos os tipos de terras, particularmente que tem uma topografia irregular ou ondulada e em solos arenosos com taxas de infiltração elevadas. Neste tipo de irrigação precisa-se bombas de alta pressão (Hman: 50-70 m). Por isso é caracterizado por custos monetários elevados de energia. Consequentemente, a irrigação de aspersão só pode ser rentabilizada nas culturas com rendimentos elevados, riscos limitados (doenças de culturas etc.), preços e margens económicos estáveis como, por exemplo, o açúcar.

O sistema de irrigação tipo 5 (irrigação de gotejamento) é apto para pomares e culturas semeadas em linhas em todos tipos de terras. Precisa de bombas de pressão média (Hman 15-25 m). Onde o escassez da água é um problema sério, este sistema poderia ser uma opção a considerar na irrigação de pequena escala. A filtração da água da irrigação é essencial para evitar a obstrução dos gotejadores. Os custos de investimento são elevados e são justificados somente em caso de culturas com valor elevado. A vulnerabilidade da manipulação e da operação é considerável.

O sistema de irrigação tipo 6 (bomba pedestal) é apto para todos os tipos de terras e de todas as culturas excepto o arroz. Este tipo é não apto para uso colectivo, mas limitado a irrigação de parcelas individuais pequenas até \pm 0.3 ha. O critério crítico da selecção da bomba deve ser a facilidade e a eficiência da operação e da manutenção que dependem da estrutura e características ergonómicas da bomba.

O sistema de irrigação tipo 7 (irrigação com latas ou regadores). Este é claramente a maneira mais básica da irrigação com a necessidade mais elevada de força de trabalho. É questionável se este método poderia ser considerado mesmo um sistema, mas não pode ser ignorado porque é o método mais utilizado da aplicação da água no sector camponesa em Moçambique. O método poderia parecer uma anomalia primitiva, mas, por exemplo,

Manual de Dimensionamento de Regadios

é o único método usado na zona verde de Maputo que é provavelmente a área mais intensivamente cultivado e com mais rendimento (económico) por hectare de Moçambique. A propósito, este caso mostra mais uma vez que a irrigação bem sucedida não é um assunto exclusivamente técnico mas tem todo a ver com a existência ou a criação de um ambiente facilitador (acesso ao mercado, vizinhança de centros de consumidores, transporte etc.). A zona verde de Maputo mostra claramente que um sistema de irrigação tecnologicamente primitivo poderia ser mais produtivo do que um sistema tecnologicamente altamente sofisticado. Tudo depende da coerência interna de funcionamento do sistema e do contexto em que os sistemas de irrigação são inseridos.

Na TABELA 3.1 as características relevantes dos primeiros 6 tipos de sistema de irrigação são resumidas.

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 3.1 Características dos tipos de sistemas de irrigação

Sistema tipo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Características/ Parâmetros	Bomba + irrigação de superfície	Bomba + irrigação c/ mangueira	Açude + irrigação de superfície	Aspersão	Gota-a – gota	Bomba pedestal
Paisagem hidráulica	Planícies de rios	Relevo plano e ondulado	Montanhosa	Todas	Escassez de água, Semi árido	Todas
Culturas	Culturas normais e arroz	Culturas normais	Culturas normais e arroz	Culturas com alto valor (acucar)	Culturas com alto valor	Culturas normais
Investimento inicial para a construção do sistema (a)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a alto	Médio a alto	Médio a alto	Baixo
Necessidade da configuração da rede de rega na parcela	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim
Custos de Energia (b)	Baixo	Médio	-	Alto	Médio	-
Tempo de Irrigação ou necessidades de força de trabalho por m3 de água de irrigação aplicado (c)	Baixo	Alto	Baixo	n.a	n.a	Muito alto
Facilidade de operação e manutenção (d)	Baixo	Médio	Médio	Médio	médio	Médio

Notas:

(a) O investimento inicial para 5 tipos de sistemas de irrigação é mais ou menos da mesma ordem. No tipo 3 os custos dependem do tamanho do açude, da complexidade de sua construção e do comprimento do canal antes de entrar no perímetro irrigado. O investimento inicial de uma bomba pedestal é baixo, mas o primeiro critério para a selecção de uma bomba pedestal deve ser sua facilidade do transporte, da operação e da manutenção.

(b) Ceteris paribus (todas outras condições iguais), o custo por m3 da água bombeada é aproximadamente proporcional com a altura manométrica que no tipo (2) é normalmente $\pm 2-3$ vezes mais do que no tipo (1) e no tipo (4) são 5-6 vezes mais do que no tipo (1). No tipo (3) e no tipo (5) não há nenhum custo monetário de energia

(c) Este parâmetro depende principalmente do caudal aplicado na parcela ('main d'eau'). No tipo (1) o caudal do campo é na ordem de 6-15 l/s, no tipo (2) o caudal do campo é na ordem de 2-5 l/s. O tempo da aplicação por m3 de água da irrigação é numa proporção inversa ao caudal aplicado no campo. Isto implica que a força de trabalho requerida para a irrigação do campo no tipo (2) é 3-5 mais do que no tipo (1).

(d) A facilidade da operação depende de dois factores principais:

- o modo da extracção da água
- a aplicação/manejo da água no campo.

A derivação da água no sistema 3 é sem problemas se a altura da represa for estabelecida correctamente com relação à elevação da área irrigada. A extracção da água pela unidade da bomba & motor (os tipos 1, 2, 4 e 5) necessita muito mais cuidado e é muito mais complicado e vulnerável, especialmente se os operadores das bombas não forem bem treinados ou qualificados. O manejo da água no campo no tipo (1), (3) e (6) necessita muito mais experiência, habilidade e cuidado do que no tipo (2), (4) e (5).

Para ilustrar as diferenças em termos quantitativos entre os tipos mais correntes de sistemas de irrigação (1) e (2), veja a TABELA 3.2

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 3.2 Comparando sistemas de irrigação tipo 1 e 2 de 10 ha, ceteris paribus (todas as outras condições iguais)

Parâmetro/ variável	Sistema tipo (1)	Sistema tipo (2)
Área irrigada	10 há	10 ha
Caudal de bombagem	20 l/s	20 l/s
Caudal manejável	10 l/s	2 l/s
Numero de canais de distribuição	2	n.a
Regantes a regar simultaneamente	2	10
Tempo de Aplicação por turno por unidade de superfície	X horas	5X horas
Potencia Requerida (a)	2.2 [kW]	6.6 [kW]
Consumo de gasóleo/ diesel (b)	0.7 [litro/hora]	2 [litro/hora]

Notas:

(a): A potencia requerida para o sistema (1) calculou-se com $H_{man} = 6$ m e $Q = 0.02$ m³/s; a potencia requerida para o sistema (2) calculou-se com $H_{man} = 18$ m e $Q = 0.02$ m³/s

(b): calculado com um consumo específico de gasóleo de 0.3 l/kWh

O exemplo na tabela mostra claramente que o tipo 2 do sistema é mais intensivo em uso de força de trabalho e consome mais gasóleo por m³ da água aplicado do que o sistema, tipo 1. Por outro lado, a irrigação do campo no tipo (2) é mais fácil com menos perdas da aplicação e do transporte.

3.3 Tecnologias de Irrigação e as suas Condições de Utilização

Em geral, o factor limitante no desenvolvimento dos sistemas agrárias actuais no sector de pequenos produtores é a produtividade de trabalho (produção/hora de trabalho ou valor de produção por trabalhador). A irrigação como tecnologia pode ser considerada um meio para aumentar a produtividade de trabalho e no mesmo tempo um meio para aumentar a produtividade de terra. Como qualquer tecnologia, a irrigação implica um instrumento e o conhecimento como utilizar este instrumento (condições necessários de utilização).

Em TABELA 3.3 distingue-se e compare-se 4 opções técnicas na irrigação (mobilização de água), adaptada aos recursos e limitações que os pequenos produtores têm:

1. Balde +regador
2. Cegonha
3. Bomba pedestal
4. Motobomba pequena.

A TABELA 3.3 mostra que se pode distinguir claramente um trajectória tecnológico caracterizado por um aumento de produtividade de trabalho.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Porem, na medida que os instrumentos ficam mais produtivas (maior produtividade de trabalho), as condições que são necessários para sua utilização (conhecimentos, organização, custos monetários) também aumentam quer quantitativamente que qualitativamente.

Uma ilustração muito clara é as motobombas pequenas que se encontram regularmente nas machambas das associações e pequenos produtores. Elas apresentam um investimento inicial baixa mas tem custos de exploração muito altos (custos de combustível), mais altos que necessários por causa de eficiências de bomba baixas. Então, uma condição critica para a sua utilização eh uma selecção correcto de características técnicas e eficiência da motobomba, nomeadamente para minimizar os custos de exploração.

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 3.3 Opções técnicas e condições de utilização de tecnologia

	Opções técnicas: Trajectória tecnológico ----->			
	Mobilização e distribuição de água (**)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Parâmetros/ condições de utilização</i>	<i>Balde + Regador</i>	<i>Cegonha</i>	<i>Bomba pedestal</i>	<i>Motobomba pequena</i>
<i>Necessidade mínima da força de trabalho</i>	1 pessoa	2 pessoas	2 pessoas	2-4 pessoas
<i>Capacidade de rega por pessoa: Maio- Julho Agosto-Outubro</i>	Rega: 6 horas/dia 250-300 m ² 150 m ²	Suposto: rega 6 horas/dia 1200 m ² 700 m ²	Suposto: rega 6 horas/dia 1500-1800 m ² 850-1100 m ²	Suposto: rega 6 horas/dia 7500-15000 m ² 4500 – 9000 m ²
<i>Caudal [litro/seg]</i>	n.a.	n.a.	0.8-1 l/s	8 l/s [30 m ³ /h]
<i>Fontes de água</i>	Todos	Todos	-Águas superficiais - poços com caudal > 0.4 l/s	Águas superficiais
<i>Condições topográficos</i>	n.a	Regular, declive suave	Regular, declive suave	Regular, declive suave
<i>Necessidades configuração e armação de terreno</i>	Não	++	++	+++
<i>Custos monetários de investimento inicial</i>	300 MTn	800 MTn	12,500 MTn	19,500 MTn
<i>Custos monetários de exploração por ano</i>	-	-	600 MTn (2 solas)	45,000 MTn
<i>Condições de utilização</i>	-	- Configuração do terreno	-Configuração de terreno - disponibilidade de solas - conhecimentos de operação e manutenção - qualidade de amanhos culturais elementares (preparação da terra, tirar o capim etc) para rentabilização de rega	- Disponibilidade de água - Configuração do terreno - Selecção correcto de características técnicas e eficiência da motobomba - Necessidade de produzir p/ mercado (cobrir custos monetários) - Disponibilidade de dinheiro vivo - Conhecimentos de operação e manutenção - Disponibilidade de peças e facilidades de reparação - Escalonamento de produção e minimizar riscos de mercado - Ajuste mutua de recursos e a sua rentabilização * Condições adicionais p/ uso colectivo - Nível mínimo de confiança entre membros - organização + divisão de tarefas - capacidade de registo e fazer contas e gestão fundo da exploração - conhecimentos de gestão colectiva de água (distribuição/divisão de água, calendário de rega etc.)
<i>Estratificacao Tecnico de utilizadores camponeses (analogia)</i>	Andar a pé		Que tem bicicleta	Que tem Motorizado

Manual de Dimensionamento de Regadios

Notas:

(**) Nas opções técnicas mencionadas na TABELA 3.3 somente considera-se aquelas relacionadas com a mobilização de água (capacidade de extração de quantidade de água por unidade de tempo).

(1): Rega com balde e regador

* *Capacidade de rega por pessoa:* Vamos supor que uma pessoa numa distância média de transporte de 30 metros pode carregar ± 40 baldes de 20 litros por dia (este dado foi fornecido pelo um encarregado duma machamba em Morrumbala) o que faz 800 litro/dia. A área de horta que uma pessoa pode regar depende do período do ano. Pode-se distinguir 2 períodos distintos:

a. *Maio- Julho:* Com um evapotranspiração potencial média diária de 3 mm. Isto implica uma necessidade de água de 30 m³/ha/dia ou 3 litro/m²/dia. Neste caso a área que uma pessoa pode regar pode-se estimar em aproximadamente 250- 300 m².

b. *Agosto- Outubro:* Com um evapotranspiração potencial média diária de 5 mm. Isto implica uma necessidade de água de 50 m³/ha/dia ou 5 litro/m²/dia. Neste caso a área que uma pessoa pode regar pode-se estimar em aproximadamente 150 m².

* *Custos de investimento*

1 balde (20 litros) : 140 MTn (estimado)

1 regador plástico (10 litro) p/ rega de viveiros : 160 MTn (preços 2008 de 'Afritoool')

* Embora que esta técnica é pouca produtiva em relação às outras técnicas (veja capacidade de rega por pessoa), esta técnica é o mais flexível (adapte se a qualquer terreno e situação), não tem riscos/ custos monetários e pode-se regar sozinho quando as outras técnicas precisam pelo menos 2 pessoas a trabalhar no mesmo tempo. São todas razões que talvez explicam porque esta técnica é todavia a mais utilizada.

(2): Rega com cegonha

* *Necessidade mínima da força de trabalho:* Vamos supor que o terreno de rega é bem configurado com canais de rega, canteiros, sulcos etc. Neste caso precisa 2 pessoas p/ rega, uma para operar a cegonha, outra para distribuir a água. Um outra maneira de operação é de descarregar água num tanque e regar depois do tanque fica cheio ou o tanque usa-se para buscar água c/ balde. Mas estas maneiras de usar a cegonha são subótimas em relação à rega duma parcela bem configurada.

* *Capacidade de rega por pessoa:* vamos supor que o operador da cegonha com uma habilidade média consegue de elevar 3 baldes de 20 litros por minuto e que ele perde nesta operação 1 balde. Então, o seu rendimento é 40 litros/min ou 2400 l/hora. Vamos supor também que se perde 50% de água por infiltração nos canais e aplicação de rega. Isto resulta numa aplicação líquida de água de 1200 l/hora. Supondo que se rega 6 horas por dia isto resulta numa aplicação líquida de 7200 l/dia.

Distinguindo os mesmos períodos como em nota (1) a capacidade de rega por pessoa pode ser estimada como:

Maio-Julho: $7200/3 = 2400$ m²/2 pessoas ≈ 1200 m²/pessoa

Agosto-Outubro: $7200/5 = 1440$ m²/2 pessoas ≈ 700 m²/pessoa

* *Custos de investimento*

1 balde ou lata (20 litros) : 140 MTn (estimado)

1 regador plástico (10 l) p/ rega de viveiros : 160 MTn (preços 2008 de 'Afritoool')

Corda e ferro: 500 MTn (estimado)

(3) Bomba Pedestal

* *Necessidade mínima da força de trabalho:* Vamos supor que o terreno de rega é bem configurado com canais de rega, canteiros, sulcos etc. Neste caso precisa 2 pessoas na rega, uma para operar a bomba pedestal, outra para distribuir a água.

* *Capacidade de rega por pessoa:* O caudal duma bomba pedestal anda a volta de 0.8-1 l/seg. Numa hora o operador da bomba consegue de elevar 2880-3600 litros/hora. Vamos supor que se perde 50% de água por infiltração nos canais e aplicação de rega. Isto resulta numa aplicação líquida de água de 1440-1800 l/hora. Supondo que se rega 6 horas por dia, isto resulta numa aplicação líquida de 8640- 10800 l/dia.

Distinguindo os mesmos períodos como em nota (1) a capacidade de rega por pessoa pode ser estimada como:

Maio-Julho: $8640/3 - 10800/3 = 2880- 3600$ m²/2 pessoas $\approx 1500-1800$ m²/pessoa

Agosto-Outubro: $8640/5- 10800/5 = 1730-2160$ m²/2 pessoas $\approx 850- 1100$ m²/pessoa

* *Custos de investimento*

Manual de Dimensionamento de Regadios

1 balde ou lata (20 litros) : 140 MTn (estimado)
1 regador plástico (10 l) p/ rega de viveiros : 160 MTn (preço 2008 de 'Afritoool')
1 bomba pedestal 'Super Money maker' : 3,500 MTn (Preço 2008 de AGRO ALFA)
10 m de tubo de sucção 2": 10* 312 (Preço unitário 2008 de 'Afritoool') = 3, 120 MTn
40 m de tubo de descarga 2" : 40 *113 (Preço unitário 2008 de 'Afritoool') = 4,520 MTn
1 kit c/ chupador de 2": 795 MTn (preço 2008 de 'Afritoool')
Total: ±12,500 MTn

* Custos monetários de exploração por ano

Bomba Pedestal 'Super Money maker' : 2 solas/ano * 300 MTn/sola = 600 MTn/ano (uso intensiva)
1 sola/ano = 300 MTn/ano (uso muito cuidadoso)

(4) Motobomba pequena

Regularmente se encontra no campo motobombas pequenas de varias origens e características. Elas podem servir áreas de 2 ate 10 há dependente das características da bomba e as horas de trabalho. Elas representam um investimento inicial baixa à volta de 15,000 – 25,000 MTn (600-1,000 USD), tubagem e acessórios incluídos. Por outro lado mostram características técnicas muitas vezes não muito apropriados (alturas manometricas muito altos para rega por gravidade) para os locais de produção e estas bombas tem eficiências baixas

Suposição: uma motobomba, modelo 80KB 10-3, que fornece um caudal de 30 m³/hora com um altura manométrica de 10 m no ponto de operação, eficiência estimada ± 35%; motor diesel, modelo 170 FP, com uma potência de 3 kW.

* *Necessidade mínima da força de trabalho:* Vamos supor que o terreno de rega é bem configurado e munido com canais de rega, canteiros, sulcos etc. Neste caso é preciso dividir o caudal da bomba em 2-4 partes e são necessários 2-4 pessoas para aplicar a água dependendo da qualidade de configuração do terreno e a habilidade dos regantes para manejar água.

* *Capacidade de rega/pessoa:* Vamos supor que se perde 50% de água por infiltração nos canais e na aplicação de rega. Isto resulta numa aplicação líquida de água de 15 m³/hora. Suponhando que se rega 6 horas por dia, isto resulta numa aplicação líquido de 90 m³/dia.

Distinguindo os mesmos períodos como em nota (1) a capacidade de rega por pessoa pode ser estimada como:

Maio-Julho: $90 \text{ [m}^3\text{]}/30 \text{ [m}^3\text{/ha]} = 3 \text{ [ha]}/2-4 \text{ [pessoas]} \approx 0.75-1.5 \text{ ha/pessoa}$

Agosto-Outubro: $90 \text{ [m}^3\text{]}/5 \text{ [m}^3\text{/há]} = 1.8 \text{ [ha]}/2-4 \text{ [pessoas]} \approx 0.45- 0.9 \text{ ha/pessoa}$

* Custos de investimento

1 balde ou lata (20 litros) : 140 MTn (estimado)
1 regador plástico (10 l) p/ rega de viveiros : 160 MTn (preço 2008 Afritoool)
1 motobomba pequena: 10,405 MTn (Honda WB20XT, Preço 2008 Afritoool)
10 m de tubo de sucção 2": 10* 312 (preço 2008 Afritoool) = 3, 120 MTn
40 m de tubo de descarga 2" : 40 *113 (preço 2008 Afritoool) = 4,520 MTn
1 kit c/ chupador de 2": 795 MTn (preço Afritoool)
Total: ±19,500 MTn

* Custos monetários de exploração por ano

Estimativa combustível motobomba 80KB 10-3

Motor Diesel Modelo 170 FP: Potencia 3 kW

Consumo específico: $\approx 0.3 \text{ l/kWh}$, então consumo $3*0.3 \approx 0.9 \text{ l/hora}$

Trabalhando 180 horas/mês (=6 horas/dia) durante 6 meses (Maio-Outubro) a motobomba trabalha 1080 horas e consome $1080 * 0.9 = 972$ litros de diesel.

Suponhando que o preço de diesel no futuro vai para um nível de 40 MTn/litro, isto resulte numa despesa de combustível de $972 * 40 = 38,880 \text{ MTn}$ ou 36 MTn/hora.

Estimativa de consumo de óleo, peças, reparação etc: 10-20 % de custo de combustível.

Estimativa custo total : ±45,000 MTn/ano

Embora que as motobombas são de baixa custo (investimento inicial) os custos de exploração são bastante altos (os custos anuais de custos de exploração são aproximadamente 2 vezes mais altos que o investimento inicial). A necessidade de consideráveis quantidades de dinheiro vivo para compra de combustível vs a pouca disponibilidade deste dinheiro vivo, sugere que as motobombas fazem poucas horas, são subaproveitadas e fazem diminuir a área de rega em baixo da área potencial.

* Condições para utilização

Para utilizar uma motobomba da maneira mais eficaz e eficiente uma série de condições são requeridas. Nas seguintes alíneas discute-se estas condições.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Uso geral (individual e colectivo)

- Disponibilidade de Água

Os caudais extraídos para uma motobomba típica andam na ordem de 7-15 litros/seg. São muito maiores que o caudal dum bomba pedestal ou cegonha. Isto condicione o seu uso: precisa uma fonte de água que fornece este caudal. São fontes de água superficial (rio, lagoa), captações de água subterrânea (poços) normalmente não podem fornecer estes caudais.

- Configuração do terreno

A superfície que se pode regar com uma motobomba típica depende do caudal da bomba e as horas que a bomba funcione. Já foi calculado que uma bomba com um caudal de 8 litros/seg que trabalha 6 horas por dia pode regar uma superfície à volta de 3 ha no período Maio-Junho. A configuração (adaptação do terreno a rega) dum terreno de 3 ha é mais complexa que a adaptação duma parcela de 0.3 ha (normal para uma bomba pedestal). Estas diferenças incluem:

- . mais canais de campo,
- . canais de transporte que alimentam os canais de campo. Estas canais tem dimensões maiores porque transportam caudais maiores; os aterros são mais altos e voluminosos; para evitar infiltrações excessivas devem ser bem compactadas.
- . obras simples (caixas de tranquilização/ divisão etc) para tranquilizar e dividir o caudal da bomba;
- . seria ideal de fazer um levantamento topográfico do terreno como apoio para definir a configuração melhor do terreno e determinas as alturas dos aterros etc

Se o terreno não é bem adaptado à rega, só se pode regar uma área menor e desta maneira a motobomba fica subutilizada.

- Selecção correcto de características técnicas e eficiência da motobomba

Esta condição é crítica para minimizar os custos de exploração, nomeadamente para um consumo de combustível mais alto que necessário.

- Necessidade de produzir p/ mercado

No uso duma motobomba não se pode somente produzir para as necessidades de alimentação. Obrigatoriamente se deve produzir para mercado, pelo menos para cobrir os custos monetários do processo de produção, principalmente os custos de combustível.

- Disponibilidade de dinheiro vivo

Para uma motobomba funcionar é preciso inevitavelmente dinheiro vivo na bolsa (quer de próprios recursos quer créditos ou empréstimos) para comprar combustível. *Na prática esta condição é muito problemática, parece que dinheiro vivo é um recurso muito escasso.* Por isso muitas vezes a motobomba funcione poucas horas, às vezes irregular (não em função das necessidades de rega mas quando há dinheiro) e consequentemente se rega superfícies muito menores que as potenciais.

- Conhecimentos de operação e manutenção da motobomba

É claramente uma condição crítica mas na prática os conhecimentos de muitos operadores são fracos. Trata-se também de condições para efectuar uma operação e manutenção correcta como bidões limpos, funis, ferramentas etc.

- Disponibilidade de peças sobressalentes e facilidades de reparação

Também é uma condição crítica que muitas vezes não existe no local.

- Maior volume de produção e riscos de mercado

Há necessidade de escalonar a produção e colheitas para escoar nas épocas favoráveis de mercado.

- Equilíbrio entre recursos usados no processo de produção

Os diferentes recursos têm que ser mutuamente ajustados. A área de rega deve ser adaptada a capacidade de motobomba (e disponibilidade de água no fonte) e a disponibilidade da força de trabalho. Se a área é pequena demais (que implica poucas horas de funcionamento de motobomba) uma outra tecnologia (p.e bomba pedestal) pode ser usado com menos custos. A rega com motobomba também implica também a necessidade de uso de mais força de trabalho para divisão e aplicação de água de irrigação .

- qualidade de amanhos culturais elementares

Para uma rentabilidade máxima da água de irrigação é preciso uma intensificação do uso de terra. Isto implica o uso de mais força de trabalho para os amanhos/ cuidados culturais como p.e uma boa preparação da terra e arrancar os ervas infestantes (chichirica) que competem com a cultura a água e os adubos. Isto é particularmente importante na rega c/ motobombas que tem custos de exploração altos.

Condições adicionais p/ uso colectivo

Manual de Dimensionamento de Regadios

É uma característica geral de comunidades de camponeses - particularmente nas comunidades em que as relações comerciais são fracas ou secundárias- que o mobilização de recursos na forma do trabalho manual directo pelos camponeses é mais comum do que na forma de recursos financeiros. Os camponeses têm em geral menos problemas para limpar ou escavar uma vala ou um canal do que contribuir dinheiro para a manutenção duma bomba. Uma razão importante para esse fenómeno é que no trabalho colectivo cada pessoa monitora directamente a presença da outra e vice-versa, enquanto contribuições monetárias e a utilização destas não podem ser controladas directamente por cada uma. No último caso há necessidade de outras formas de controlo, mais indirectas (contabilidade, auditoria) que indicam que o dinheiro foi utilizado bem conforme os objectivos para que as contribuições são destinadas.

Essa diferença entre a mobilização dos recursos explica que o operação e manutenção (O&M) dum sistema de gravidade c/ açude é geralmente menos problemática do que dum sistema de bombagem. A maior parte de actividades do O&M em sistemas da gravidade resume-se à limpeza (ervas daninhas e sedimentos) e a conservação dos canais da irrigação o que podem ser feitos pelo trabalho manual colectivo. A derivação e a distribuição da água quase não envolvem custos. Em resumo, num sistema da gravidade os custos monetários são mínimos.

Ao contrário, a irrigação com motobomba requer um nível de confiança mais elevado e diferente entre membros, requer dum novo tipo de organização e a aquisição de habilidades novas (contabilidade, operação da bomba e manutenção). Isto implica uma divisão de trabalho para tarefas diferentes, uma distribuição de água mais organizada (introdução dum calendário de rega), fazer registos, contabilidade, a determinação da taxa de exploração e a colecção da água das taxas. É importante de realizar-se que as taxas necessárias para cobrir as despesas do O&M são muita mais alta e necessita um outro tipo de controlo do que as contribuições que os camponeses costumam pagar como taxa mensal para ser um membro duma associação (10-25 MTn/mês).

Em resumo, o uso colectivo duma motobomba requer as seguintes condições específicas:

- Um nível mínimo de confiança entre membros (controle indirecto)

Controlo indirecto substitui o controlo directo que implica um nível maior de confiança entre os membros duma associação

- Organização + divisão de tarefas

O controlo indirecto implica um novo tipo de organização e divisão de tarefas de gestão, operação e manutenção (exploração)

- A capacidade de fazer registos (consumo de combustível, horas de rega etc), fazer contas e gerir a fundo de exploração.

Esta capacidade é necessária para a exploração da motobomba e área regada e cobrir as custos de exploração (calculado de taxas de rega, colecção de taxas etc).

- Conhecimentos de gestão colectiva de água

Uma distribuição de água eficiente implica a introdução (e aderência) dum calendário de rega. Na prática é muito comum que todos querem regar no mesmo tempo da maneira que o caudal de rega se divida em quantidades pequenas que causa perdas altas por infiltração. Esta prática altamente ineficiente (também para a produtividade de trabalho) deve ser substituída para a rotação do caudal de rega (concentração na aplicação) que implica a introdução dum calendário de rega.

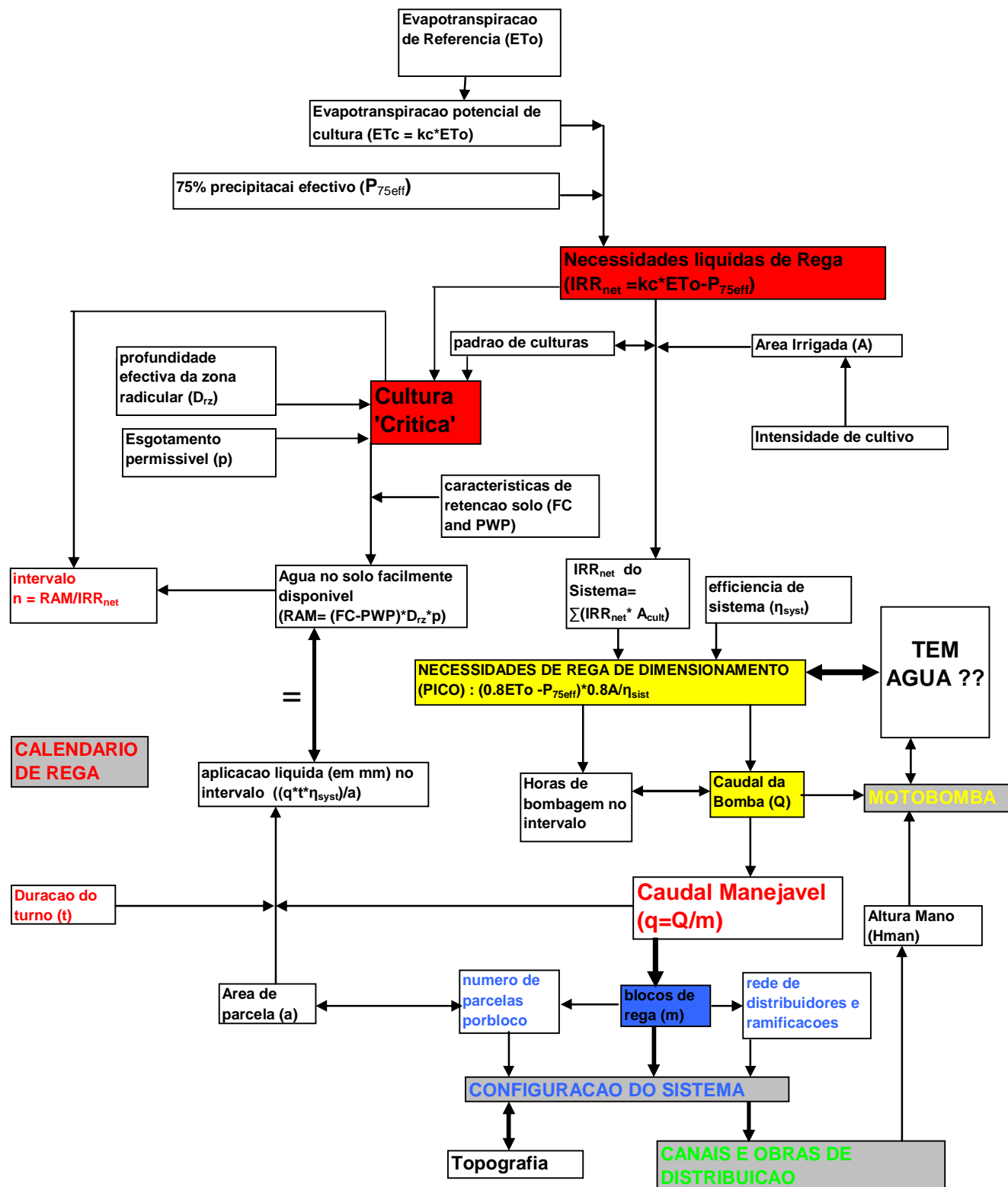
3.4. O processo de Dimensionamento e factores críticos

3.4.1. Esboço do processo de Dimensionamento

Em FIGURA 3.2 se encontra um exemplo dum esboço do processo de dimensionamento dum sistema de irrigação. Se trata dum sistema de irrigação tipo 1 com um padrão heterogéneo de culturas. As secções seguintes refiram-se a este esboço.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 3.2 Esboço do Processo de dimensionamento dum sistema de Irrigação tipo 1 (padrão heterogéneo de culturas)



Manual de Dimensionamento de Regadios

3.4.2. Características do processo de Dimensionamento

O processo do dimensionamento tem as seguintes características:

- *Um sistema de irrigação é dimensionado para fornecer água suficiente a um padrão de cultivo intensivo sob condições (severas) de seca.* Na maioria das vezes as circunstâncias operacionais reais são mais favoráveis.

- Um sistema de irrigação é dimensionado numa maneira integrada, isto significa como um sistema em que todos os elementos são inter-relacionados. Se um elemento for mudado, isto tem um impacto em todos elementos restantes. Por exemplo, uma bomba com uma eficiência baixa necessita um motor com mais potência e consequentemente o seu consumo de energia é mais elevado.

- O dimensionamento dum regadio não resulta numa única solução determinista. O trabalho de dimensionamento dum sistema de irrigação é muito diferente de fazer relógios. O dimensionamento dum sistema de irrigação é baseado em certas suposições (que devem ser feitos explícitos no relatório do dimensionamento) que são acompanhadas com determinados riscos e incertezas. Deve-se dimensionar com parâmetros que não são muito exactos e às vezes difíceis de medir embora que podem frequentemente ser estimado dentro dos limites razoáveis.

- Alguns parâmetros essenciais que entrem no dimensionamento dum sistema de irrigação tem características bastante *normativas*. No contexto deste manual discute-se os seguintes parâmetros:

- *Intensidade do uso de terra.* Isto é um parâmetro crítico que determina as necessidades de água de rega no nível do sistema. No dimensionamento dum sistema assume-se que se rega durante grande parte do calendário agrícola uma superfície que é perto da área irrigável. Se isto de facto aconteceu ou não é um incógnito e depende de muitos outros factores fora do âmbito de dimensionamento.

- *Eficiências de rega.* É um outro parâmetro crítico que determina as necessidades (brutas) de água de rega no nível do sistema. A eficiência de rega tem uma dimensão física que depende de factores como a infiltração de solos, revestimento (ou não) de canais, compactação de canais, comprimento de canais, grandeza de caudal manejável, superfície e medidas das parcelas etc. Por outro lado a eficiência de rega é um parâmetro altamente normativo porque depende de esforço, do saber fazer e do grau de organização dos regantes. No dimensionamento não se pode aceitar perdas de água excessivas p.e. 70% da água bombeada embora na realidade acontece frequentemente. No dimensionamento assume-se valores de eficiência de rega bastante altos porque se parte das suposições que não se desperdice água, que a infra-estrutura de rega se encontra em bom estado, que há disciplina na distribuição de água, que se distribui e se aplica água de rega numa maneira concentrada e não dispersa, que as parcelas estão suficientemente preparadas para receber e aplicar a água de rega da maneira eficaz, etc.

- *Horas de bombagem.* Para o dimensionamento do sistema, as horas de bombagem no período de pico é um parâmetro crítico porque determina as

Manual de Dimensionamento de Regadios

dimensões, características e custos de equipamento p/ instalar e infra-estrutura p/ construir. Por exemplo, 6 horas diários de bombagem vs 12 horas diários de bombagem no tempo de pico conduz a uma bomba com um caudal 2X maior, um motor com uma potencia 2X maior, uma rede de canais mais extensa, mais obras de distribuição, em resumo a custos de investimento mais altos. Por outro lado há limites no numero das horas de bombagem porque não é conveniente de regar a noite (com excepção de arroz quando os arrozais estão bem preparados), precisa – se tempo para manutenção e reparação etc.

- O dimensionamento dum sistema de irrigação não é um processo linear mas iterativo. No dimensionamento, o técnico procura tentativamente uma solução que aproxime o óptimo num contexto específico balançando todos aspectos relevantes (económico, técnico, construtivo, operativo etc.). Isto resulta inevitavelmente em soluções de compromisso. Por exemplo, a selecção de um pequeno caudal de manejo ('main d'eau') por razões operacionais implica uma densidade mais elevada de rede de canais e custos de investimento mais elevados por hectare irrigado (todas outras condiciones iguais).
- O dimensionamento dum sistema de irrigação necessita de incorporar bastante flexibilidade na operação e de acomodar mudanças no futuro sem modificar a configuração da rede ou as dimensões dos canais e das estruturas. Por exemplo, se as exigências da irrigação em determinados períodos forem maiores do que as projectadas, o dimensionamento do sistema deve permitir de aumentar as horas de bombagem; uma incerteza nos parâmetros de armazenamento de água no solo podia ser compensada adaptando o intervalo da irrigação; o incógnito sobre as eficiências da irrigação podia ser compensado ajustando a duração dos turnos de irrigação.

3.4.3 Parâmetros críticos no Dimensionamento de sistemas de irrigação

Como parâmetros críticos de dimensionamento pode-se considerar:

- tamanho das parcelas
- número de parcelas e regantes
- configuração das parcelas e a necessidade eventual para um novo parcelamento de terra. Esta é uma questão essencial que deve ser profundamente discutida e concordada com os usuários futuros do sistema de irrigação antes do dimensionamento e da construção do sistema (veja a CAIXA 3.2)
- Numero de horas previstas da bomba no período de pico
- Padrão global de culturas: policulture de hortícolas vs monocultura do arroz ou monocultura da cana de açúcar

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 3.2 Problemas com Consolidação/ Parcelamento de Terras

No sistema de Kanimambo no distrito de Magude os camponeses tiveram já antes da intervenção de SSIP parcelas compridas e estreitas para algumas razões históricas relativas à criação de condições iguais para todos os membros da associação. Do ponto de vista do uso do sistema de irrigação reabilitado e expandido e da sua eficiência de trabalho, esta configuração de parcelas não é óptima. Mas todos os esforços da equipe de trabalho de SSIP para convencer os camponeses de mudar esta configuração em parcelas mais compactos falharam.

No sistema de Maronde-Murato no distrito de Chibabava havia (e talvez ainda tem) uma discussão grande sobre os limites das parcelas. Estes limites não são regulares e nestes parcelas crescem árvores de fruta, tem ali sepulturas dos antepassados e as parcelas são ligadas a muitos sentimentos e memórias. Entretanto, a população e as autoridades locais e provinciais querem a irrigação em 60 hectare. Assim, o que fazer? Esta é uma área com uma topografia irregular e ondulado; irrigação com métodos de aplicação superficial onde se pode mais ou menos adaptar o traçado de canais aos limites existentes, é impossível. Assim, um tipo 2 do sistema de irrigação com irrigação da mangueira foi selecionado. Isto implica que as linhas de tubagem que fornecem águas aos hidrantes e as mangueiras devem ser postas em linhas rectas e as parcelas precisam ser rectangulares. O tamanho das parcelas não é um problema, eles tem um tamanho uniforme de 0.25 há. Caso que um produtor poderia cultivar uma área maior, ele pode ser atribuído um múltiplo destas parcelas, por exemplo 2 parcelas (0.5 ha) ou 3 parcelas (0.75 ha). Mas o problema das árvores e das sepulturas é mais complicado. Porém, estes problemas precisam ser

3.4.4 Estimativa de necessidades da água de irrigação, do caudal de dimensionamento e do caudal da bomba

Em relação as necessidades da água de rega há uma distinção clara entre as culturas 'secas' e o arroz. Nas culturas 'secas' a água de irrigação compensa para o deficit da evapotranspiracao da cultura (Evapotranspiracao menos a precipitação eficaz) e esta é normalmente no seu máximo na fase da floração da cultura. No arroz normalmente as necessidades da água de irrigação são máximas no princípio do ciclo de crescimento por causa das necessidades adicionais para a saturação do perfil e do estabelecimento duma camada da água. As necessidades máximas da água de rega determinam o caudal de dimensionamento.

As necessidades máximas da água de rega são estimadas diferentemente para monocultura e policultura.

Na monocultura usa-se as necessidades da água de rega no período pico.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Numa equação isto podia ser expressada como:

$$\text{IRRbruto} = (\text{ETpico} + \text{Necessidades adicionais} - \text{P75\%eff}) * A / \eta_{\text{sistema}}$$

EQUACAO 3.1

em que:

- IRRbruto [m³/mês]: Necessidades brutas máximas da água de irrigação da área total equipada (suponhando que se cultiva toda a área). Este parâmetro é usado para a estimativa do caudal requerido no nível do sistema e o caudal da bomba
- ETpico [m/mês] : Evapotranspiracao da cultura no tempo de pico. Normalmente o ETpico coincide com a evapotranspiracao da cultura no mês mais seco.
- Necessidades adicionais: muito relevante para a cultura de arroz. O período de pico na cultura de arroz coincide normalmente com o período que estas necessidades adicionais ocorrem, quer dizer no princípio do ciclo. Nas outras monoculturas (p.e cana de açúcar, milho) pode haver uma necessidade adicional de pré-irrigacao no princípio do ciclo que normalmente não coincide com o período de pico.
- P75%eff [m/mês]: A precipitação eficaz mínima no período de pico com uma probabilidade de 75% de ser atingida ou excedida, isso significa aquela precipitação mínima que se pode esperar 3 em 4 anos.
- A [m²]: área total equipado com infra-estrutura de rega
- η_{sistema} [-]: eficiência da irrigação no nível de sistema

A respeito da policultura, as necessidades da água de irrigação no nível do sistema são normalmente estimadas a partir de um padrão suposto de culturas ‘secas’ no tempo e espaço. Se pode calcular as necessidades da água de irrigação no nível do sistema (manualmente ou com ajuda dum programa de computador como CROPWAT) e assim determinar o caudal de dimensionamento. O problema é que este é um exercício um tanto teórico porque o padrão suposto de cultura na realidade frequentemente não é aderido pelos pequenos produtores que têm as suas próprias limitações (por exemplo, falta dos recursos monetários e da força de trabalho) e que fazem cada um as suas próprias decisões a respeito de suas culturas (tipo de culturas e de variedades, datas de sementeira e colheita, ciclo do crescimento, área de cultivo). Consequentemente, no caso de um padrão heterogéneo de culturas ‘secas’ é mais realista para usar regras simples para a estimativa das necessidades brutas máximas da irrigação que determinam o caudal de dimensionamento do sistema de irrigação. Uma regra deste tipo podia ser por exemplo 80% das necessidades brutas da irrigação de uma cultura crescida no mês mais seco sobre 75% da área total equipada para a irrigação.

Numa equação isto podia ser expressada como:

$$\text{IRRbruto} = (0.8 * \text{ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75 * A / \eta_{\text{sistema}}$$

EQUACAO 3.2

em que:

Manual de Dimensionamento de Regadios

- IRRbruto [m³/mês]: Necessidades brutas máximas da água de irrigação em m³ no mês mais seco sobre 75% da área total equipada. Este parâmetro é usado para a estimativa do caudal requerido no nível do sistema e o caudal da bomba
- ETo [m/mês] : Evapotranspiração de Referência do mês mais seco. Este parâmetro é uma aproximação da necessidade máxima duma cultura. O parâmetro 0.8*ETo é uma aproximação (arbitraria) da necessidade máxima de água duma mistura de culturas que se encontram em diferentes fases de crescimento.
- P75%eff [m/mês]: A precipitação eficaz mínima com uma probabilidade de 75% de ser atingida ou excedida, isso significa aquela precipitação que se pode esperar 3 em 4 anos. Entretanto no mês mais seco (Setembro-Outubro) a P75%eff pode ser considerado ignorado (≈ 0)
- A [m²]: área total equipado com infra-estrutura de rega. O parâmetro 0.75*A é uma aproximação (arbitraria) da área realmente cultivada (e regada) e reflecte uma ambição de intensificação.
- η_{sistema} [-]: eficiência da irrigação no nível de sistema

Das EQUAÇÕES 3.1 e 3.2 pode ser derivado o caudal do dimensionamento ou o caudal da bomba na seguinte maneira:

Monocultura

Caudal requerido da bomba = $\text{IRRbruto} / (\text{horas de bombagem no mês de pico}) = (E_{\text{Tpico}} + \text{Necessidades adicionais} - P75\% \text{eff}) * A / (\eta_{\text{sistema}} * \text{horas de bombagem no mês de pico})$ [m³/h]

Policulturas

Caudal requerido da bomba = $\text{IRRbruto} / (\text{horas de bombagem no mês de pico}) = ((0.8 E_{\text{To}} - P75\% \text{eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * \text{horas de bombagem no mês de pico})$ [m³/h]

Exemplo: no caso de 288 horas de bombagem por mês ou aproximada 72 horas por semana (6[dias/semana]*12 [horas/dia])

Caudal requerido da bomba = $\text{IRRbruto} / 288 = ((0.8 E_{\text{To}} - P75\% \text{eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * 288)$ [m³/h] ou $((0.8 E_{\text{To}} - P75\% \text{eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * 288 * 3,600)$ [m³/s]

A EQUAÇÃO 3.2 (e também EQUAÇÃO 3.1) reflecte uma ambição do nível da intensidade da irrigação (não é o mais elevado neste caso), no fundo é normativa, mas a experiência do projecto SSIP mostra que - pelo menos neste momento- mesmo este nível é longe de ser realizado. No caso que um nível mais baixo de intensidade ocorre, a adaptação se realiza por diminuição das horas de bombagem (isto se verifica frequentemente por causa da falta de dinheiro vivo para comprar combustível). No caso muito excepcional que a intensidade da irrigação estivesse mais elevada do que aquela para que o sistema foi dimensionado, as horas de bombagem podem-se aumentar no período do pico. O importante é que esta flexibilidade de aumentar as horas da bombagem é incorporada no dimensionamento do sistema.

Manual de Dimensionamento de Regadios

3.4.5 Dados básicos para o dimensionamento de sistemas de irrigação

Os dados básicos mais importantes para o dimensionamento de sistemas de irrigação são:

- A topografia/ o relevo do perímetro do sistema e dos níveis de água (mínimo, máximo, médio) na fonte de água. A experiência do SSIP mostra que o levantamento topográfico é uma actividade crítica em que muitos problemas podem ocorrer, principalmente de qualidade. Principalmente nos sistemas de irrigação tipo 1 e tipo 3, esta qualidade é essencial. Se o levantamento topográfico não for feito com qualidade, o risco existe que os níveis de água nos canais não são bastante elevados para regar todas as parcelas ou são mais elevados do que necessários que implica custos mais elevados de investimento e de exploração. Um controle elementar do levantamento topográfico pelo técnico de dimensionamento necessita pelo menos um controle dos níveis dos marcos de referência indicados pelo topógrafo.

- a disponibilidade da água da irrigação. Esta é uma questão muito crítica com muita interferência política no meio (veja a CAIXA 3.3). A experiência do SSIP mostra que nalguns casos a disponibilidade da água da irrigação é sobre estimado.

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 3.3 Disponibilidade da água e intervenção política

Embora a disponibilidade da água seja uma questão principalmente técnica e hidrológico há muitas intervenções 'políticas'. Particularmente agora, nos distritos com seu orçamento anual de sete milhões de MTn a gastar, há uma pressão muito grande de fazer algo na esfera produtiva. Isto pode facilmente conduzir a decisões imprudentes e atrapalhadas. Por exemplo, há responsáveis pelas decisões no distrito ou no nível provincial que vêem uma bolsa de água no leite dum rio e pensam que esta fonte de água é 'inesgotável', ignorante do princípio básico da balança da água ditando que se retira uma quantidade da água sem ser substituído pela entrada, a fonte de água no prazo terminará. Se técnicos opinam que este volume aparentemente grande da água terminará rapidamente bombeando, eles podem mesmo ser suspeitada e acusado de sabotagem.

Os responsáveis pelas decisões em níveis diferentes necessitam desesperadamente ser treinado em algumas noções básicas de hidrologia e da hidráulica agrícola.

As noções mais importantes incluem:

- A grande diferença da quantidade da água necessária para o consumo humano e do gado por um lado e as necessidades de água das culturas por outro lado
- Desmistificação da tese que 'se houver recursos da terra & de água e povo disponível, este deve conduzir quase automaticamente ao seu uso proveitoso'. O problema desta tese é que o conhecimento (local e científico) para ligar estes recursos numa maneira significativa é ignorado e que o uso proveitoso destes recursos está reduzido a uma questão da voluntariedade 'política' que deve dar resultados imediatos.
- A diversidade regional e local da disponibilidade da terra e da água em Moçambique.
- As características de fontes de água, do seu potencial e de limitações
- A balança da água e baseado neste conceito, a avaliação da disponibilidade da água para o desenvolvimento da irrigação e outros usos
- Alguns princípios elementares que devem guiar a escolha de bombas (veja também a CAIXA 3.1)

- Os solos. Fora de algumas exceções (solos salinizados etc.), a avaliação de características dos solos no dimensionamento não é crítica. A aptidão para o cultivo pode ser avaliada facilmente observando as culturas que são cultivadas na área, entrevistas com produtores e fazer alguns perfis no solo com uma sonda. Esta última actividade dá uma informação sobre a textura do solo, a presença de camadas duras e a profundidade do nível freático. Algum dúvida a respeito da água que pode ser armazenada no perfil do solo e extraída pelas culturas se torne menos relevante se o intervalo de irrigação for adaptado às culturas com a zona radicular menor (as culturas 'críticas', veja FIGURA 3.2). A determinação dum intervalo 'crítico' é também de acordo com os padrões 'imprevisíveis de culturas dos usuários da água. Com um intervalo da irrigação de 1

Manual de Dimensionamento de Regadios

semana ou menos (por exemplo, 3 dias onde se cultiva alface) o usuário da água pode decidir facilmente que culturas e que superfícies ele vai regar em cada turno na sua parcela. Ele dividirá a quantidade total de água recebida num turno (intervalo da semana) entre as culturas que necessitam cada semana uma aplicação pequena da água (por exemplo cebolas) e as outras que necessitam aplicações maiores cada duas ou três semanas (por exemplo tomate).

- Necessidades da água de irrigação. Para o dimensionamento de sistemas de rega um conhecimento muito detalhado (por exemplo, valores diários) do evapotranspiration e da precipitação não é necessário. Os valores mensais médios de ET (por exemplo disponível na base de dados de CLIMWAT do FAO) são suficientes porque sua variação estatística é pequena. Para a precipitação mensal, um análises estatístico simples basta para determinar a precipitação mínima que poderia se esperar 4 em 5 anos (P80) ou 3 em 4 anos (P75, este parâmetro é calculado já para muitos lugares representativos em Moçambique, veja REFERENCIA 7). Além disso, a precipitação é frequentemente insignificante e pode ser negligenciada no período pico de necessidades máximas da água de irrigação, isto é no período seco para que o sistema é dimensionado. Para o arroz uma análise da precipitação é muito relevante caso que a irrigação suplementa a precipitação (período do crescimento no período chuvoso), que é a prática normal no caso da irrigação c/ bomba.

- Eficiências da irrigação. Este é um parâmetro (muito) inseguro . A insegurança sobre as eficiências da irrigação pode ser compensada por meio de turnos de rega com uma duração maior ou menor no pressuposto que há espaço para manobra, por exemplo, para aumentar as horas diárias ou semanais do funcionamento da bomba.

3.4.6 Distribuição de água e Aplicação no campo

O deficit do evapotranspiracao da cultura (Evapotranspiracao menos a precipitação eficaz) determina as necessidades líquidas da água de irrigação. À estas necessidades líquidas devem ser adicionadas as perdas que ocorrem na rede de transporte e na aplicação da água que fazem em conjunto as necessidades brutas de irrigação. A cultura extrai a água do solo, o que pode ser considerado um reservatório complexo da água cuja capacidade dependa de vários factores, particularmente as características da retenção do solo e a profundidade da zona radicular.

As práticas boas da irrigação consistem em encher o reservatório do solo nos momentos certos com as quantidades apropriadas numa maneira eficiente (com perdas pequenas durante a aplicação da água). Isso significa que a prática da irrigação pode ser considerado a aplicação da água numa determinada combinação de intervalos da irrigação e de profundidades da aplicação, o que são variáveis interdependentes. Na sua vez, a profundidade da aplicação é o resultado de um certo tempo de aplicação e do caudal do campo.

Resumindo, na aplicação da água de irrigação há 5 variáveis e parâmetros essenciais e inter-relacionadas:

- as necessidades brutas de irrigação da cultura
- a capacidade do reservatório do solo na zona radicular

Manual de Dimensionamento de Regadios

- o intervalo entre turnos de irrigação
- a duração do turno de irrigação
- o caudal de aplicação

Estas variáveis precisam ser adaptadas mutuamente para aplicar a quantidade certa da água no momento apropriado.

A distribuição da água no sistema necessita ser adaptada à aplicação da água nas parcelas. Isto implica que todas as parcelas servidas por um canal da distribuição são programadas para receber numa maneira prática dentro de um intervalo da irrigação um turno de irrigação com uma certa duração e um caudal que pode ser manejado por um regante (eventualmente com ajuda)..

Caudal manejável ('Main d'eau')

O conceito de caudal manejável ('main d'eau') é fundamental - mas frequentemente negligenciado ou completamente ignorado- no dimensionamento e determinante para a configuração do sistema. É definido como o caudal do campo que pode ser manejado eficazmente por um regante (ou um regante e ajudante).

Quando o caudal é demasiado grande para um regante poder controlar, a água se perde por escorrimento superficial e partes baixas onde se acumula água. Um caudal demasiado baixo força o regante a permanecer subocupado no campo e impede uma distribuição uniforme da água (eficiência baixa da aplicação). A grandeza do caudal manejável depende de muitos factores. Em alguns tipos de sistemas de irrigação o caudal de aplicação é limitado pelas características próprias do sistema. No sistema de irrigação tipo 2, o caudal de aplicação é limitado pelo caudal da mangueira ($\pm 2-5$ l/s), que na sua vez é determinado pelo diâmetro de mangueira e a pressão nos hidrantes. No sistema de irrigação tipo 6 (bomba pedestal) o caudal do campo (1-2 l/s) é limitado pela capacidade da bomba e pela força de trabalho disponível para operar a bomba.

As limitações mais importantes da irrigação nos sistemas tipo 1 e 3 são o método de irrigação e a experiência do regante. O método de irrigação por bacias planas de pequeno ou médio tamanho e/ou por sulcos curtos nivelados é o mais adequado e o mais usado por regantes. Em caso que os regantes não são muito experientes o caudal manejável do campo nestes tipos de sistemas de irrigação é na ordem de 5-15 l/s nos vegetais e outras culturas de campo e 20-40 l/s no arroz.

ATENCAO: Estes valores são consideravelmente mais baixos que os valores mencionados na literatura (25-40 l/s para culturas de campo, até 100 l/s para arroz em grandes bacias), principalmente de origem Americano. Estes últimos valores podem ser adequados em outras condições: parcelas maiores e nivelados que permitam outros métodos de rega (sulcos compridos, faixas compridos, grandes bacias) e regantes mais experimentados.

O caudal manejável do campo é no mesmo tempo o caudal de dimensionamento num canal de distribuição. Isto implica que as parcelas servidas por um canal da distribuição recebem o caudal no canal sequencialmente em rotação. O caudal do sistema (bomba)

Manual de Dimensionamento de Regadios

dividido pelo caudal manejável determina o número de canais da distribuição e de blocos respectivos.

3.4.7 Canais vs Tubagem; Canais de terra vs canais revestidos

Na selecção de facilidades de transporte & de distribuição de água há dois factores críticos a considerar:

- água bombeada vs. água por gravidade
- a grandeza do caudal

A água bombeada para irrigação representa um custo directo considerável ao contrário a água por gravidade. Consequentemente é crucial restringir no máximo as perdas do transporte de água em sistemas de bombagem. Por outro lado, as perdas de transporte (infiltração) dependem muito da grandeza do caudal que é mostrado pelo seguinte exemplo.

Exemplo: um canal trapezoidal de terra; comprimento de 1quilómetro; largura de fundo: 0.5 m; inclinação de taludes de 1:1; Coeficiente de Manning-Strickler: 20 [m^{0.33}/s]; uma inclinação de 60 cm/km. Evaporação 8 mm/dia. Tomando um taxa de infiltração de 200 mm/dia (normal para solos com uma textura media) ao longo do perímetro molhado do canal, isto rende os seguintes resultado na TABELA 3.4.

TABELA 3.4 Perdas de Água num canal em função do caudal

Caudal [l/s]	4	8	15	30	100	200
Perdas de infiltração [%]	36	22	15	9.7	4.1	2.6
Evaporação [%]	1.2	0.7	0.5	0.3	0.14	0.09

Os resultados na TABELA 3.4 mostram que, em geral:

- O caudal num canal de terra deve ser maior que ≈ 20 l/s , a menos que o troco é curto ou a taxa de infiltração é muito baixo (compactação é essencial !)
- Comparado com a infiltração as perdas por evaporação são insignificantes
- um pequeno canal de terra não deve ser mais comprido que 1 a 1.5 km

Pode-se concluir que no caso que um canal transporta menos que 20 l/s (que é geralmente o caso com canais da distribuição em sistemas onde se cultivo hortaliças e culturas de campo: caudal manejável menos que 15 l/s), é apropriado de revestir os canais ou usar tubagem.

Entretanto, uma palavra de cuidado é precisa para linhas de tubos enterrados. Estas necessitam uma qualidade elevada de instalação para evitar problemas mais tarde: as perdas de água poderiam ser despercebidas e a reparação duma ruptura na linha precisa de recursos (perícia técnica, ferramentas, materiais do reparo) que provavelmente não estão dentro do alcance das associações de regantes.

Manual de Dimensionamento de Regadios

3.4.8 Selecção da bomba e do motor

O dimensionamento e a selecção da bomba e do motor são cruciais para minimizar os custos de investimento e os custos da exploração (Gestão, Operação e Manutenção).

É preciso enfatizar que o dimensionamento e a selecção da bomba e do motor são os últimos passos no processo do dimensionamento dum sistema de irrigação (veja FIGURA 3.2).

Os resultados directos do processo do dimensionamento são:

- o caudal da bomba (Q) no ponto da operação
- a altura manométrica (H_{man}) no ponto da operação

Para a selecção da bomba e do motor também um outro conjunto de variáveis mecânicas e económicas deve ser especificado:

- A eficiência da bomba (η_{bomba}). Para as bombas da irrigação a eficiência da bomba deve ser igual a 70% no mínimo a fim de limitar os custos de operação (custos de combustível).

- A potencia requerida do motor. Esta potência deve ser maior do que resulta de Q , H_{man} e η_{bomba} no ponto de operação porque as condições cada vez que uma bomba começa a funcionar requerem mais potencia (as linhas de tubagem necessitam de ser enchida, assim H_{man} é menor e Q é mais elevado do que no ponto da operação conforme a curva característica $Q-H_{man}$). Além disso uma determinada reserva de potência é necessária para condições de operação contínua. Todavia os motores demasiado sobre dimensionados (quer dizer um motor que trabalha constantemente em baixo da sua potencia; compare com um carro ou tractor que esta acelerado (pode desenvolver força), mas que esta parado) não são económicos e podem dar problemas mecânicos (veja CAIXA 3.4).

- a velocidade da bomba e do motor (RPM: rotações por o minuto). É recomendável que a velocidade seleccionada é relativamente baixa (1.500 RPM) para prolongar a vida da bomba e do motor.

- A 'Net Positive Suction Head' (NPSH) da bomba em função da altura geométrica máxima da sucção no local da bombagem

- Deve-se especificar que a bomba deve ser apto para transportar água suja (carregada com os sedimentos).

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 3.4 Motores Sobredimensionados

Em algumas sistemas do projecto SSIP (Mandruzi, Metuchira Pita) alguns regantes exprimiram duvidas sobre o motor diesel que foi acoplado na bomba. Na opinião deles este motor foi pequeno demais. Este é uma idéia errada. Os efeitos negativos dum motor sobredimensionado são os seguintes:

- Um investimento mais caro que necessário
- Custos de operação e manutenção mais altos que necessários (um consumo de gásóleo mais alto e menos eficiente)
- Um gasto mais rápido do motor (segmentos e cilindros) e um consumo mais alto de óleo de lubrificação porque trabalha constantemente muito em baixa da potência que pode fornecer

A posição da moto bomba merece uma menção especial. Em muitos lugares nas margens dos rios a amplitude entre níveis baixos (o mais relevante para a irrigação) e níveis elevados (cheias) é mais do que a altura máxima da sucção da bomba. Assim não é possível de posicionar a bomba numa posição fixa acima do nível de cheia mais elevada. Consequentemente a unidade da moto bomba deve ser móvel ou poderia ser instalada, situada abaixo do nível da cheia desde que é equipado com um mecanismo que pode levantar o motor acima do nível da cheia ou a moto bomba deve ser colocado numa estrutura à prova de água.

3.4.9 Nível de Detalhe do Dimensionamento

Em sua configuração ('lar Out.) e gestão um sistema de irrigação é estruturado em dois níveis:

- a. Nível de sistema (infra-estrutura de transporte e distribuição)
 - extracção da água (represa, açude, bomba)
 - transporte da água (canais, tubagem)
 - distribuição da água (caixas de distribuição, hidrantes)
 - aplicação de água (tomadas, mangueiras do campo)
- b. Nível do campo
 - divisão da parcela em unidades elementares de rega
 - canais do campo
 - micro nivelação

Para limitar os custos de investimento iniciais, o dimensionamento e a construção dum sistema de irrigação para camponeses/pequenos produtores é limitado ao primeiro nível, mas deve garantir que o nível de água nos canais e nas tomadas das parcelas é suficientemente elevado para poder cobrir toda área irrigável. Isso implica que os regantes – para regar eficientemente- necessitem preparar as suas parcelas dividindo-as

Manual de Dimensionamento de Regadios

em unidades elementares de rega (bacias, sulcos curtos de nível), construindo canais do campo e fazer micro nivelção das bacias.

3.4.10 Incertezas sobre o uso dos sistemas de irrigação

A prática mostrou que o uso dum sistema construído está em alguns casos um incógnito, principalmente em sistemas c/ bomba. Principalmente, há pouca seguridade sobre a intensidade da produção (padrão de culturas, a área que é regada de facto vs área irrigável) que será atingido (veja também a secção que trata do estimativo das necessidades da água de rega). Frequentemente, os sistemas construídos não são usados ou só parcialmente pelos regantes. Para minimizar este fenómeno o processo inteiro do desenvolvimento da irrigação deve ser melhorado, particularmente a fase da identificação e o processo de participação. Embora o aproveitamento suboptimal do sistema não é normalmente uma questão no âmbito do dimensionamento técnico do sistema de irrigação, o sistema dimensionado poderia em alguma medida incorporar alguma flexibilidade, bastante para lidar com algumas situações, por exemplo, em caso que o caudal da bomba tem que ser dividido para obter caudais manejáveis para 2 canais da distribuição, por exemplo. Isto implica que no nível de sistema dois regantes devem regar simultaneamente para não derramar a água. Todavia, é possível que somente um regante está interessado ou tem condições de regar. Neste caso há três possibilidades de operação:

- diminuindo o caudal da bomba diminuindo a velocidade do motor diesel.
- fechando parcialmente a válvula de passagem da bomba para diminuir o caudal da bomba. Esta é uma prática particularmente ineficiente porque o ponto da operação da bomba está deslocando à parte ineficiente da curva da bomba (Q-Hman).
- Meter todo caudal da bomba num único canal da distribuição. Mas isto implica que os canais e as estruturas da distribuição necessitam de ser dimensionados para o caudal máximo (igual ao caudal da bomba). Também as tomadas das parcelas necessitam de ser dimensionadas para todo o caudal do sistema (bomba) ou alternativamente, o caudal do canal deve ser dividido em varias partes ou deve se utilizar sifões adicionais. Qualquer que seja a solução o regante tem que mobilizar força de trabalho adicional para regar com um caudal maior que o caudal manejável. De qualquer maneira são todas soluções suboptimais em relação a distribuição prevista no dimensionamento.

Os problemas que poderiam ocorrer se houvesse uma incerteza no uso do sistema, podem ser em certa medida contornados se o tamanho da área irrigável e da moto bomba é adaptado a uma única unidade de caudal manejável (8-15 litros/seg para culturas 'normais') que corresponde com um sistema de irrigação de 5-10 ha servidos por somente um canal (de distribuição). Nesta maneira uma área irrigável de 20 ha será dividido em 2 subsistemas independentes de 10 ha ou em 3 subsistemas independentes de 7 ha, cada subsistema com seu próprio canal da distribuição e a sua própria bomba. Neste caso somente um único regante esta regar de cada vez em cada subsistema e não depende de outros. Em lugar de pagar uma taxa de exploração, ele pode pôr o seu próprio combustível no motor e trabalhar com aquele. Contudo, o problema dos custos de manutenção da moto bomba e do canal não é resolvido. Além disso, os custos de investimento são provavelmente mais elevados por causa da necessidade de mais unidades de moto bombas (2 para 10 ha cada ou 3 para 7 ha cada vs. 1 unidade da bomba para 20 ha).

Manual de Dimensionamento de Regadios

3.4.11 Estimativa e comparação de custos

Para fazer um dimensionamento eficiente (minimizar custos), para comparar as várias alternativas (por exemplo tubagem vs. opções de canal; canal revestido vs canal em terra etc.) e para estimar custos de investimento é necessário que o técnico dispõe sobre uma base actualizada de dados dos custos reais da construção calculados na base de recursos usados (força de trabalho, equipamento, materiais) e de métodos do trabalho (por exemplo transporte do solo dos lados para construir um aterro vs. um câmara de empréstimo numa distância de 500 m) nas actividades da construção. Isto deve constituir a base para a determinação do orçamento e os tectos de custos para organizações de financiamento e de execução, a avaliação de propostas de empreiteiros e para a comparação e a avaliação económica de tecnologias diferentes da construção. Nota-se que uma base actualizada de custos de construção não existe neste momento em Moçambique. Consequentemente, a determinação de custos de investimento para projectos da irrigação neste momento não tem uma base real ou uma base muito fraca. A elaboração duma base de custos reais de construção, calculados na base de recursos e de métodos usados da construção é absolutamente necessário.

Manual de Dimensionamento de Regadios

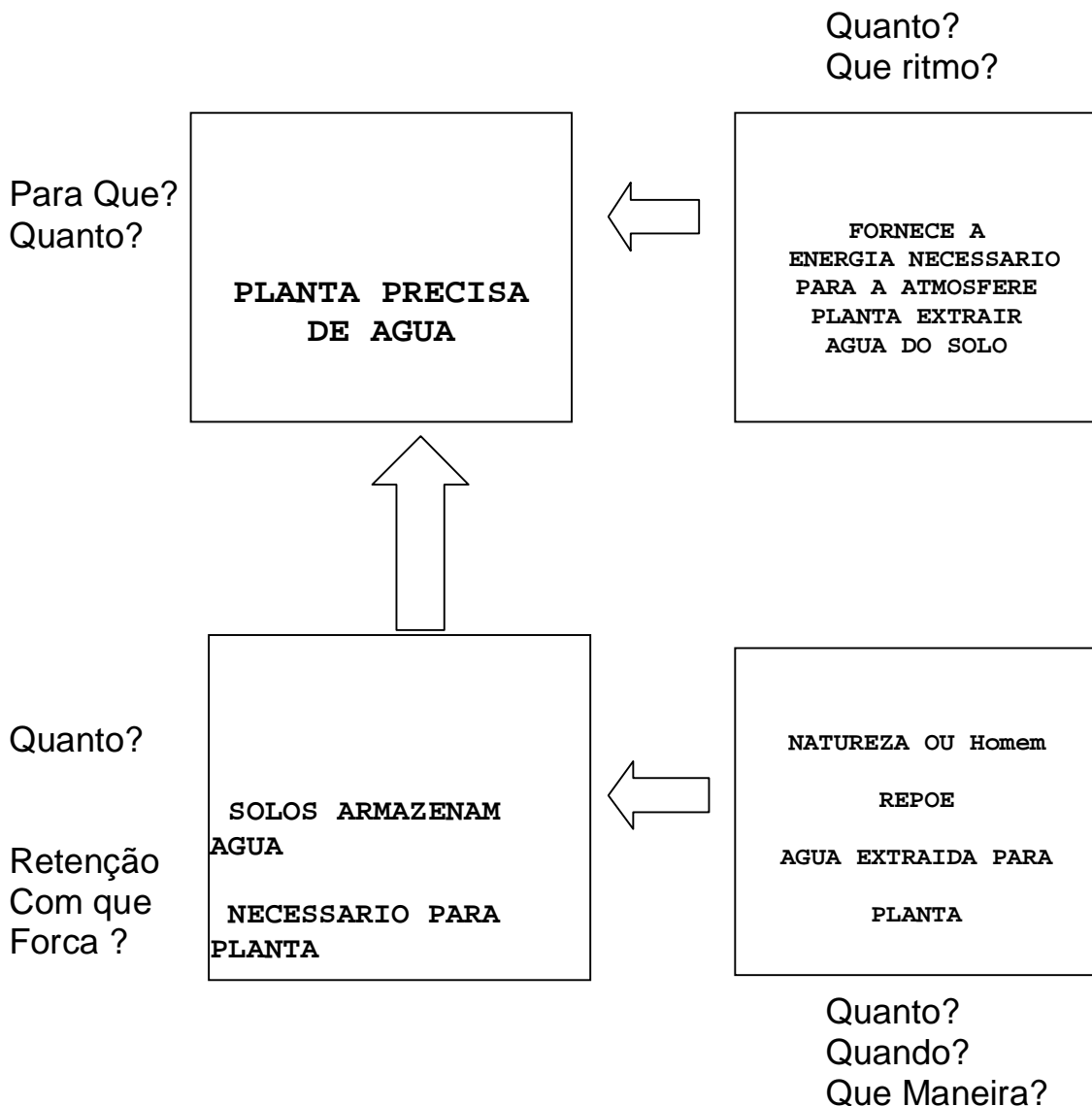
4. AS RELACOES NO COMPLEXO ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO

4.1. Esboço do Complexo Atmosfera-Agua-Planta-Solo

Plantas precisam de água para crescer e produzir. A atmosfera fornece a energia para um fluxo de água que vai desde o solo através da planta para a atmosfera. A água necessária para o crescimento da planta vem de fontes naturais (precipitação etc). Em caso que estas fontes não fornecem quantidades suficientes de água, irrigação seria necessária. Um sistema de rega fornece água ao solo que actua como um reservatório.

Um esboço do complexo Atmosfera-agua-planta-solo e as suas inter-relações é representado na FIGURA 4.1

FIGURE 4.1 **COMPLEXO PLANTA - SOLO - AGUA - ATMOSFERE**



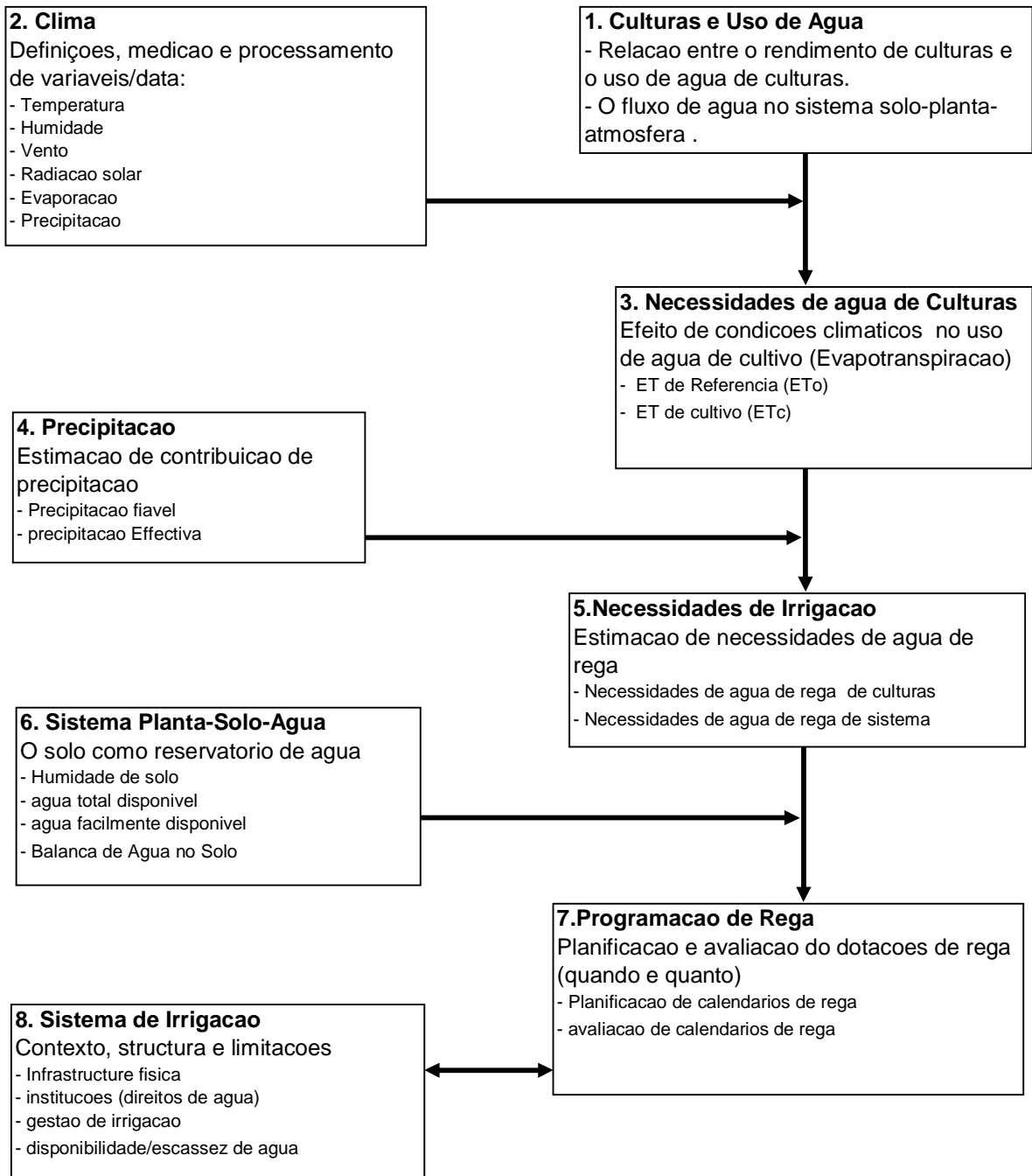
Manual de Dimensionamento de Regadios

Este complexo é um dos pilares básicos de dimensionamento e gestão de qualquer sistema de irrigação. Neste manual o funcionamento deste complexo e sua operacionalização no dimensionamento dum sistema são tratados conforme a estrutura da FIGURA 4.2.

Nas seguintes secções do Cap. 4 os diferentes elementos deste complexo são tratados.

Um tratamento detalhado das Relações no complexo Planta-Agua-Solo-Atmosfera encontra-se na REFERENCIA 22.

Estrutura de Relações entre Cultura-Agua-Solo-Atmosfera



Manual de Dimensionamento de Regadios

4.2. O papel de Agua na Planta

* *Funções da agua na planta*

Transpiração: controlo de temperatura

Fotossínteses: Água serve como reagente em processos fisiológicos como o fotossínteses:



Crescimento: constituição de órgãos de plantas. 60 to 90 % do peso fresco dos órgãos de plantas consiste de água

Apoio estrutural: o turgor deve ser mantido nas células

Transporte: de minerais (nutrientes), gases e outros solutos

Transpiração conta para o maior parte da água necessário: 95 - 99 % da água extraída por as plantas é utilizada para a transpiração.

* *Relação fundamental entre produção vegetal e uso de água de culturas*

Fotossínteses (ou produção vegetal) e transpiração (ou consumo de água da cultura) são processos inter-relacionadas. Para o processo de fotossínteses: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{luz do sol} \rightarrow \text{Carbohydrates} + \text{O}_2$, eh necessario que dióxido de carbono (CO_2) do atmosfere entra a planta através das stomatas (são poros nas folhas da planta). Estas estromas fecham se o stress hídrico na planta -como uma consequência do desequilíbrio entre a demanda evaporativa da atmosfera e o fluxo de água do solo para planta- aumenta em cima duma certa limite. Neste caso a assimilação do CO_2 esta bloqueada e o fotossínteses diminui ou para completamente, quer dizer o rendimento da cultura fica afectado. Podemos concluir que a produção vegetal (rendimento da cultura) é directamente relacionada com o uso de água da cultura (transpiração).

Há muitas aproximações da relação entre o rendimento e a transpiração da cultura.

O mais simples é dado pelo seguinte formula conforme a metodologia descrita na REFERENCIA 32.

REDUCAO relativa de RENDIMENTO = K_y * DEFICIT relativa de TRANSPIRACAO
Em que: K_y = factor de resposta de rendimento ('yield response factor').

O k_y é uma característica de cada cultura e é também função da fase de crescimento.

Exemplo: para batata rena: $K_y = 1.1$ (calculado sobre todo o período de crescimento)
Isto quer dizer que uma deficit relativa de transpiração de 10 % (em relação à máxima) , dividido proporcionalmente sobre o período total de crescimento, resulta numa redução relativa de rendimento de 11 % (em relação à máxima).

Manual de Dimensionamento de Regadios

O valor de K_y é uma indicação da sensibilidade de cultura para o stress hídrico. Maior o factor K_y mais sensível a cultura a seca.

A REFERENCIA 31 fornece um método prático para estimar os efeitos de água no rendimento das culturas.

O produção actual do material seco por unidade de água depende do tipo de cultura (capacidade de fotossíntese) e da temperatura. A eficiência de uso de água ('water use efficiency': WUE) é normalmente definido como a quantidade de água necessário para produzir uma unidade de material seca ('biomass water ratio'). Em agricultura irrigada o WUE pode ser também definido como a produção vegetal económico (colheita) por unidade de água de irrigação aplicado no campo. Para as diferentes definições de WUE e os valores de WUE para diferentes culturas veja REFERENCIA 31.

ATENCAO

A eficiência de utilização de água (water use efficiencies: WUE) é um indicador de desempenho agronómico e não deve ser confundido com eficiências de irrigação que são parâmetros de desempenho técnico, que indicam a percentagem de água de rega fornecido aos vários níveis do sistema que é utilizado eficientemente no nível de produção vegetal.

4.3. Necessidades de Água de Culturas

4.3.1. Factores Climáticos e Demanda Evaporativa de Atmosfera

Se as plantas não têm falta de água e todos as outras condições são favoráveis, a quantidade de água perdido pela canopia da cultura é principalmente determinado por o ambiente atmosférica física, particularmente por a radiação e temperatura do ar que fornece a energia necessária para evaporar a água. O transporte do vapor de água para a atmosfera depende da velocidade de vento e a humidade de ar.

ATENCAO

HÁ 4 factores climáticos que determinam demanda evaporativa de atmosfera:

- Radiação Solar
- Humidade
- Vento
- Temperatura

4.3.2. Evapotranspiracao

* Importância de Evapotranspiracao

A Evapotranspiracao é a quantidade de água que uma cultura perde para a atmosfera. É praticamente igual a água que uma cultura necessita para o seu crescimento. Informação

Manual de Dimensionamento de Regadios

de evapotranspiração é necessário para dimensionar reservatórios de água e canais de rega. A capacidade de armazenagem e transporte é proporcional a evapotranspiração. Se a disponibilidade de água é limitada, informação sobre a evapotranspiração seria necessário para estimar a quantidade de terra que pode ser irrigada a partir duma fonte de água. Conhecimento de evapotranspiração também é necessário para a determinação de calendários de rega. A frequência de irrigação é directamente proporcional com a magnitude de evapotranspiração.

A evapotranspiração de referência (ET_o) é a quantidade de água consumido por uma cultura Standard de relva que cresce sob condições optimais. A ET_o reflecte o efeito de condições climáticas no uso de água de cultura. Entretanto normalmente a cultura de interesse é diferente da relva Standard, de maneira que o consumo de água da cultura (ET_{crop}) será diferente da relva sob as mesmas condições climáticas. Além disso a evapotranspiração duma cultura muda no ciclo de crescimento. Ratios determinados experimentalmente de ET_{crop}/ET_o , chamados coeficientes de cultura (crop coefficient: k_c) são utilizados para relacionar ET_{crop} e ET_o .

* Definições

a. Evaporação (E)

Evaporação é a perda de água de superfícies como lagoas, solos e vegetação molhada. A evaporação é determinada por as condições climáticas. Para solos molhadas conta também a capacidade do solo para transmitir água para a superfície.

b. Transpiração (T)

A transpiração é a evaporação de uma superfície da planta. É a perda da água pelos tecidos de planta, principalmente através das estomas. É a água que entrando nos raízes passou através da planta para a atmosfera. Somente uma proporção muito pequena da água absorvida é consumida na actividade metabólica da planta. A transpiração é controlado por:

- factores climáticos (demanda atmosférica)
- a vegetação (tipo, desenvolvimento da planta)
- a condição da humidade no solo.

c. Evapotranspiração (ET)

Evapotranspiração é a soma da perda de água da superfície do solo através da evaporação (E) e da água perdida das plantas pelo transpiração (T). A Evapotranspiração (ET) é a quantidade total de água perdida pela canopia da cultura à atmosfera. A evaporação da superfície do solo é incluída porque é, na maioria de casos, uma perda inevitável da água na zona radicular. A perdas de águas por evapotranspiração tem que ser substituída pela precipitação ou pela irrigação. A evapotranspiração é controlada por:

- factores climáticos (demanda atmosférica)
- a vegetação (tipo de cultura, desenvolvimento da cultura),
- a condição da humidade do solo.

A proporção de E em relação a T depende da superfície nua do solo não coberto pela canopia da cultura. Na sementeira 100% de ET vem da evaporação (E), quando a cultura cobre todo o campo mais de 90% de ET vem da transpiração (T).

Manual de Dimensionamento de Regadios

d. A evapotranspiracao de referência (ET_o)

O efeito do clima (demanda atmosférica) na evapotranspiracao da cultura é estimado pelo evapotranspiracao duma cultura de referência sob condições optimais. Como tal, as características da planta que afectam a transpiração não precisam ser consideradas. Supõe-se também que a cultura de referência não tem nenhuma falta de água. Assim, as condições da humidade do solo são optimais e somente a demanda atmosférica (factores climáticos) determinam o nível do evapotranspiration. Esta evapotranspiracao da cultura de referência (ET_o) é definida tradicionalmente como "a evapotranspiration de uma superfície extensiva de relva com uma altura uniforme de 8 a 15 cm, crescendo activamente, que cobre completamente a terra e que não tem falta de água".

Mais tarde esta definição foi ainda mais especificada e refinada (veja REFERENCIA 34), mas a essência do conceito de evapotranspiração de referencia não mudou.

O nível médio da evapotranspiracao de referência para diferentes regiões agro-climáticas é dado na TABELA 4.1

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.1 Evapotranspiracao de Referencia (ET_o) para diferentes Regiões agro-climáticas

Regiões	Temperatura media diária (°C)		
	<10 Frio	20 moderado	> 30 quente
TROPICOS LatITUDE 0 - 20°	ET_o (mm/dia)		
Húmido	3 – 4	4 – 5	5 – 6
sub-húmido	3 – 5	5 – 6	7 – 8
semi-árido	4 – 5	6 – 7	8 – 9
árido	4 – 5	7 – 8	9 – 10
SUBTROPICOS Lat. 20 – 40° Precipitação no Verão			
Húmido	3 – 4	4 – 5	5 – 6
sub-húmido	3 – 5	5 – 6	6 – 7
Semi-árido	4 – 5	6 – 7	7 – 8
Árido	4 – 5	7 – 8	10 – 11
Precipitação no Inverno			
(sub) húmido	2 – 3	4 – 5	5 – 6
semi-árido	3 – 4	5 – 6	7 – 8
Árido	3 – 4	6 – 7	10 – 11
TEMPERADOS Lat. 40 – 60°			
(sub) húmido	2 – 3	3 – 4	5 – 7
(semi) -árido	3 – 4	5 – 6	8 – 9

Nota: os valores **marcados** são representativos para Moçambique

Esta tabela mostra claramente que a evapotranspiração está dentro de limites bastante estreitos. Em Moçambique a evapotranspiração de referência se encontra na faixa entre 3 (Junho-Julho) e 8 (Outubro-Novembro) mm/dia.

e. A evapotranspiração da cultura (ET_{crop})

O efeito de características da cultura na evapotranspiração é reflectido pelo coeficiente da cultura. Este apresenta o relacionamento entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e

Manual de Dimensionamento de Regadios

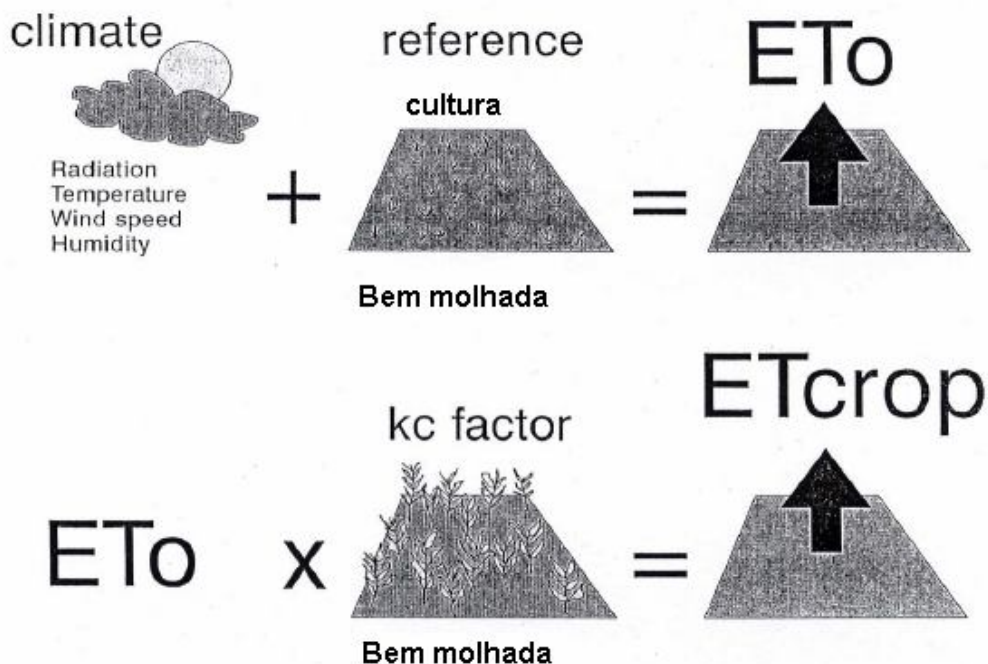
o evapotranspiração potencial ou máximo (ET_{crop} ou ET_m) da cultura (Veja FIGURA 4.3) conforme a EQUACAO 4.1.

$$ET_{crop} = kc * ETo. \quad (\text{EQUACAO 4.1})$$

Os valores do kc variam com a cultura e o seu estágio do crescimento. Ao definir o evapotranspiration potencial da cultura (chamado também necessidades da água da cultura: 'crop water requirements' em Inglês) supõe-se que a cultura é livre de doenças e que a cultura está crescer numa extensão grande com uma disponibilidade ampla da água, e cuidados agronómicos óptimos. A partir desta definição os factores que determinam o nível do evapotranspiration potencial são:

- A demanda atmosférica que determina o nível da evapotranspiração de referencia (ETo)
- As características de cultura (por exemplo cobertura de solo, altura de plantas, rugosidade de canopia, albedo ou reflectividade etc..) afectando a evapotranspiração (kc).

FIGURA 4.3 Factores na determinação de Evapotranspiração de Referencia (ETo) e Evapotranspiração da Cultura (ET_{crop})



f. Evapotranspiração real (ET_{act})

Quando as condições da humidade do solo não são óptimas a cultura está sob stress. Neste caso a evapotranspiration real (ET_{act}) será menor do que a potencial (ET_{crop}). A evapotranspiração real da cultura é a evapotranspiração da cultura condicionado pelo nível de humidade disponível no solo. Por exemplo, a evapotranspiração potencial em

Manual de Dimensionamento de Regadios

Outubro no distrito de Chicualecualé é bastante alto (7-8 mm/dia), contudo a evapotranspiração real é muito baixa porque simplesmente não há água no solo.

ATENÇÃO

É normal nas condições de agricultura de sequeira e também de regadio em Moçambique que a evapotranspiração real é (muito) menos que a evapotranspiração potencial. Em primeiro lugar há a questão da humidade no solo. Na agricultura de sequeira, o controlo sobre a humidade no solo é limitado. Contudo, nota-se que os produtores 'inventaram' adaptações para compensar a falta de humidade no solo, como culturas e variedades resistentes à seca, densidade de sementeira etc. Em principio pode haver controlo da humidade no solo na agricultura de regadio, mas depende da realização duma programação de rega correcta. Em segundo lugar, normalmente há outros factores limitantes que restringem o consumo de água (evapotranspiração) da cultura, por exemplo, quando as terras são esgotadas (falta de fertilidade), quando há doenças que afectam a cultura, quando os cuidados agronómicos (preparação de terra, monda) não são suficientes etc.

* Unidades

A evapotranspiração (em Inglês 'consumptive use') pode ser imaginada como uma camada de água que se perde por unidade de tempo. Pode ser expressada em [mm/dia] ou em [mm/mês] ou em [mm/semana] ou em [mm/intervalo de rega] ou em [mm/ciclo de crescimento].

ATENÇÃO: 1 mm/dia = 0.116 litro/seg/ha (caudal fictício contínuo)

4.3.3 Determinação da Evapotranspiração de Referência (ET_o)

A evapotranspiração da cultura de referência pode ser determinado directamente com lisímetros ou indirectamente mediante a evaporação dum tanque ou por cálculo a partir de dados meteorológicos. No dimensionamento normalmente utilizamos valores determinados pelo último método.

* Métodos do cálculo usando dados meteorológicos

Dados meteorológicos são usados extensamente no cálculo de Evapotranspiração ('crop water requirements'). Muitas fórmulas foram desenvolvidas e testadas, das puramente empíricas baseadas em somente uma variável até as mais sofisticadas baseadas no análises de processos físicos complicados. Neste manual só vamos tratar um método de cálculo que geralmente é considerada como dando os valores mais exactos, que é o método de Penman-Monteith

* Método/ Equação do Penman-Monteith

Estudos recentes mostraram convincentemente que o método de Penman-Monteith aproxima melhor a evapotranspiração de referência (veja REFERÊNCIAS 22 e 34). A

Manual de Dimensionamento de Regadios

elaboração de método e a derivação da respectiva equação de Penman-Monteith é complicado e laborioso. No contexto deste manual isto também não é relevante. Mais detalhes a respeito do método do Penman-Monteith de FAO podem ser encontrados na REFERENCIA 34, FAO Irrigation and Drainage paper 56, Crop Evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements.

No âmbito deste manual de dimensionamento utilizamos 2 métodos para determinar valores de ETo:

1. CROPWAT. O programa de computador CROPWAT calcula o ETo com o método do Penman-Monteith usando as seguintes variáveis:

- Posição do local (Latitude, Longitude, Altura)
- Temperatura
- Velocidade de Vento
- Radiação
- Humidade (relativa)

2. CLIMWAT. Esta base de dados contem os valores mensais de ETo de muitos locais em todo Moçambique. Esta base de dados se encontra dentro do programa CROPWAT no CD anexado. Na REFERENCIA 7 também se encontram os valores mensais de ETo.

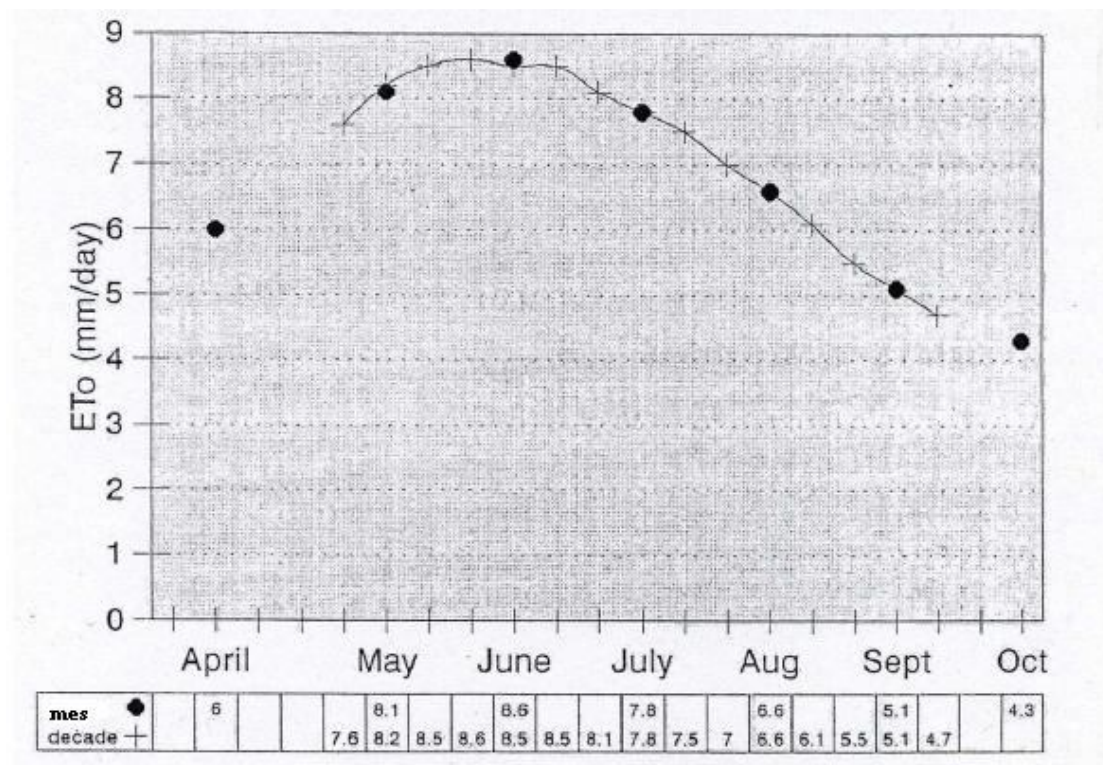
* Determinação de ETo por década

A variabilidade anual de ETo é grande quando se considera períodos curtos como um dia porque as condições meteorológicas variam muito de dia por dia. Porém, quando se considera períodos mais longos a variação diminua consideravelmente. Num período dum mês a variação de ETo dum ano para outro ano pode-se considerar insignificante para objectivos de dimensionamento. Por isso os valores médios diários de ETo são computados a partir dos dados climáticos médios mensais. Normalmente este valor médio mensal de ETo será suficientemente exacto para servir como base para calcular as necessidades da água da cultura para o dimensionamento, principalmente quando se trata dum padrão de policulturas. Em alguns casos, por exemplo, quando a água da irrigação tem que ser aplicadas em intervalos curtos e quantidades exactas (que envolvem métodos específicos da irrigação como gota a gota) e/ou a água disponível é escasso e/ou monoculturas com grande valor económico (p.e açúcar) são cultivadas, o cálculo do ETo precisa de refinamento a partir dos dados climáticos médios de períodos mais curtos que um mês (por exemplo, década ou 10 dias).

Para converter valores mensais em valores por década pode-se seguir um procedimento de interpolação, ilustrado em FIGURA 4.4. O programa CROPWAT também utiliza este procedimento.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.4 Determinação gráfica de valores de ET_o por década a partir de valores mensais



4.3.4. Evapotranspiration de Cultura (ET_{crop})

Relacionamento ET_o - ET_{crop}

ET_o é o consumo da água por uma cultura de referência (por uma definição veja secção 4.3.2) que cresce sob condições ótimas. Reflete o efeito de condições climáticas no consumo de água da cultura. Contudo, muitas culturas de interesse são em varias características diferentes da cultura de referência, de modo que a evapotranspiração da cultura (ET_{crop}) seja diferente da cultura de referência (ET_o) sob as mesmas circunstâncias climáticas.

Estas diferenças incluem:

1. Diferenças na anatomia da folha como p.e. folhas cobertas com cera e/ou cabelos . As culturas com estas características tem uma ET_{crop} mais baixo que ET_o .
2. Diferenças na padrão de transpiração. Algumas culturas, como ananás/ abacaxi fecham as suas stomatas durante o dia e transpirem na noite. Na ausência da radiação a ET_{crop} é mais baixa na noite.
3. Diferenças na arquitectura da cultura, tal como a altura de plantas e a rugosidade da canopia. As culturas com altura grande, tais como o milho, tem uma rugosidade maior,

Manual de Dimensionamento de Regadios

criando assim mais turbulência no ar que passa sobre as plantas. Daqui, transpire mais do que a relva curta

4. Diferenças no albedo (reflectividade) causado por diferenças na pigmentação e na cobertura da terra.

Devido a estas diferenças, algumas culturas tais como o algodão e milho tem um ET_{crop} maior que ET_o , quando outros, tais como os citrinos e o abacaxi tem uma ET_{crop} menor que ET_o em condições ótimas e cobertura completa das culturas.

As diferenças na forma da canopia da cultura e a resistência aerodinâmica relativo à cultura da referência são incorporadas nas coeficientes de cultura (k_c). Os valores de k_c são iguais às coeficientes ET_{crop}/ET_o que são experimentalmente determinadas.

Expressado num EQUACAO:

$$ET_{crop} = k_c * ET_o$$

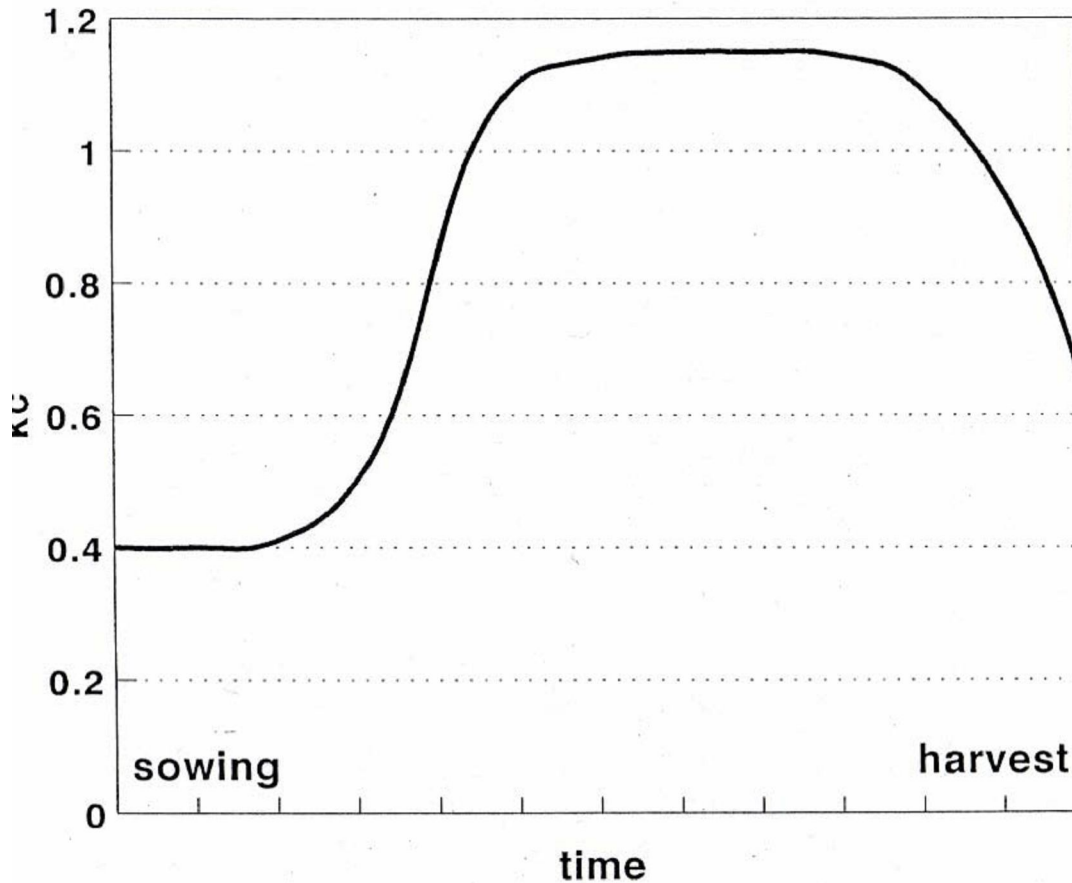
Nota que os valores de k_c , assim determinados, somente são relacionadas com culturas livres de doença, crescendo em extensões grandes sob condições ótimas de fertilidade e água no solo.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) muda no curso do ciclo de crescimento (FIGURA 4.5). A coeficiente da cultura (k_c) aumenta a partir da sementeira até a cobertura total quando a cultura aumenta sua área da folhagem e as raízes se desenvolvam para extrair água dum volume maior do solo. Da maturidade até a colheita o k_c diminui quando as folhas envelhecem e morrem. Isto significa que para uma cultura dada, o k_c não é constante durante todo seu período do crescimento. O valor do k_c depende fortemente do estágio do crescimento de cultura. Outros factores, tais como a frequência da precipitação ou da irrigação afectam também o valor de k_c .

As mudanças de valores do k_c para uma cultura são representadas normalmente por uma curva do k_c , que comece na sementeira e continua até a colheita. Uma curva típica do k_c é dada em FIGURA 4.5.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.5 Exemplo da variação da coeficiente k_c no ciclo de crescimento.
(sementeira → colheita)



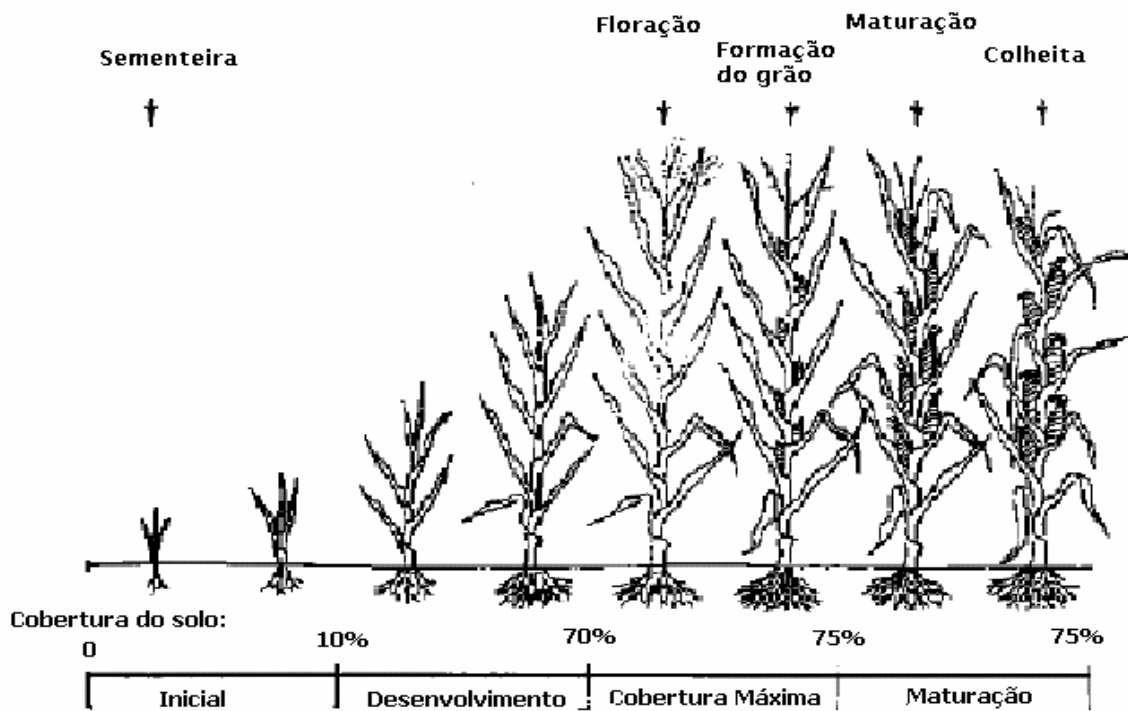
Estágios de crescimento da cultura

Esquemáticamente, para todas as culturas anuais de campo, o período de crescimento pode ser dividido nos seguintes estágios/ fases (veja FIGURA 4.6):

1. A fase inicial: da sementeira/germinação até o estabelecimento da cultura. Aumento gradual da cobertura vegetativa. Solo exposto com cobertura vegetativa abaixo de 10%.
2. A fase do desenvolvimento da cultura: do fim do estágio inicial até a cobertura completa. Aumento rápido da cobertura vegetativa até a cobertura completa.
3. A fase de cobertura máxima: cobertura completa, aproximadamente constante até o começo da maturidade quando as folhas começam de envelhecer e cair. Floração e formação de colheita. Cobertura da terra quase constante.
4. A fase de maturação: do início da maturidade até a colheita. Folhagem que amarelece e defoliação rápida em alguns casos. Folhas velhas transpirem menos.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.6 Fases de crescimento do milho



O comprimento do ciclo total da colheita e da duração dos estágios de crescimento deve ser determinado da informação local porque são específicos do local, depende da data de sementeiro/plantação e da variedade plantada. A data de sementeira determinará o regime da temperatura para o resto do período do crescimento. Isto afecta a taxa do desenvolvimento da cultura.

As durações aproximadas de estágios do crescimento para várias culturas de campo são dadas na TABELA 1 do ANEXO 5.

Coefficientes da cultura

a. As culturas anuais

A maioria das culturas do campo pertence a este grupo. O seu ciclo de crescimento pode ser dividido em 4 estágios/fases: estação inicial, do desenvolvimento, desenvolvimento máximo e a maturação.

Manual de Dimensionamento de Regadios

O procedimento para determinar a curva individual da k_c duma cultura é o seguinte:

1. Determine a data aproximada de sementeira a partir da informação local
2. Determina a duração média dos 4 estágios do crescimento da cultura da informação local ou da TABELA 1 no ANEXO 5.
3. Determine o valor do k_c para o estágio inicial. No estágio inicial o k_c é baixo porque a transpiração esta baixa. Sendo a ET_{crop} a soma da evaporação do solo e do transpiração da cultura, o k_c dependerá do tempo em que o solo está molhado. A evaporação do solo é elevado num solo molhado e diminui quando o solo seca. Este efeito é importante durante o estágio inicial. A Chuva ou irrigação (quantidade total e intervalo) determina ate um certo grau o valor médio da k_c no estagio inicial. O valor aproximado do k_c no estágio inicial pode ser derivado da TABELA 4.2. Os valores do k_c inicial para as culturas diferentes conforme o intervalo requerido são dados na TABELA 2 no ANEXO 5.

TABELA 4.2 valores de k_c para o estágio inicial da cultura.

Intervalo entre turnos de rega ou precipitação significativa	2 dias	4 dias	7 dias	10 dias
k_c	0.9	0.65	0.5	0.3

4. Seleccione os valores do k_c para a fase de desenvolvimento máximo e na colheita a partir da TABELA 2 no ANEXO 5. Uma correcção menor dos valores apresentados pôde ser necessário na função de condições climáticas gerais, especialmente de vento e de humidade. Recomenda-se aumentar os valores com 5 % para circunstâncias secas e ventosas, e diminuir os valores com 5 % para condições frescas e húmidas.
5. Desenvolva uma curva da k_c . O procedimento é apresentado esquematicamente na TABELA 4.3. A curva resultante da k_c para o milho é mostrada em FIGURA 4.7.

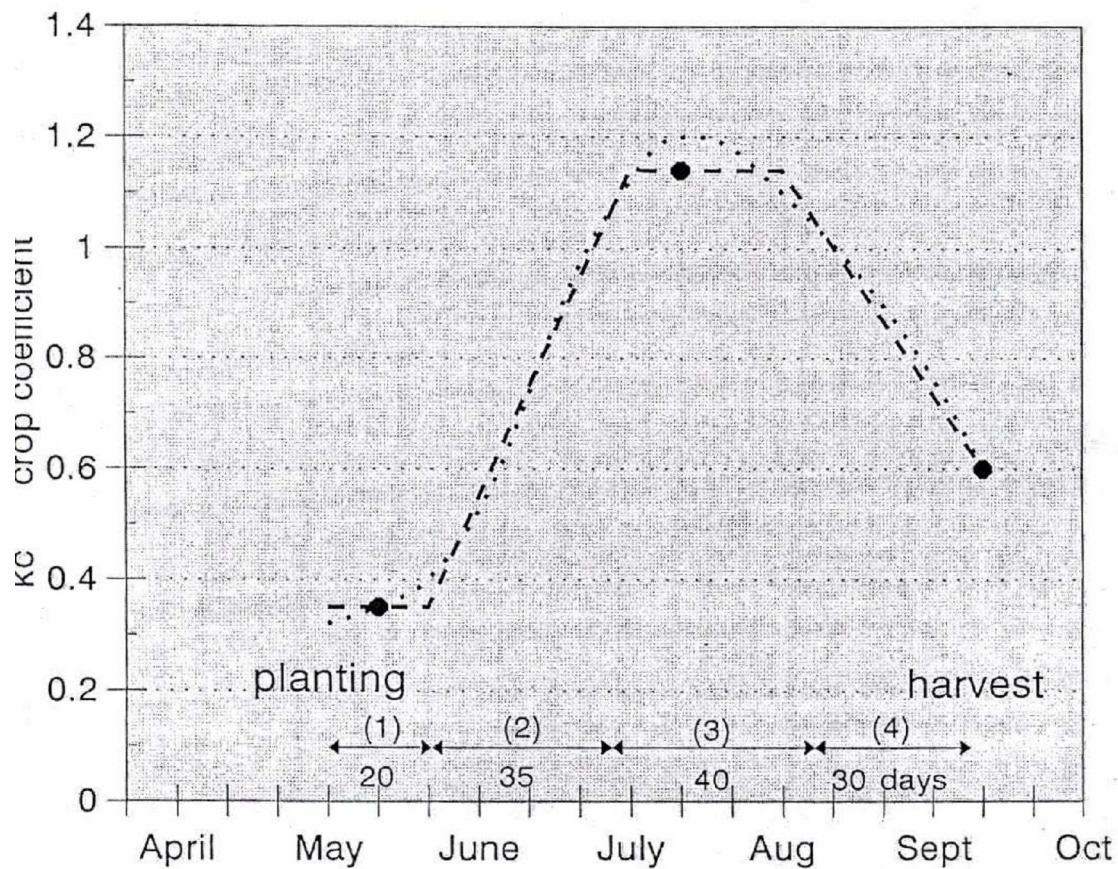
Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.3 Exemplo do desenvolvimento numa kc - curva para algumas culturas

<u>Cultura</u>	Milho	Algodão	Couve	Tomate
<u>fase inicial</u>				
Intervalo de rega	comprido	comprido	curto	muito curto
Temperatura na sementeira	quente	mto quente	quente	fresco
<u>Duração dos fases de crescimento</u>				
Inicial fase	20	30	20	30
Desenvolvimento	35	50	30	40
Cobertura máxima	40	55	20	40
Maturação	30	45	10	25
<u>Coefficiente da cultura</u>				
Inicial	0.35	0.30	0.60	0.70
Desenvolvimento	-	-	-	-
Cobertura máxima	1.15	1.20	1.05	1.20
Maturação	-	-	-	-
colheita	0.60	0.65	0.90	0.65

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.7 Exemplo (da construção) duma curva da coeficiente de cultura



b. Arroz

Os valores da k_c durante o período do crescimento do arroz não diferem muito porque o solo normalmente é saturado. As diferenças em k_c são somente devido às condições da humidade do ar e do vento. Valores sugeridos são dados na TABELA 4.4

TABELA 4.4 Valores sugeridos de k_c para arroz

	1° e 2° mês	Cobertura Máxima	Ultimas 4 semanas
Período de chuva (RHmin > 70 %)	1.10	1.05	0.95
	- vento fraco ate moderado	1.15	1.00
	- Vento forte		
Período seco (RHmin < 70 %)	1.10	1.2-1.25	0.95-1.00
	- vento fraco ate moderado	1.15	1.00-1.05
	- Vento forte		

Manual de Dimensionamento de Regadios

c. Outras culturas

Os valores sugeridos do k_c para pastos permanentes, cana de açúcar, uvas, árvores de fruta são dados na TABELA 2 do ANEXO 5.

Uma informação mais detalhada, casos especiais e exemplos são dados também nas REFERENCIAS 22 e 34.

Cálculo de ET_{crop}

A evapotranspiration da cultura (ET_{crop}) é computado a partir de ET_o e de k_c pela equação $ET_{crop} = k_c * ET_o$.

Os passos requeridos para calcular ET_{crop} (para um exemplo, veja TABELA 4.5) são os seguintes:

1. Calcule a ET_o para o ciclo de crescimento.
2. Desenhe a curva dos valores mensais de ET_o . Eventualmente faça estimativas de períodos de décadas conforme o método na secção 4.3.3.
3. Constrói uma curva da k_c para a cultura. Eventualmente faça estimativas de períodos de décadas conforme o método na secção 4.3.4.
4. Calcule finalmente ET_{crop} para cada mês ou cada década como: $ET_{crop} = k_c * ET_o$.

TABELA 4.5 Exemplo do cálculo de ET_{crop}

Milho – ciclo de crescimento: 125 dias Fase Inicial (20 dias): 15 Maio - 5 Junho Desenvolvimento (35 dias): 6 Junho – 10 Julho Cobertura máxima (40 dias): 11 Julho - 20 Agosto Maturação (30 dias): 21 Agosto - 20 Setembro A curva do coeficiente de cultura se encontra na Figura 4.7					
Mes	Década	ET_o mm/dia	K_c	ET_{crop} mm/dia	ET_{crop} mm/dec
Maio	2	5.0	0.35	1.75	8.8
	3	5.3	0.35	1.86	18.6
	1	6.0	0.40	2.40	24.0
Junho	2	6.3	0.60	3.78	37.8
	3	6.8	0.80	5.44	54.4
	1	7.0	1.00	7.00	70.0
Julho	2	7.5	1.15	8.63	86.2
	3	7.5	1.15	8.63	86.2
	1	7.0	1.15	8.05	80.5
Agosto	2	7.0	1.15	8.05	80.5
	3	6.5	1.00	6.50	65.0
	1	6.5	0.80	5.20	52.0
Setembro	2	6.0	0.60	3.60	36.0
	A evapotranspiration potencial da cultura (ET_{crop}) no ciclo de crescimento é 700 mm				

Manual de Dimensionamento de Regadios

O programa CROPWAT

A divisão da terra e da água de FAO (AGLW) desenvolveu o programa de computador de CROPWAT para calcular as necessidades da água de cultura e de irrigação a partir dos dados climáticos e da cultura. Além disso, o programa permite o desenvolvimento e a avaliação de programação da irrigação para condições diferentes de gestão e o cálculo de necessidades de rega ao nível do sistema para diversos padrões de culturas. No programa de CROPWAT, a Evapotranspiração de referência ETo é calculada pela equação do Penman-Monteith, baseada nas variáveis climáticas (temperatura, humidade do ar, velocidade de vento e luz do sol diária) e na posição geográfica da estação meteorológica. ET_{crop} é calculado para cada década de acordo com o procedimento esboçado na secção 4.3.4.

Manual de Dimensionamento de Regadios

4.4. Precipitação

A distribuição da precipitação é altamente variável no espaço e no tempo. Uma classificação global das zonas climáticas (veja MAPAS 2.1 e 2.2 em Cap. 2) em base de precipitação anual é representada em TABELA 4.6.

TABELA 4.6 **Ordem de grandeza da Precipitação nas zonas climáticas globais**

Zonas Climáticas	Precipitação Anual (mm)	Período Húmido (meses)
Deserto	< 100	0 - 1
Árido	100 - 400	1 - 3
Semi-arido	400 - 600	3 - 4
Sub-húmido	600 - 1,500	4 - 9
Húmido	> 1,500	9 - 12

A irrigação é preciso quando a quantidade de precipitação é menos que o consumo máximo da água da cultura. "O período húmido" na TABELA 4.6 mostra os meses do ano em que a irrigação não é necessária em cada uma das zonas climáticas.

Os mapas climáticos que mostram distribuições de precipitação são baseados geralmente em médias da precipitação mensal ou anual a partir de diversos anos do registro. A precipitação total recebido num certo período de tempo num certo local varia do ano por ano.

A precipitação varia do ano por ano e conseqüentemente, em lugar de usando dados médios de precipitação, um nível confiável da precipitação deve ser seleccionado no dimensionamento. Por exemplo, a precipitação confiável pode ser a precipitação mínima que se pode esperar 8 em 10 anos (80%). A fim de estimar tais níveis confiáveis da precipitação, precisa-se fazer uma análise estatística dos registros de precipitação sobre um mínimo número de anos. A precipitação confiável pode somente ser determinado com o cálculo da probabilidade ou da frequência da precipitação. Um método simples de calcular probabilidades de precipitação é tratado nesta secção. .

Não toda a precipitação é necessariamente eficaz, no sentido que pode ser utilizada para as culturas. A precipitação pode ser interceptada pela vegetação, pode ser perdido por escurrimto sobre a superfície do solo, ou pode drenar abaixo da zona radicular das culturas. Alguns métodos empíricos para a estimativa da precipitação eficaz são descritos neste capítulo também.

Para finalidades de planificação e dimensionamento normalmente dados mensais da precipitação podem ser usados. Em alguns casos (monoculturas, irrigação para complementar a precipitação como cultura de arroz no tempo de chuva etc.), um período mensal poderia ser demasiado longo, porque pode

Manual de Dimensionamento de Regadios

esconder intervalos secos de algumas semanas que podem ser altamente críticos para o desenvolvimento e o rendimento de certas culturas. Nestes casos os dados de precipitação semanal ou por década devem ser usados.

4.4.1. Indicadores estatísticas de variabilidade da precipitação

Para caracterizar a variabilidade da precipitação os seguintes indicadores estatísticas são relevantes:

* *O (valor)media* (m): refira a precipitações medias no tempo ou espaço

Calculado como: $m = \sum x_i/n$

Em que:

x_i = observações individuais ($i = 1, \dots, n$) num certo local e espaço de tempo, p.e as precipitações anuais sobre 20 anos em Maputo, as precipitações em Gurue no mês de Janeiro durante 25 anos etc.

n = numero de observações

* *O Desvio Padrão* (s): medida de variação dentro duma série de observações

Calculado como: $s = \sqrt{[\sum (x_i - m)^2 / (n-1)]}$

Em que:

m = valor media

x_i = observações individuais ($i = 1, \dots, n$)

n = numero de observações

* *Coeficiente de variação* (CV): expressa o desvio padrão como uma fracção ou percentagem do valor media

Calculado como: $CV = (s/m) * 100$

Em que:

m = valor media

s = o desvio padrão

4.4.2. Precipitação confiável

A precipitação confiável é definida como a precipitação mínima que pode ser esperada um certo número de anos num número total dos anos. Por exemplo, a precipitação confiável pode ser a precipitação mínima que pode se esperar 9 anos em cada 10 anos (P90%). A percentagem (90%) é a probabilidade que a precipitação será atingida ou excedida, isto é a probabilidade que a precipitação real será igual ou mais alta que a precipitação confiável. Um ano em 10, se espera que a precipitação seja menor.

Manual de Dimensionamento de Regadios

A determinação do nível da probabilidade é relacionada com o risco que se aceita. No caso de infra-estrutura custosa e estratégica tais como pontes ou represas pode-se querer restringir o risco que a precipitação (que causa o caudal de cheia) excederá um certo valor uma vez em 50 anos ou uma vez em 100 anos. As probabilidades correspondentes de ocorrência são 2% respectivamente 1%.

Para a agricultura os riscos envolvidos são a redução ou a perda da produção uma vez em tantos anos. Para agricultura normalmente o nível seleccionado da precipitação confiável é a profundidade de precipitação que possa se esperar 3 em 4 anos ou 4 em 5 anos. As probabilidades de ocorrência são respectivamente 75 % e 80%. Esta precipitação ' mínima ' é usada como um critério para o dimensionamento dos sistemas de irrigação. Um nível mais elevado de precipitação confiável (por exemplo, 9 em 10 anos) pode ser seleccionado em caso de culturas de muito valor e/ou durante os períodos que as culturas germinam ou são mais sensíveis ao stress hídrico.

* *Análise de frequência*

A precipitação confiável pode ser determinada com o cálculo da probabilidade ou da frequência da precipitação. Isto é feito com o uso de métodos estatísticos.

A distribuição de frequência é obtida de uma série de dados da precipitação sobre um período limitado, mas este período de tempo não contém todas as profundidades (do passado e do futuro) de precipitação. Contudo, quando o período da observação é muito longo a distribuição de frequência será mais similar à distribuição real de probabilidade (que supõe que o clima não mudará no futuro) da toda população de precipitações. Um período de 20 anos é considerado normalmente como o mínimo para fazer um análises.

* **Método Prático p/ estimar a Precipitação Confiável**

Há varias maneiras para estimar a precipitação confiável, desde as mais simples ate os métodos estatísticos sofisticados. Neste manual trata-se dum método simples e prático

O procedimento deste método é o seguinte:

- Coloca os dados originais de precipitação (P_i) numa ordem descendente. Quer dizer, o valor maior da precipitação se atribui o nr.1, o segundo maior fica com nr.2, etc., ate o valor mais baixo vai ficar com o nr. ultimo (n).
- A probabilidade que a precipitação é igual ou maior que uma certa P_i é estimada conforme o método de Weibull com a seguinte equação:

$$\Pr (P \geq P_i) \approx i/(n+1)$$

Em que:

$\Pr (P \geq P_i)$:A probabilidade que o caudal P_i seria a precipitação mínimo que pode-se esperar

Manual de Dimensionamento de Regadios

i : numero da precipitação numa série de precipitações posto numa ordem descendente
 n : numero total de precipitações na série

Como exemplo veja o análises das precipitações mensais registradas de Quelimane para o mês de Outubro na TABELA 4.7

TABELA 4.7 Análises das precipitações mensais (Outubro) em Quelimane

Valores de precipitacoes (Pr) em ordem descendente
 $Pr (P>Pi) = i/(n+1)$

Nr	Ano Hidrol.	Out	i	$i/(n+1)$	Out.	Estimativas de Precipitacoes c/ probabilidades de ser excedidas
1	1964-65	0	1	0.05	179	
2	1965-66	25	2	0.10	159	
3	1966-67	20	3	0.15	47	
4	1967-68	15	4	0.20	31	P20
5	1968-69	5	5	0.25	25	
6	1969-70	16	6	0.30	24	
7	1970-71	13	7	0.35	22	
8	1971-72	31	8	0.40	20	
9	1972-73	179	9	0.45	19	
10	1973-74	12	10	0.50	16	P50
11	1974-75	1	11	0.55	15	
12	1975-76	47	12	0.60	13	
13	1976-77	24	13	0.65	12	
14	1977-78	9	14	0.70	9	
15	1978-79	19	15	0.75	5	
16	1979-80	0	16	0.80	5	P80
17	1980-81	5	17	0.85	1	
18	1981-82	22	18	0.90	0	P90
19	1982-83	159	19	0.95	0	
				Pmedia	32	mm
				Pminima	0	mm
				Pmaxima	179	mm
				s	50	mm
				CV	1.57	

4.4.3 Precipitação eficaz

A precipitação eficaz no sentido mais simples significa "precipitação útil" ou aquela parte que pode ser utilizada. A precipitação não é necessariamente útil

Manual de Dimensionamento de Regadios

ou desejável no tempo, na intensidade ou na quantidade num certo local. Alguma parte pode ser desperdiçada ou mesmo pode ser destrutiva.

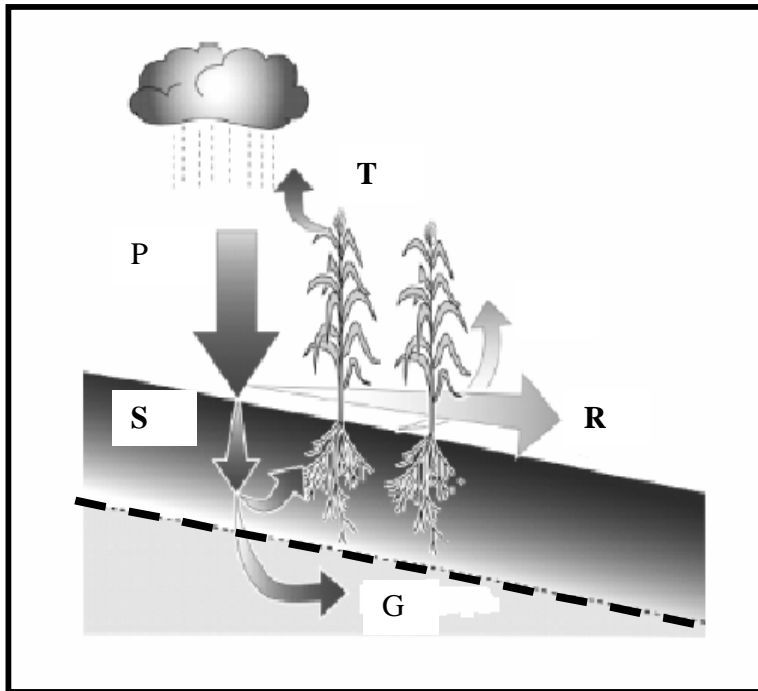
A precipitação pode evaporar na atmosfera, seja interceptado pela vegetação ou pode alcançar o solo, aonde pode escorrer sobre a superfície ou infiltrar no solo. A precipitação infiltrada pode juntar a água subterrânea e ser perdido. Assim, uma parte da precipitação será perdida com o escoamento superficial e a percolação abaixo da zona radicular e não estará disponível para a evapotranspiração das culturas.

O escoamento superficial dependerá da intensidade e da duração da precipitação, quando cai (relacionado com precipitações anteriores), das características do solo (textura, estrutura), da inclinação do terreno e da cobertura da vegetação.

A percolação profunda dependerá da humidade inicial do solo, da capacidade de retenção do solo (tipo do solo) e da profundidade da zona radicular (tipo da cultura).

A precipitação eficaz pode ser definida como a fracção da precipitação que pode ser armazenado na zona radicular e ser usado pelo complexo planta-solo para a evapotranspiração (Veja FIGURA 4.8).

FIGURA 4.8 Precipitação eficaz



Balança de Água:
 $P = \Delta S + G + R + E + T$

Precipitação eficaz = $P - G - R = \Delta S + E + T$

- P:** Precipitação (mm)
- S:** Água do solo (mm)
- G:** Percolação profunda (mm)
- R:** Escoamento superficial (mm)
- E:** Evaporação (mm)
- T:** Transpiração (mm)

Esta é uma definição puramente técnica: para a gerência dum sistema uma precipitação será somente eficaz quando um ou mais turnos de irrigação podem ser omitidos. Também, a precipitação que cai na terra não cultivada será considerada somente eficaz quando será armazenado no solo para o uso da cultura seguinte.

Para um produtor, a precipitação que deixa o seu campo por escoamento superficial não é eficaz, embora possa ser eficaz para o seu vizinho que recebe este escoamento ou para produtores mais afastados que podem usar esta água para o seu sistema de irrigação a partir dum rio. Além disso, a diminuição na radiação e na temperatura e assim na evapotranspiration pôde ser considerada um efeito útil da precipitação.

Assim, é sempre importante considerar em que contexto e de que ponto de vista a eficácia da precipitação é considerada. Para finalidades agrícolas a precipitação pode ser considerada eficaz dentro quando satisfaz as necessidades da água para a preparação da terra, o consumo de água por culturas, lavagem de sal e/ou percolação (arroz ou tanques de peixe)

Manual de Dimensionamento de Regadios

** Métodos de estimar a precipitação eficaz*

Embora o escoamento superficial e a percolação profunda podem ser medidos directamente não é prático fazer isto para todas as estações meteorológicas ou sistemas de irrigação porque estas medições são complicadas, consomem muito tempo e são custosas.

A estimativa da precipitação eficaz é altamente complicada porque depende de muitos factores e a grande variação de situações, principalmente do padrão de precipitação (veja EXERCICIO 11). Um grande número de fórmulas empíricas foi desenvolvido para estimar a precipitação eficaz (veja REFERENCIA 30b). A maioria destas fórmulas toma em conta a precipitação e a evapotranspiração (potencial). Abaixo sigam dois métodos que são usados para estimar a precipitação eficaz.

a - Uma percentagem fixa da precipitação

A precipitação eficaz (P_{eff}) é calculada como uma percentagem fixa (a) da precipitação total (P_{tot}).

$$P_{eff} = a \cdot P_{tot} \text{ para } a = 0.7 \text{ a } 0.9$$

Este método é bastante cru e os resultados não serão muito satisfatórios, como - entre outros - a influência da profundidade de precipitação é negligenciada.

b - O método do USDA SCS

O serviço da conservação de solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA SCS) desenvolveu um procedimento para estimar a precipitação eficaz em função da relação de evapotranspiração/precipitação média mensal e a capacidade de armazenamento de água na zona radicular do solo.

O procedimento encontra-se na TABELA 4.8.

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.8 Precipitação eficaz médio mensal em relação a ET_{crop} mensal e precipitação médio mensal (USDA SCS, 1969).

ET_{crop} mensal (mm)	precipitação médio mensal (mm)															
	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112	125	138	150	162	175	188	200
	Precipitação Eficaz (mm)															
25	8	16	24													
50	8	17	25	32	39	46										
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

A precipitação eficaz média mensal é baseada numa profundidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. Factores de correcção para ser usado para diferentes profundidades de armazenamento são:

factor de correcção	20	25	37.5	50	62.5	75	100	125	150	175	200
	0.73	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08

Na programa CROPWAT se encontra estes métodos e outros para estimar a precipitação efectiva.

Para o dimensionamento dum sistema utilizamos a precipitação confiável efectiva (P80eff ou P75eff) no tempo de pico (o período que a necessidade de água e/ou irrigação é o mais alto). Os valores mensais de P75 de muitos lugares em Moçambique se encontram na REFERENCIA 7.

No dimensionamento dos sistemas de irrigação e na prática de irrigação em Moçambique podemos distinguir varias situações:

- um padrão de policultura de vegetais e outras culturas de campo durante todo ano. Suposto um uso intensivo de sistema, as necessidades de rega são maiores nos meses de Setembro e Outubro. Na maior parte de Moçambique se pode negligenciar a precipitação nestes meses.

- Cultura de arroz durante o tempo húmido. Neste caso a irrigação serve para complementar a precipitação. O tempo de pico ocorre no princípio do ciclo de arroz (Dezembro-Janeiro em dependência da data de sementeira ou da transplantação) por causa de necessidades especiais (saturação, formação da camada de água). Neste caso a precipitação não pode ser negligenciada para não sobre dimensionar o sistema.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- Mono culturas como açúcar etc. Neste caso se deve analisar bem o calendário agrícola desta cultura para determinar o período de pico. Se deve estimar a precipitação confiável efectiva (P75eff ou P80eff) para este período.

4.5 Necessidades de Água de Irrigação

Esta secção fornece directrizes para estimar a necessidade da água da irrigação. A necessidade de irrigação é a quantidade de água a ser fornecida às culturas para impedir stress hídrico e redução de produção.

O conhecimento da necessidade máxima (de pico) de irrigação é necessário em determinar a capacidade de rede de canais e/ou tubagem e de estações de bombagem. A necessidade sazonal de irrigação é necessária para dimensionar reservatórios de armazenamento, para determinar o tamanho do sistema de irrigação a partir duma quantidade limitada de água disponível num reservatório ou de estimar os custos de energia (combustível) numa campanha. As necessidades de irrigação no curto prazo (dia, semana), quando combinadas com as características de armazenagem de água no solo, permitem de especificar os intervalos e profundidades de aplicação.

O cálculo de necessidades da água de irrigação consiste num primeiro passo em determinar a necessidade líquida da irrigação de cada uma das culturas cultivadas. A necessidade é obtida subtraindo a contribuição de fontes naturais da necessidade da água da cultura (ET_{crop}). A primeira fonte natural a ser considerado é a precipitação, mas a água transportada à zona radicular pela ascensão capilar de água subterrânea pode também contribuir à necessidade da água de cultura. Uma parte da necessidade da água da cultura pode também ser constituído por a água armazenada no solo no início do ciclo de crescimento.

Além da irrigação para as necessidades da água das culturas, água pode ser necessária para lavar os sais acumulados fora da zona radicular e para certas práticas de cultivo. Um exemplo claro é a cultura de arroz que precisa normalmente grandes quantidades de água para a saturação do solo, formação duma camada de água e percolação permanente. Porque a irrigação nunca é 100 por cento eficiente, também tem que se tomar em consideração as perdas durante o transporte e a aplicação da água. A necessidade bruta da irrigação do sistema é obtida finalmente por adicionar as necessidades brutas individuais da irrigação de cada uma das culturas.

4.5.1 Necessidades líquidas de irrigação duma cultura

A necessidade de água de cultura (ET_{crop}) é a quantidade de água necessária para compensar a perda de água por evapotranspiração duma cultura que é livre de doenças, crescendo em campos grandes sob condições não restritas do solo incluída a disponibilidade de água e a fertilidade do solo.

A partir das necessidades de água de cultura se pode determinar a necessidade líquida de irrigação por intermédio duma balanço hídrico.

Manual de Dimensionamento de Regadios

A necessidade líquida da irrigação (IRRnet) é obtida por subtrair da necessidade da água de cultura (ETcrop) as contribuições de fontes naturais de água. As contribuições incluem a precipitação efectiva/eficaz (Peff), as contribuições de água subterrânea (Ge) e a água armazenada no solo (Wb).

Este balanço hídrico pode ser expressado no seguinte Equação:

$$\text{IRRnet} = \text{ETcrop} - (\text{Peff} + \text{Ge} + \text{Wb})$$

Se pode imaginar estes parâmetros em termos da espessura duma camada de água, normalmente em unidades de milímetro [mm]. Uma camada de água com uma espessura de 1 mm que cobre 1 ha representa um volume de $0.001 \text{ [m]} * 100 \text{ [m]} * 100 \text{ [m]} = 10 \text{ [m}^3\text{]}$

No seguinte vamos aprofundar estes componentes que determinam a necessidade líquida de irrigação duma cultura:

* ETcrop : Necessidade de água da cultura

Normalmente os valores mensais médios do evapotranspiração são usados. Pela natureza a evapotranspiração tem muito menos variação (num certo período do ano num certo local) do que a precipitação (veja EXERCISIO 11).

ATENCAO

Na prática de planificação e de dimensionamento o valor de evapotranspiração mensal duma cultura é considerado constante e calculado como:

$$\text{ETcrop} = kc * \text{ETo}$$

* Peff : Precipitação eficaz confiável

Em lugar de usar dados mensais médios de precipitação, um nível confiável de precipitação eficaz deve ser seleccionado, por exemplo, P75eff ou P80%eff, isto é a precipitação eficaz mensal mínima que se pode esperar 3 em 4 anos ou 4 em 5 anos. Um nível mais elevado da precipitação eficaz confiável, p.e. P90%eff pode ser seleccionado durante o período que as culturas são mais sensíveis ao stress hídrico e o rendimento da cultura é afectado.

* Ge : Contribuição da água subterrânea.

A água subterrânea, se não demasiado distante da zona radicular, pode adicionar água à zona radicular pela ascensão capilar.

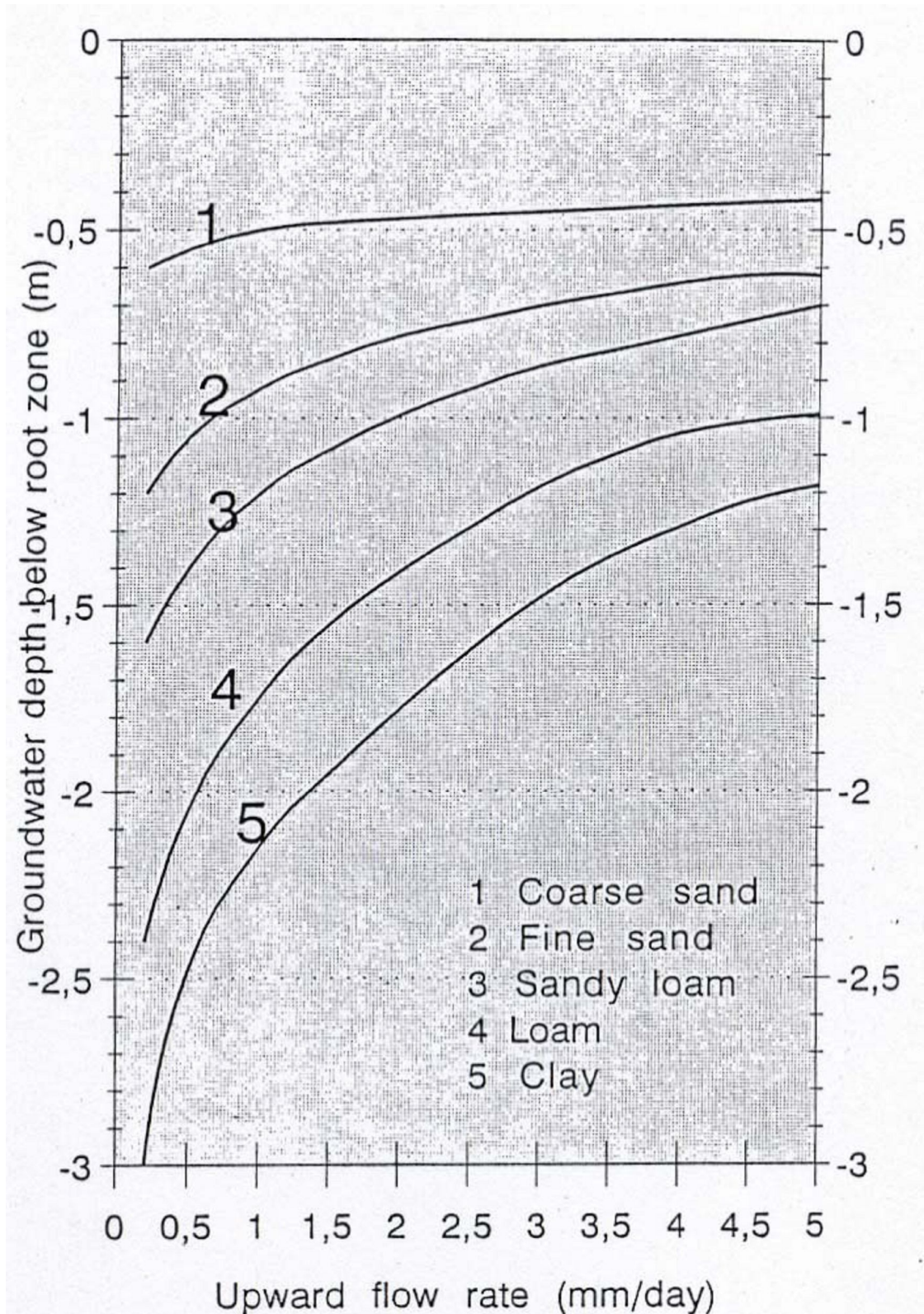
A ascensão capilar (altura, fluxo) depende de:

- a profundidade do nível freático abaixo da zona radicular,
- o tipo do solo, isto é as suas propriedades capilares. A ascensão capilar será muito mais elevada em solos argilosos do que em solos arenosos,
- o teor de água do solo na zona radicular, isto é a diferença do teor de água no nível freático (saturação) e na zona radicular. Quando maior a diferença, maior o fluxo da água subterrânea. Uma estimativa da contribuição da água subterrânea à zona radicular duma cultura irrigada para tipos diferentes do solo é apresentado em FIGURA 4.9. Esta Figura mostra que a ascensão capilar só

Manual de Dimensionamento de Regadios

tem importância quando o nível freático estiver dentro de um metro ou menos do limite baixo da zona radicular, à exceção de solos franco-arenosos finos.

FIGURA 4.9 Contribuição da água subterrânea à zona radicular



Nas condições de Moçambique podemos geralmente ignorar na prática de dimensionamento de regadios a contribuição da água subterrânea para a

Manual de Dimensionamento de Regadios

necessidade de água da cultura. Os machongos e outras baixas constituem uma excepção importante.

* W_b : Contribuição da água armazenada no solo

Culturas que estão semeadas e plantadas no princípio do tempo seco (Maio-Junho) podem aproveitar a água armazenada no perfil do solo que é o resultado da precipitação abundante durante a estação húmida. A quantidade de água pode ser equivalente a um ou vários turnos de irrigação e deve ser tomado em conta ao determinar as necessidades de irrigação.

A água armazenada no perfil do solo no fim da estação húmida (e inundação)   muito importante para a produ o agrícola em Moçambique. Isto pode explicar que mesmo sem irriga o há produ o de hortícolas nas primeiras meses (Maio-Julho) de tempo seco. Também este fen meno pode explicar a viabilidade da cultura de trigo nas terras argilosos de Baixo Limpopo (veja EXERCISIO 12).

Se nenhuma água   armazenada na zona radicular (Período Setembro-Outubro), deve-se verificar se não   necessário ou conveniente um turno de rega para encher o reservatório do solo antes de sementeira ou planta o (pr -irriga o). Para arroz, o solo tem que ser saturado antes do transplante.

Controle da Salinidade

A acumula o dos sais na zona radicular   referido como a salinidade do solo. Os sais contidos na água da irriga o ficam atrás no solo quando a água   extraída pelas raízes das plantas ou perdida pela evapora o do solo. Em consequência há uma acumula o gradual destes sais durante o ciclo da cultura. Se estes sais acumulados não são lavados isto leve a saliniza o do solo.

A necessidade de lavagem   a quantidade mínima da água de irriga o que deve percolar abaixo da zona radicular para manter a salinidade do solo num nível dado. Este nível mantido corresponde geralmente ao nível da salinidade em que uma cultura específica não sofreria uma redu o inaceitável do rendimento.

A necessidade de lavagem LR pode ser calculada como:

$$LR = \frac{EC_w}{5 EC_e - EC_w} * \frac{I}{E_l}$$

em que:

Manual de Dimensionamento de Regadios

-LR = Necessidade de lavagem, expressada como uma fracção do volume sazonal liquido total da água de irrigação

- EC_w = condutividade eléctrica da água de irrigação (expressado em deciSiemens por metro [dS/m] ou millimhos por cm [mmhos/cm]). A condutividade eléctrica é directamente proporcional com a salinidade expressado em [miligrama/litro].

Nota: No intervalo de 0.1 ate 5 dS/m é valido a seguinte aproximação: 1 dS/m ≈ 640 mg/litro.

A REFERENCIA 30a trata numa maneira muito clara os aspectos relevantes da qualidade de água para a agricultura

- EC_e = condutividade eléctrica do extracto do solo saturado que corresponde ao nível do rendimento que pode ser tolerado para uma cultura particular [dS/m ou mmhos/cm]. Os níveis de tolerância de sal para culturas diferentes são dados na REFERENCIA 30a.

- EI = eficiência de lavagem [fracção]

A necessidade de lavagem é uma função de características da drenagem do solo. Solos arenosos bem drenados têm um EI quase igual a 100%, quando as argilas pesadas mal drenadas puderem ter um EI tão baixo como 30%.

A lavagem dos sais pode ser feita antes, durante ou depois do período de crescimento dependendo do tempo quando a água está disponível e no grau da acumulação de sal. Também a água de rega que se perde por percolação profunda na aplicação de água pode servir para lavagem de sais na zona radicular.

Em caso que uma acumulação de sal criar níveis intoleráveis na zona radicular durante o ciclo de crescimento, a lavagem tem que ser feito simultaneamente com a irrigação. Em muitos casos não é necessária de fornecer uma quantidade extra de água para lavagem de sais, pelo menos na rega superficial porque as perdas inevitáveis de percolação profunda lavam estes sais. A lavagem de sais deve ser acompanhada com a drenagem deste água. Sem drenagem, a água de rega para lavagem de sais que se perde por percolação profundo pode levar a uma elevação de nível freático que depois pode evaporar por ascensão capilar e conduzir a uma salinização secundária.

Na maior parte de Moçambique a salinização de terras não tem grande relevância porque chove bastante no tempo húmido para lavar os sais eventualmente acumulados no tempo seco. As terras regadas numa maneira intensiva nas condições semi-áridos (Sul de Moçambique) constituem uma excepção importante.

Caso que se espera problemas com salinidade, se pode consultar REFERENCIA 30a

Manual de Dimensionamento de Regadios

* Exemplo do calculo de necessidades liquidas de rega duma cultura

Na TABELA 4.9 apresenta-se um exemplo do cálculo de necessidades líquidas de rega duma cultura

TABELA 4.9 Estimativa da Necessidades liquidas mensais e sazonal de milho

Milho : 150 dias (período : Marco – Julho) ; data de sementeira: 1 Marco Solo : franco arenoso						
	Marco 31 dias	Abril 30 dias	Maió 31 dias	Junho 30 dias	Julho 28 dias	Total
ET _o (mm/dia)	2.4	3.7	4.6	4.9	5.5	-
k _c	0.40	0.68	1.15	1.15	0.88	-
ET _{crop} (mm/dia)	1.0	2.5	5.3	5.6	4.8	-
ET _{crop} (mm)	30	75	164	169	136	574
Precipitacao ^{*1} (mm)	14	15	0	0	0	
P _{eff} ^{*2} (mm)	8	10	0	0	0	18
Wb (mm)	22	3				25
Ge (mm)		10	8	7	6	31
IRR _{net} (mm/período)	-	52	156	162	130	500
^{*1} i.e. 80 % precipitação confiável ^{*2} TABELA 4.8 IRRnet = ETcrop – (Peff – Ge – Wb) ET _{crop} Sazonal 574 mm Precipitação eficaz sazonal -18 mm Wb : Contribuição da água armazenada no solo -25 mm Ge : Contribuição da água subterrânea. -31 mm ----- Necessidade liquida sazonal de irrigação 500 mm ou 5,000 m ³ /ha						

Em caso de necessidade de lavagem de sais se deve adicionar uma quantidade mínima de água de rega que leve o sal em excesso fora da zona radicular.

Neste caso se pode aplicar a seguinte EQUACAO:

$$IRR_{net} = (ET_{crop} - (P_{eff} - Ge - Wb)) / (1 - LR) \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

IRR_{net} = necessidade de água de rega no ciclo de crescimento

Manual de Dimensionamento de Regadios

LR = Necessidade de lavagem, expressada como uma fracção do volume sazonal liquido total da água de irrigação (Veja TABELA 4.10).

TABELA 4.10 Estimativa da Necessidade de Lavagem e da IRRnet

Milho (período: Marco – Julho) Solo: franco arenoso ($E_1 = 0.9$) Necessidade liquido sazonal de irrigação: 500 mm (Veja Tabela 4.9) ECe= 1.7 dS/m, nível máximo de salinidade num extracto do solo saturado para 100% do rendimento da cultura EC _w = 1 ate 2.5 dS/m
For 100 % rendimento: se EC _w = 1 dS/m $LR = \frac{1}{(5 * 1.7 - 1) 0.9} = 0.15$ IRRnet = 500/(1-0.15) = 587 mm ou 87 mm extra para lavagem. A precipitação no tempo de chuvas é normalmente suficiente para lavar os sais fora da zona radicular. se EC _w = 2.5 dS/m $LR = \frac{2.5}{(5 * 1.7 - 2.5) 0.9} = 0.46$ IRRnet= 500/(1-0.46) = 931 mm ou 431 mm extra para lavagem. No Sul de Moçambique, a precipitação no tempo de chuvas normalmente não é suficiente para lavar os sais fora da zona radicular. Mas a água de rega que se perde por percolação profunda na aplicação de água pode servir para lavagem de sais na zona radicular.

Na maior parte de Moçambique se pode fazer as seguintes simplificações:

- LR =0 Excepção zonas semi- áridos com métodos eficientes de rega
- Ge =0 Excepção machongos e baixas
- Wb =0 Excepção no inicio do tempo seco (Maio-Junho).
- LR =0 Excepção áreas intensivamente regada no Sul

Neste caso a Equação 1 pode ser simplificada em:

$$IRRnet = ET_{crop} - Pe_{ff}$$

* A necessidade de irrigação no período de pico

A necessidade de irrigação no período ou mês de pico determina directamente as capacidades de obras de regadio (Estação de bombagem, canais, obras de distribuição etc.) e conseqüentemente o dimensionamento de sistemas de irrigação.

Por exemplo, na TABELA 4.10, o mês de pico é Junho com uma necessidade líquida de irrigação de 162 mm

Em caso que o mês de pico acontece no período Augusto - Outubro, normalmente não há ou há pouco precipitação.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Neste caso na equação $IRR_{net} = ET_{crop} - P_{eff}$, a precipitação pode ser ignorado e a equação pode ser ainda mais simplificada.

$$IRR_{net} = ET_{crop} = kc * ETo$$

Para ET_{crop} e ETo utilizamos normalmente o valor mensal médio baseado nos valores médios de outras variáveis climatológicas (radiação, velocidade de vento, humidade de ar, temperatura no Método de Penman –Monteith, Veja EXERCÍCIO 11). O valor mensal é normalmente suficientemente exacto para a prática de dimensionar dum pequeno regadio.

Na literatura se encontra métodos para refinar este valor por meio de análises estatístico de registos climáticos suficientemente longos (10 anos ou mais). Estes métodos só tem relevância com métodos de rega muito eficientes, (mono) culturas de alto valor e quando ha escassez de água e/ou o fornecimento de água é muito custoso.

4.5.2. Necessidades líquidas de irrigação do Arroz

A irrigação do arroz tem algumas características específicas, que diferem da irrigação de outras culturas:

- O início do período da irrigação requer primeiro a saturação do solo. Durante este período, normalmente as necessidades de irrigação estão no seu máximo.
- o solo é mantido geralmente submerso durante todo o ciclo de crescimento.

Há vários elementos a ser considerado em determinar a necessidade da irrigação para o arroz.

* Componentes de balança hídrica:

a - A saturação do solo

Durante a saturação do solo, a perda de água através das rachaduras no solo pôde ser grande e água adicional deve ser fornecida. Dependendo do tipo do solo e do humidade inicial do solo, a água requerida para saturar a zona da raiz no começo do ciclo varia 100 a 300 milímetros.

b - A água para estabelecer uma camada da água no arrozal

Não há nenhuma evidência no que diz respeito à profundidade óptimo da camada da água no campo, mas água adequada durante todo o ciclo de arroz é necessário para o crescimento vigoroso e um rendimento elevado. A camada da água também diminui o crescimento da erva daninha e age como um regulador da temperatura. Frequentemente uma profundidade da água de 10 a 20 cm é mantida durante todo o ciclo. A fim de manter uma profundidade mais

Manual de Dimensionamento de Regadios

rasa da água, a terra deve ser nivelada cuidadosamente, que requer investimento e trabalho consideráveis. No fim do ciclo, os campos são drenados para facilitar as operações da colheita. Se a gestão envolver a drenagem periódica (p/ adubação etc.), a camada da água tem que ser estabelecida diversas vezes durante o ciclo e água adicional deve ser disponível para a recolocação da camada da água.

c - A água para a evapotranspiração

A evapotranspiração de arroz é obtida multiplicando o ET_o com o coeficiente da cultura. ET_{crop} inclui a água transpirada pelas plantas mais a água que evapora directamente da camada no campo. Daqui, o coeficiente k_c é perto do valor 1 durante todo o ciclo (veja Tabela 4.4).

d – Água para percolação permanente

A quantidade de água que drena fora da zona da raiz varia com o tipo do solo e a existência de uma camada impermeável ou compactada abaixo da zona radicular. A percolação é na maioria das vezes não insignificante e poderia ser tão elevado quanto o evapotranspiration. Seu valor pode variar de 1 a 6 mm/dia, dependente de tipo de solo. Nos solos típicos de arroz em Moçambique que na maioria são solos (muito) argilosos, a percolação atinge valores na ordem de 1-2 mm/dia quando uma camada de água esta estabelecida no campo.

e – A precipitação eficaz

A precipitação eficaz é definida como a precipitação total menos a precipitação que não pode ser armazenada nos arrozais e conseqüentemente não pode ser usado na produção do arroz. Porém, a eficiência é determinada pela capacidade de armazenamento dos arrozais, isto é a altura das marachas (pequenos diques nos arrozais), a profundidade da camada da água mantida nos arrozais e a intensidade da chuva. Na REFERENCIA 30b vários métodos de estimar a precipitação eficaz são examinadas e avaliadas.

* Exemplo de calculo

Um exemplo do cálculo das necessidades mensais e sazonal de irrigação do arroz é apresentado na TABELA 4.11.

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.11 Exemplo cálculo Necessidades da irrigação de arroz

Calculo necessidades de rega p/arroz no baixo Licungo											
	EPOCA SECA					EPOCA CHUVOSA					
	Jul	Ago	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	
ETo (mm) (a)	90	121	159	208	198	180	164	146	149	123	
Kc do arroz (c)		1.1	1.20	1.20	0.95		1.10	1.15	1.15	0.95	
ETc (mm) (d)		100	191	250	188		135	168	171	117	
P80 % (mm) (b)	14	13	0	2	9	141	140	94	77	45	
Percolacao (mm) (e)		45	45	45	45		45	45	45	45	
Saturacao (mm) (f)		180					110				
Alagamento (mm) (g)		50	100	-50	-100		50	100	-50	-100	
Irrig. Net (mm) (h)		362	336	243	124		200	219	89.4	17	
Eficiencia Irr (-)		0.7	0.7	0.7	0.7	Total	0.7	0.7	0.7	0.7	Total
Irrig. Bruta (mm) (i)		517	480	347	177	1520	286	313	128	24	751
Caudal continuo [litro/seg/ha] (j)		1.9	1.9	1.3	0.7		1.1	1.2	0.48	0.1	
bombagem: 500 h/mes pico [l/s/ha]		2.8					1.7				
* Calculos feitos nas supposicoes: um periodo total de saturacao, preparacao de terra e transplante igual a 1 mes (Agosto na epoca seca; Janeiro na epoca chuvosa); variedades de arroz com ciclo de 120 dias											
(a): Evapotranspiracao de Referencia Maganja de Costa: dados database FAO											
(b): Precipitacao minima mensal com 80% de probabilidade (P80%) : duma analisis de precipitacoes mensais do 25 anos completos em Nante.											
(c):A coeficiente da cultura (Kc) do arroz foi extraido da TABELA 4.4											
(d): ETc =Kc x ETo. No primeiro mes de cada ciclo/epoca o ETc é estimado em 75% do valor mensal porque a área saturada (que evapora) e transplantada vai aumentar gradualmente, e no fim de mes supomos que a área será totalmente transplantada											
(e): Estima-se uma perda por percolacao permanente de 1.5mm/dia.											
(f): As necessidades de água de rega para saturação são estimados da seguinte maneira (veja capitulo 4.4): Agosto (epoca seca): Suponhamos que os solos argilosos estão nesta altura no seu ponto de murchamento (estima-se 25 Vol. % de água). O Vol % de Saturacao destes solos estima-se em 55% Para saturar este tipo de solos até uma profundidade de 60 cm, sao nece											
Janeiro (epoca de chuva): Como a saturacao é completada no mes de Janeiro, espera se que as chuvas de Dezembro (P80%=141mm) irao fornecer ao solo pelo menos 70mm, entao se estima que num ano seco (P80%) se deve aplicar cerca de 110mm de água da rega para											
(h) A rega net é a diferenca entre as necessidades da água de arroz (d+e+f+g) e a precipitacao confiável P80% (b)											
(i): A rega bruta é a soma da rega net e as perdas de água para fora do sistema. A eficiência de sistema (rega net/regal bruta) é estimada em 70%.											
(j): (i)/(8.64*dias no mes)											

4.5.3 Necessidades de Irrigação no nível do Sistema de Irrigação

Manual de Dimensionamento de Regadios

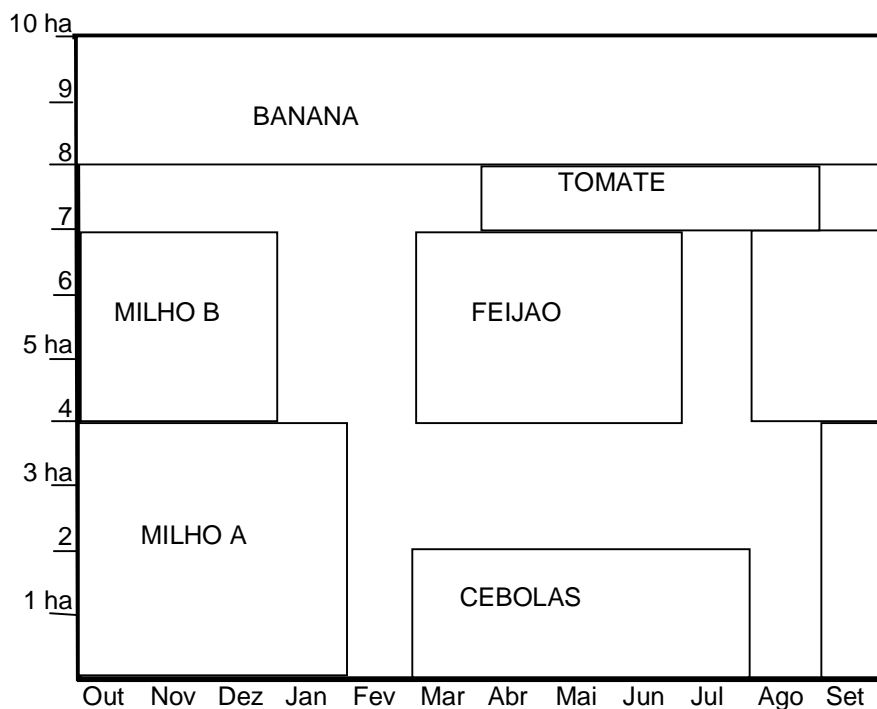
A necessidades líquidas de irrigação no nível dum sistema de irrigação (IRRnet do sistema) num certo período é a soma das necessidades individuais da irrigação de cada uma das culturas neste período, tomando em conta as áreas destes culturas.

Para determinar as necessidades líquidas mensais, sazonais e de pico neste sistema de irrigação temos que determinar a padrão de culturas deste sistema.

Padrão de culturas

O padrão de culturas num regadio reflecte a ocupação da terra por os diferentes culturas durante o calendário agrícola (culturas, ciclos de crescimento, áreas). O padrão de culturas pode ser representado graficamente ou em forma de Tabela. Um exemplo simples se encontra na FIGURA 4.10 e na TABELA 4.12.

FIGURA 4.10 Exemplo dum padrão de culturas



Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.12. Exemplo dum padrão de culturas

Cultura	Ciclo de crescimento	Duração do ciclo	Superfície
Milho A	1/9 – 1/2	5 meses	4 há
Milho B	1/8 – 1/1	5 meses	3 há
Banana	1/10 – 1/10	12 meses	2 há
Cebola	1/3 – 1/8	5 meses	2 há
Feijão	1/3 – 1/7	4 meses	3 há
Tomate	1/4 – 1/9	5 meses	1 há

A partir do padrão de culturas se pode determinar as necessidades líquidas de irrigação no nível do sistema de irrigação. Na TABELA 4.13 se encontra os cálculos em base do padrão de culturas representado na FIGURA 4.10. Suponhamos que o sistema de irrigação é localizado no distrito de Mocuba.

O programa CROPWAT tem também um módulo para calcular as necessidades líquidas de rega dum sistema de irrigação, baseado num padrão específico de culturas.

Na TABELA 4.13 se encontram os valores mensais da necessidade líquida de água de rega. Se pode concluir que para este padrão específico de culturas a necessidade líquida anual estima-se 55273 m³ e a necessidade líquida máxima (de pico) 12,555 m³ no mês de Outubro.

Contudo, não se pode dimensionar um regadio e a sua infra-estrutura (estação de bombagem, canais, obras de distribuição etc.) em base das necessidades líquidas de água de rega porque no uso de água há perdas de aplicação e transporte que são contados na eficiência de irrigação.

Eficiências da irrigação

As perdas de água num sistema de irrigação ocorrem em vários níveis. Num pequena sistema (< 100 há) podemos distinguir as seguintes perdas:

- no nível da parcela irrigada, isto são as perdas de aplicação da água na terra
- no nível da infra-estrutura de rega, isto são principalmente as perdas na rede de transporte (canais, tubagem etc.).

As perdas de água são expressadas normalmente como eficiências da irrigação, no sentido que o conceito "eficiência" denota a fracção da quantidade total de água que beneficia a cultura. No seguinte trata-se as eficiências mais relevantes

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.13 Necessidades líquidas de água de rega ao nível de sistema

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
ET _o [mm] (a)	155	147	140	133	120	121	105	90	72	74	96	120	
P75% [mm] (b)	11	56	150	154	133	113	45	19	18	16	5	3	
Pe _{ff} 75% [mm] (c)	0	39	105	108	93	79	32	13	13	11	0	0	
Milho A (4 ha)													
K _c (d)	0.7	1.1	1.1	0.7								0.4	
ET _c [mm] (e)	109	162	154	93								48	
IRR [mm] (f)	109	123	49									48	
IRR [m ³] (g)	4340	4900	1960									1920	
Milho B (3 ha)													
K _c	1.1	1.1	0.7								0.4	0.7	
ET _c [mm]	171	162	98								38	84	
IRR [mm]	171	123									38	84	
IRR [m ³]	5115	3675									1152	2520	
Banana (2 ha)													
K _c	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ET _c [mm]	155	147	140	133	120	121	105	90	72	74	96	120	
IRR [mm]	155	108	35	25	27	42	74	77	59	63	96	120	
IRR [m ³]	3100	2156	700	504	538	838	1470	1534	1188	1256	1920	2400	
Cebolas (2 ha)													
K _c						0.5	0.8	1	1	0.7			
ET _c [mm]						61	84	90	72	52			
IRR [mm]							53	77	59	41			
IRR [m ³]							1050	1534	1188	812			
Feijao (3 ha)													
K _c						0.4	0.7	1	0.8				
ET _c [mm]						48	74	90	58				
IRR [mm]							42	77	45				
IRR [m ³]							1260	2301	1350				
Tomato (1 ha)													
K _c							0.5	0.8	1.1	0.9	0.6		
ET _c [mm]							53	72	79	67	58		
IRR [mm]							21	59	67	55	58		
IRR [m ³]							210	587	666	554	576		
IRR sistema [m³] (h)	12555	10731	2660	504	538	838	3990	5956	4392	2622	3648	6840	55274
IRR sistema total	55274 [m³/ano]												

notas

(a): Valores de E_{to} valores de Westerink (1996), ficha de Mocuba

(b): P75 valores de Westerink (1996), ficha de Mocuba

(c) : Pe_{ff} 75% calculado como 0.7* P75% e Pe_{ff} 75%=0 se P75%<15 mm

(d): k_c valores estimados como k_c medio mensal

(e): ET_c = k_c * E_{to}

(f): IRR = ET_c - Pe_{ff} 75% = Necessidades líquidas de rega

(g) : IRR [m³] = IRR [mm]*10 * Superfície [ha]

(h): IRR sistema [m³] eh soma de I_n [m³] de culturas individuais

ATENCAO: IRR de sistema nao pode ser calculado como soma de IRR [mm] de culturas individuais porque as superficies nao sao iguais

* A eficiência da aplicação no campo (E_a)

Manual de Dimensionamento de Regadios

As perdas no nível do campo podem ocorrer devido à percolação profunda abaixo da zona radicular e o escoamento superficial ('runoff') da água que não pode infiltrar no solo. A percolação profunda abaixo da zona radicular ocorre porque é impossível conseguir uma distribuição e profundidade uniforme de aplicação da água dentro de um campo de cultura, principalmente com métodos superficiais de rega.

A eficiência da aplicação do campo é definida como:

E_a = Água armazenada na zona radicular/água recebida na entrada da parcela

E_a é afectada para muitos factores, mas principalmente pelo tipo de sistema de irrigação, pelo tipo do solo (infiltração), a grandeza de caudal de aplicação, a superfície e medidas das parcelas, a rede interna de rega na parcela e pela habilidade do regante.

A TABELA 4.14 dá valores indicativos do E_a .

TABELA 4.14 Valores indicativos de Eficiências de transporte e de aplicação

		<u>ICID/ILRI</u>		
Conveyance efficiency (E_c)				
Continuous supply with no substantial change in flow		0.9		
Rotational supply in projects of 3 000 to 7 000 ha and Rotational areas of 70 - 300 ha with effective management		0.8		
Rotational supply in large schemes (>10 000 ha) and small Schemes (< 1 000 ha) with respective problematic communication and less effective management:				
- based on predetermined schedule		0.7		
- based on advance request		0.65		
Field application efficiency (E_a)				
		<u>USDA</u>	<u>US(SCS)</u>	<u>ICID/ILRI</u>
Surface methods:				
- soil type	- light soils	0.55		
	- medium soils	0.70		
	- heavy soils	0.60		
- irrigation method	- graded border		0.60 - 0.75	0.53
	- basin and level border		0.60 - 0.80	0.58
	- contour ditch		0.50 - 0.55	
	- furrow		0.55 - 0.70	0.57
	- corrugation		0.50 - 0.70	
Subsurface			up to 0.80	
Sprinkler	- hot, dry climate		0.60	
	- moderate climate		0.70	
	- humid, cool climate		0.80	0.67
Rice				0.32

* A eficiência de transporte (E_c)

Manual de Dimensionamento de Regadios

As perdas na rede de transporte ocorrem principalmente devido à infiltração nos canais de rega e as fugas de água nas tubagens e obras de distribuição.

A eficiência de transporte é definida como:

$E_c = \text{Água recebida nas entradas das parcelas} / \text{água extraída na tomada de sistema de rega}$

A E_c depende principalmente do tipo da rede de transporte (tubagem vs canal de terra, canal revestida vs não revestida, compactação), dos caudais e do comprimento dos canais. No CAPÍTULO 6 se apresenta um método para estimar as perdas de infiltração nos canais.

A TABELA 4.14 dá valores indicativos do E_c

* A eficiência do sistema (E_p)

A eficiência do sistema ou do projecto pode ser definida como:

$E_p = \text{Água armazenada na zona radicular} / \text{água extraída na tomada de sistema de rega} = E_a * E_c$

Eficiências reais da irrigação só podem estabelecidas fazendo estudos baseados nas medições de perdas.

Embora muito relevantes para o dimensionamento, gestão e avaliação do sistemas de irrigação, tais estudos e medições são raramente realizados por falta de sensibilidade e/ou urgência de dirigentes que tomam as decisões para alocar o tempo e recursos (técnicos, financeiros etc.) necessários.

Se nenhum valor é localmente disponível, se pode utilizar a TABELA 4.14 para uma estimativa das eficiências.

Atenção

Alem dos factores físicos que determinam a eficiência de rega, no dimensionamento, a eficiência tem também uma dimensão altamente normativa porque depende muito do esforço, do 'saber fazer' e do grau de organização dos regantes. Não se deve aceitar de dimensionar um regadio com uma eficiência de rega de p.e. 20%, quer dizer onde se perde 80% da água extraída. No dimensionamento não se pode aceitar perdas de água excessivas p.e. 70% da água bombeada embora na realidade pode acontecer. No dimensionamento, principalmente de sistemas c/ bombagem (custos altos de exploração), assume-se valores de eficiência de rega bastante altos (a volta de 60-70% num sistema c/ rede de canais e métodos superficiais de rega) porque se parte das suposições que não se desperdice água, que a infra-estrutura de rega se encontra em bom estado, que há disciplina na distribuição de água, que se distribui e se aplica água de rega duma maneira concentrada, que as parcelas estão suficientemente preparadas para receber e aplicar a água de rega da maneira eficaz, etc.

Manual de Dimensionamento de Regadios

4.5.4 Necessidades brutas de Irrigação e calculo do caudal de bomba

Um sistema de rega deve ser dimensionada conforme as necessidades brutas de rega no período de pico.

Pode-se distinguir vários casos:

* padrão heterogéneo de culturas

A partir dum certo padrão de culturas diferentes e intensidade de cultivo se pode estimar as necessidades líquidas mensais dum sistema. Um exemplo se encontra na TABELA 4.13.

Tomando em conta as perdas no processo de rega se pode estimar a necessidade bruta de irrigação (veja TABELA 4.15, baseado na TABELA 4.13). A necessidade bruta de irrigação no mês de pico é um dos determinantes do dimensionamento do sistema.

TABELA 4.15 Calculo Necessidade bruta de Irrigação

Baseado no TABELA 4.13													
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
IRR líquida sistema [m3]	12555	10731	2660	504	538	838	3990	5956	4392	2622	3648	6840	55274
Eficiencia sistema	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
IRR bruto sistema [m3]	20925	17885	4433	840	897	1397	6650	9927	7320	4370	6080	11400	92123
IRR dimensionamento	20925												
horas de bombagem no mes de pico	300												
caudal bomba (l/s)	19.4												
Horas de bombagem mensais	300	256	64	12	13	20	95	142	105	63	87	163	1321

A TABELA 4.15 mostra que o mês de pico é Outubro e a necessidade bruta de rega neste mês se estima 20925 m3. Com 300 horas de bombagem no mês de pico, isto resulta num caudal de dimensionamento de 19.4 l/s ($=20925/(300*3.6)$).

** Regra simplificado*

Este cálculo é baseado numa padrão fixo (suposto) de culturas e intensidade de cultivo. Na prática este exercício é um tanto teórico porque o padrão suposto de cultura na

Manual de Dimensionamento de Regadios

realidade frequentemente não é aderido pelos pequenos produtores que têm as suas próprias limitações (por exemplo, falta dos recursos monetários e da força de trabalho) e que fazem cada um as suas próprias decisões a respeito de suas culturas (tipo de culturas e de variedades, datas de sementeira e colheita, ciclo do crescimento, área de cultivo). Conseqüentemente, no caso de um padrão heterogêneo de culturas 'secas' é mais realista para usar regras simples para a estimativa das necessidades brutas máximas da irrigação que determinam o caudal de dimensionamento do sistema de irrigação. Uma regra deste tipo podia ser, por exemplo, de cobrir 80% das necessidades brutas da irrigação duma cultura crescida no mês mais seco sobre 75% da área total equipada para a irrigação.

Numa equação isto podia ser expressada como:

$$\text{IRRbruto} = (0.8 * \text{ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75A / \eta_{\text{sistema}} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

- IRRbruto [m³/mês]: Necessidades brutas máximas da água de irrigação em m³ no mês mais seco sobre 75% da área total equipada. Este parâmetro é usado para a estimativa do caudal requerido no nível do sistema e o caudal da bomba
- ETo [m/mês] : Evapotranspiração de Referência do mês mais seco. Este parâmetro é uma aproximação da necessidade máxima duma cultura. O parâmetro 0.8*ETo é uma aproximação da necessidade máxima de água duma mistura de culturas que se encontram em diferentes fases de crescimento.
- P75%eff [m/mês]: A precipitação eficaz mínima com uma probabilidade de 75% de ser atingida ou excedida, isso significa aquela precipitação que se pode esperar 3 em 4 anos. Entretanto no mês mais seco (Setembro-Outubro) a P75%eff pode ser considerado negligenciável (≈ 0)
- A [m²]: área total equipado com infra-estrutura de rega
- η_{sistema} [-]: eficiência da irrigação no nível de sistema

O IRRbruto de dimensionamento determina o caudal de dimensionamento da bomba.

$$\text{Caudal requerido da bomba} = \text{IRRbruto} / (\text{horas de bombagem no mês de pico}) = ((0.8 \text{ ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * \text{horas de bombagem no mês de pico}) \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Por exemplo, no caso de 288 horas de bombagem por mês ou aproximada 72 horas por semana (6[dias/semana]*12 [horas/dia]):

$$\text{Caudal requerido da bomba} = \text{IRRbruto} / 288 = ((0.8 \text{ ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * 288) \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ ou } ((0.8 \text{ ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75A) / (\eta_{\text{sistema}} * 288 * 3,600) \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Exemplo

- Área equipada: 10 ha
- Condições de Mocuba
 - ETo no mês de Outubro: 155 mm
 - P75%: 11 mm, quantidade tão pequena que pode ser ignorado: P75eff ≈ 0 mm

Manual de Dimensionamento de Regadios

$$\text{IRRbruto} = (0.8 * \text{ETo} - \text{P75\%eff}) * 0.75A / \eta_{\text{sistema}} = 0.8 * 0.155 * 0.75 * 10 * 10,000 / 0.6 = 15,500 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal da bomba} = \text{IRRbruto} / 288 = 54 \text{ m}^3/\text{h} = 54,000 / 3,600 = 15 \text{ l/s}$$

A Equação 2 (e também Equação 3) reflecte uma ambição do nível da intensidade da irrigação (não é o mais elevado neste caso), no fundo é normativa, mas a experiência do projecto SSIP mostra que - pelo menos neste momento- mesmo este nível é longe de ser realizado. A adaptação a um nível mais baixa de intensidade ocorre por diminuir as horas de bombagem. No caso muito excepcional que a intensidade da irrigação estivesse mais elevada do que aquela para que o sistema foi dimensionado, as horas de bombagem podem-se aumentar no período do pico. O importante é que esta flexibilidade de aumentar as horas da bombagem é incorporada no dimensionamento do sistema.

* Monocultura

As necessidades brutas da água de rega no período pico pode- se estimar com a seguinte equação.

$$\text{IRRbruto} = (\text{ETpico} + \text{Necessidades adicionais P75\%eff}) * A / \eta_{\text{sistema}} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

- IRRbruto [m³/mês]: Necessidades brutas máximas da água de irrigação da área total equipada (suponhando que se cultiva toda a área). Este parâmetro é usado para a estimativa do caudal requerido no nível do sistema e o caudal da bomba
- ETpico [m/mês] : Evapotranspiração da cultura no tempo de pico. Normalmente o ETpico coincide com a evapotranspiração da cultura no mês mais seco.
- Necessidades adicionais: muito relevante para a cultura de arroz. O período de pico na cultura de arroz coincide normalmente com o período que estas necessidades adicionais ocorrem, quer dizer no princípio do ciclo. Nas outras monoculturas (p.e cana de açúcar, milho) pode haver uma necessidade adicional de pré-irrigação no princípio do ciclo que normalmente não coincide com o período de pico.
- P75%eff [m/mês]: A precipitação eficaz mínima no período de pico com uma probabilidade de 75% de ser atingida ou excedida, isso significa aquela precipitação mínima que se pode esperar 3 em 4 anos.
- A [m²]: área total equipada com infra-estrutura de rega
- η_{sistema} [-]: eficiência da irrigação no nível de sistema

O IRRbruto de dimensionamento determina o caudal de dimensionamento da bomba na seguinte maneira:

$$\text{Caudal requerido da bomba} = \text{IRRbruto} / (\text{horas de bombagem no mês de pico}) = ((\text{ETpico} + \text{Necessidades adicionais} - \text{P75\%eff}) * A / (\eta_{\text{sistema}} * \text{horas de bombagem no mês de pico})) \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Por um exemplo de cálculo, veja TABELA 4.11.

Manual de Dimensionamento de Regadios

4.6. O Sistema Planta – Água -Solo

O solo tem as seguintes funções no crescimento e na produção das culturas.

- Local de ancoragem
- Reservatório de nutrientes
- Reservatório de Água.

Esta última função é particularmente relevante na prática de rega e no dimensionamento de sistemas de irrigação.

Os aspectos principais que são considerados nesta secção são:

- Quanta água pode ser armazenada no solo?
- Quanta água armazenada no solo está facilmente disponível para o uso pela cultura?

A capacidade do armazenamento de água no solo é um dos determinantes para a programação de turnos de rega.

ATENCAO

As propriedades do solo não têm nenhuma relação com as necessidades de rega de culturas. As necessidades de rega das culturas são independentes dos solos em que elas crescem. No dimensionamento de regadio os solos somente tem a função de reservatório de água.

4.6.1 Propriedades de Solo

* *A textura do solo*

A maior parte de solos (não orgânicos) consiste em partículas minerais de vários tamanhos divididos em 3 classes: areia, limo e argila. Os limites de tamanho de classes se encontram na TABELA 4.16. A distribuição de partículas com diferentes tamanhos é referida como a textura de solo. A proporção relativa de areia, limo e argila num solo determina a classe textural.

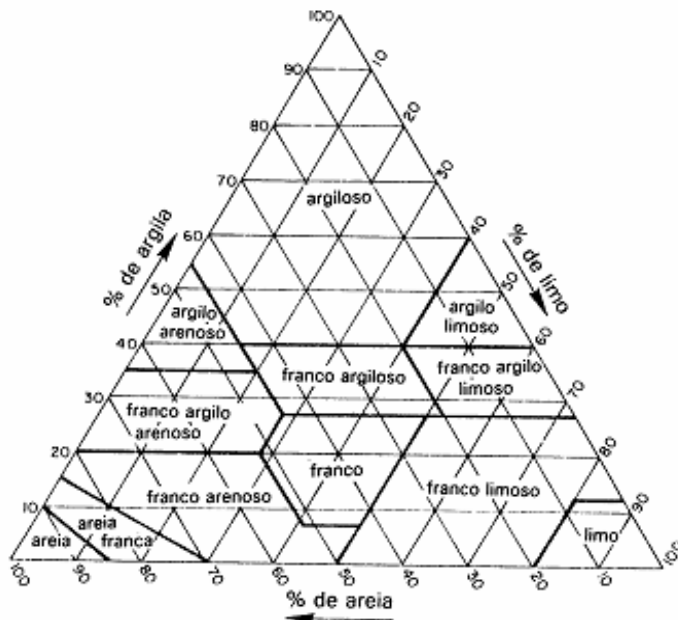
Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.16 Limites de Tamanho de Classes de Partículas

Solo	Subclasse	Diâmetro (mm)	limites (mm)
Areia	Muito grossa	2.00 - 0.050	2.00 - 1.00
	grossa		1.00 - 0.50
	Media		0.50 - 0.25
	Fino		0.25 - 0.10
	Muito fino		0.10 - 0.05
Limo	Grossa	0.050 – 0.002	0.050 - 0.020
	Fino		0.020 - 0.002
argila		< 0.002	

Há diversas classificações de textura. O mais usado para finalidades agronómicas é a classificação do Departamento de ESTADOS UNIDOS de Agricultura que é apresentada na FIGURA 4.11.

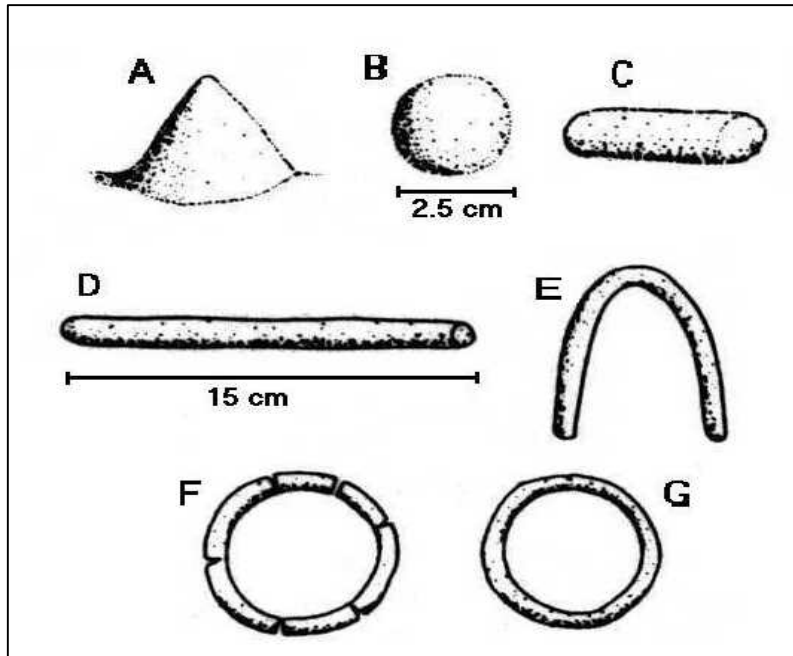
FIGURA 4.11 Classificação de solos em base de textura



Manual de Dimensionamento de Regadios

No campo a textura pode ser rapidamente avaliada seguindo a metodologia a seguir (veja FIGURA 4.12), na ausência de um laboratório especializado.

FIGURA 4.12 Avaliação de textura de solo no campo



- (A) - **AREIA** - O solo mantém-se solto e granuloso e só pode ser amontoado em uma pirâmide;
- (B) - **FRANCO ARENOSA** - O solo possui quantidade suficiente de limo e argila para se tornar pouco coeso e pode ser moldado em uma bola que facilmente rola no chão;
- (C) - **FRANCO LIMOSA** - Como no franco arenoso mas este pode ser moldado por rolamento num curto cilindro pegajoso;
- (D) - **FRANCA** - Por causa de proporções idênticas de limo, argila e areia o solo pode ser moldado num cilindro de cerca de 15 cm de comprimento que se quebra quando se dobra;
- (E) - **FRANCO ARGILOSA** - Como o franco mas este pode ser dobrado fazendo num U, mas não por muito tempo antes de se quebrar;
- (F) - **FRACAMENTE ARGILOSA** - O solo pode ser dobrado num círculo que mostra rachas;
- (G) - **FORTEMENTE ARGILOSA** - O solo pode ser dobrado num círculo sem mostrar rachas.

Na prática de dimensionamento distingue-se normalmente uma classificação muito mais simples, veja TABELA 4.17.

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.17 Classificação simples de Solos

Arenoso	Textura grossa	solo ligeiro
Franco	Textura media	solo médio
Argilosa	Textura fina	solo pesado

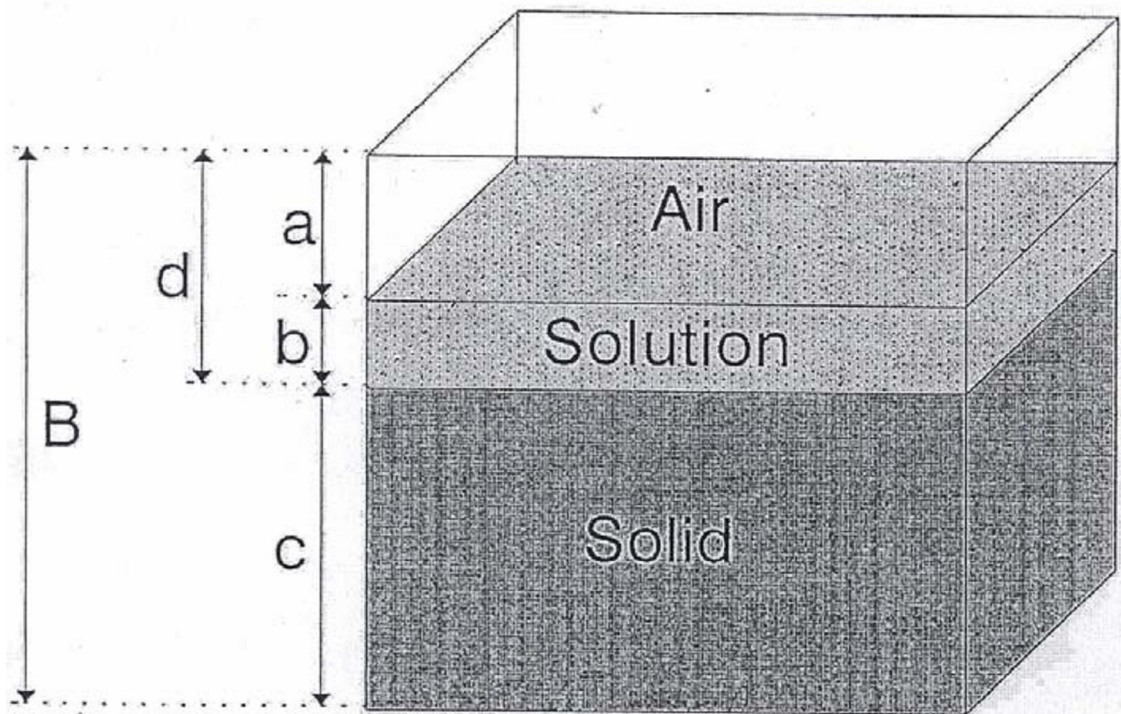
* *Humidade do Solo*

Um solo consiste de partículas minerais, matéria orgânica e poros. Nos poros -o espaço entre as partículas sólidas- água pode ser armazenada. O volume de poros varia entre 30 % a 60 % do volume total dum solo em condições naturais. A água e o ar existem nos poros em proporções variáveis dependente da quantidade de água no solo. Num solo seco, a maioria de poros esta vazia e cheia com ar, enquanto num solo molhado, água ocupa a maioria de poros.

O teor de humidade do solo pode ser expressado de diversas maneiras. Uma maneira é na base de peso seco. Na prática de rega expressamos normalmente o teor de água em base de volume ou numa espessura de camada de água. Ao definir o teor de humidade do solo, é útil de visualizar o solo como um recipiente em que a água pode ser armazenada. A FIGURA 4.13 mostra uma amostra cúbica dum solo que contem uma determinada quantidade de água nos poros. Imagina que todas as partículas sólidas poderiam ser comprimidas juntas sem deixar nenhum espaço de poros entre elas. Neste caso a água do solo ficara acima do sólido e o ar do solo ocuparia o espaço acima da água do solo.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Figura 4.13 Apresentação esquemática de uma amostra cúbica do solo com as três fases do solo: sólidos água e ar.



* Teor de água em base do volume

O teor de água em base do volume é a relação do volume da água do solo ao volume total do solo (multiplicado por 100 se expressado numa percentagem):

$$\Theta = 100 * \text{volume água no solo} / \text{volume total do solo} \quad [\text{vol \%}]$$

Em referência a FIGURA 4.13 , $\Theta = (b * A) / (B * A) = b / B$ ou $100 * (b * A) / (B * A) = 100 * b / B$ [vol %].

* A profundidade equivalente

O teor de água pode ser expressado também como a profundidade equivalente de água por unidade de profundidade do solo. Em referência a figura 4.13, a profundidade equivalente por uma profundidade do solo de B, é b. Se expressado em mm de água por metro de solo, a profundidade equivalente é igual a 10 vezes a volume percentagem da água:

Manual de Dimensionamento de Regadios

$S = b \text{ [m]}/B \text{ [m]} = 1000 \cdot b \text{ [mm]}/B \text{ [m]} = 10 \cdot \Theta \text{ [mm (água)/m (profundidade de solo)]}$ ou $[\text{mm/m}]$

A quantidade de água armazenada numa profundidade específica do solo (por exemplo, na zona radicular) é consequentemente:

$$W = D \cdot S = 10 \cdot \Theta \cdot D \quad [\text{mm (água)}]$$

Em que:

D : a profundidade da zona radicular da cultura, em [m]

Θ : volume percentagem da água [vol %].

Expressar o teor de água como uma espessura dum camada de água é muito útil. Assim se pode fazer facilmente a adição e subtração dos ganhos (p.e precipitação) e das perdas (p.e evapotranspiração) da água na balança hídrica porque os vários parâmetros são expressados geralmente em termos de espessura de camada de água (veja ANEXO 2).

* Constantes da humidade do solo

* *curva da retenção da água*

A água é armazenada no solo dentro dos poros entre as partículas. É retida pelas forças da atracção entre as moléculas de água e as partículas da matriz do solo. Tanto mais próxima uma molécula de água se encontra a uma partícula de matriz, tanto mais forte é a força da atracção que a liga à matriz. Água que se encontra mais afastado da matriz está mais livre de mover e ser extraído pelas raízes das plantas ou ser drenado fora da zona radicular pela força de gravidade.

As forças que prendem a água à matriz do solo são chamadas forças da matriz. As raízes da planta têm que superar estas forças para extrair a água do solo. A água num solo completamente saturado pode ser considerada como estar livre de todas as forças. Num solo saturado o potencial da matriz é zero. Enquanto a água é removida do solo a água restante é sujeito a forças de retenção cada vez mais fortes da matriz.

Consequentemente, há um relacionamento entre o teor de água do solo e o seu potencial da matriz. Este relacionamento pode ser mostrado numa curva característica de retenção da água do solo, chamado pF curva, como mostrado em FIGURA 4.14. O eixo-X representa o teor de água no solo em Vol %. O eixo-Y deste gráfico representa o potencial da matriz expressado como uma tensão ou uma sucção. A tensão é expressada como uma pressão negativa (Pa, bar, cm coluna da água etc.), isto é a pressão que é requerida para remover a água do solo. Pode também ser dada como pF que é o logaritmo negativo da pressão expressada em cm coluna da água.

Manual de Dimensionamento de Regadios

A forma da curva da retenção da água do solo é fortemente dependente da textura e estrutura do solo. Determina-se experimentalmente usando uma placa de pressão. Uma vez que a curva de retenção é estabelecida, o teor de água dum solo pode ser estimado se o seu potencial da matriz for sabido.

* O teor de água no ponto de saturação

Quando todo o espaço de poros disponível é enchido com água, o solo é chamado saturado. Condições de saturação existem nas camadas superiores do solo imediatamente depois duma chuva pesada ou de uma irrigação, e também um pouco acima do nível freático. Desde que no ponto de saturação a água enche todo espaço de poros, o teor de água no ponto de saturação é igual à porosidade total [em Vol %].

* Capacidade de campo

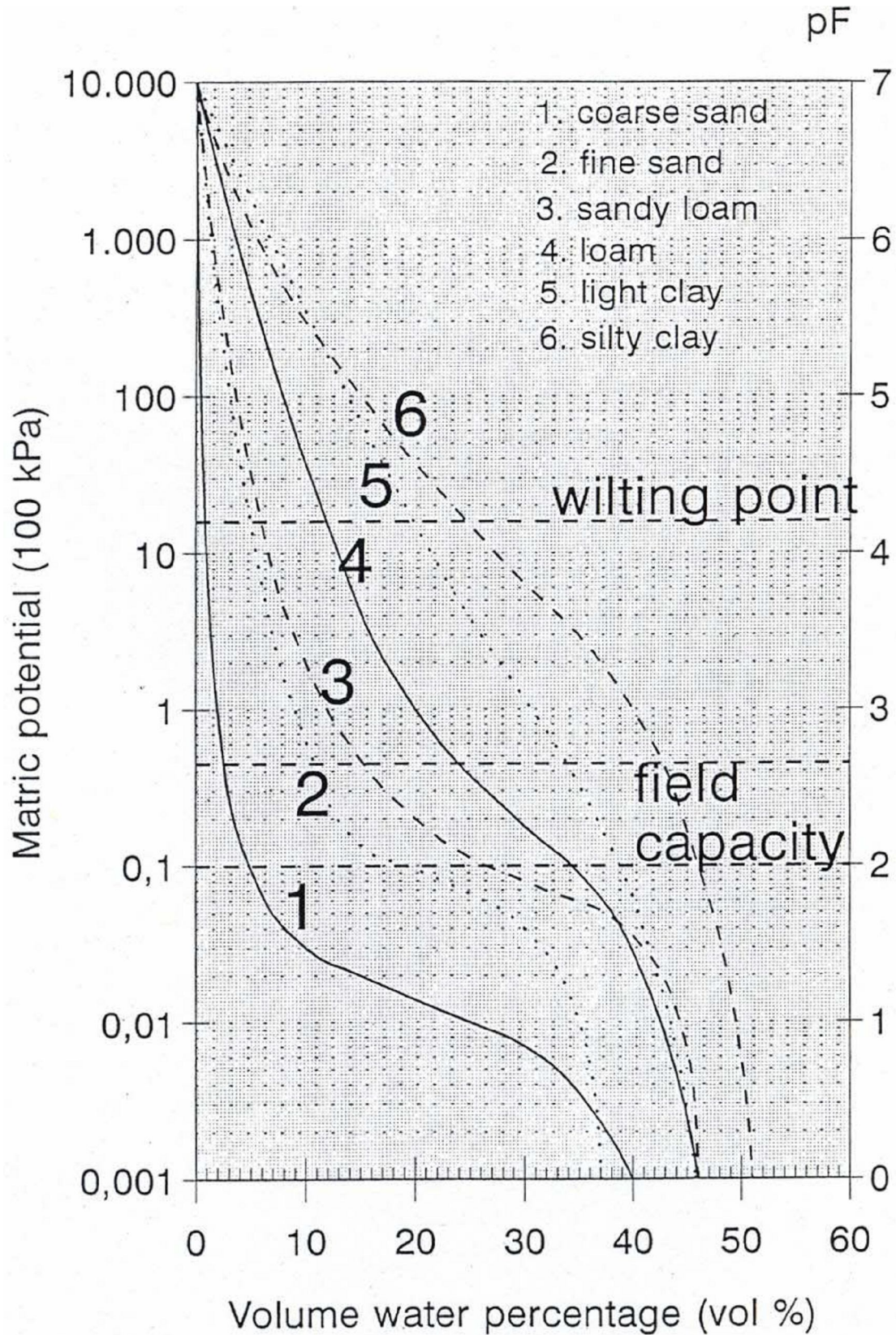
Se um solo é saturado, aquela parte de água no solo que não é retinida fortemente por a matriz do solo drena livremente sob a força da gravidade. O teor de água na capacidade do campo (Θ_{fc} : "field capacity") é o teor de água do solo que é retido pela matriz do solo contra a força gravitacional. A capacidade do campo, que será alcançada dentro de 1 a 2 dias após a saturação, ocorre em torno de pF 2. Os valores típicos da capacidade do campo para tipos diferentes do solo são dados na TABELA 4.18.

* Ponto de emurchecimento permanente

As plantas extraem a água facilmente dum solo que esta na capacidade do campo. Enquanto a extracção de água progride, a quantidade de água no solo diminui e a água restante está retida às partículas com sempre mais força, de maneira que é sempre mais difícil que a planta extraia a água. Chega-se ate um ponto que a planta não consegue de extrair água em quantidades suficientes para substituir a água que está sendo perdida pela transpiração. As folhas começam a murchar durante a tarde, mas podem ainda recuperar na noite. Finalmente, uma fase será alcançada que as plantas murchas não recuperam na noite. As plantas são definitivamente murchas e o teor de água do solo é no ponto de emurchecimento permanente (Θ_{wp} : "permanent wilting point"). Para a maioria de solos isto acontece quando a água é retinida com uma sucção de aproximadamente 15 bar (15,000 cm coluna de água ou pF 4.2). Além do ponto de emurchecimento permanente, a água não está mais disponível para a planta. Valores típicos do ponto de emurchecimento permanente para tipos diferentes do solo são dados na TABELA 4.18.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA.4.14 Curva da retenção da água do solo para vários tipos do solo.



Manual de Dimensionamento de Regadios

* Humidade total disponível no perfil do solo

A quantidade de água retida entre a capacidade do campo e o ponto de emurchecimento permanente é a humidade total disponível do solo, isto é a água disponível que a cultura pode extrair.

$$S_a = 10 * (\theta_{fc} - \theta_{wp}) \quad [\text{mm (água)/m (profundidade de solo)}]$$

A quantidade total de água que uma cultura pode extrair da sua zona radicular com uma profundidade de D [m] é:

$$TAM = D * S_a \quad [\text{mm (agua)}]$$

O valor do S_a dum solo mostra a capacidade do solo de fornecer água à cultura no tempo. Um solo com um valor baixo do S_a tem o risco dum murchamento cedo das culturas e precisa uma alta frequência da irrigação para manter a humidade do solo em níveis aceitáveis. O valor do S_a é uma função da textura e da estrutura do solo. Os solos com uma textura grossa (solos arenosos) têm um S_a mais baixo do que argilas com uma textura fina, enquanto os limos tem valores intermédios. Isto é porque mais fino o tamanho das partículas, maior é a área de superfície para a adsorção da água. Consequentemente, os solos com partículas finas terão uns teores de água mais elevados na capacidade do campo e no ponto permanente de emurchecimento do que solos com partículas mais grosseiras (veja TABELA 4.18).

TABELA 4.18 Constantes médias da humidade do solo para diferentes tipos do solo

Classe Textural	θ_{sat} (vol %)	θ_{FC} (vol %)	θ_{WP} (vol %)	S_a (mm/m)
Areia	38	15	7	80
Franco arenoso	46	21	6	150
Limo	47	31	10	210
franco argiloso	44	40	26	140
limo argiloso	51	42	25	170
Argila	54	45	27	180

Manual de Dimensionamento de Regadios

Um exemplo do cálculo da água disponível total é dado na TABELA 4.19

TABELA 4.19 Exemplo da humidade disponível total do solo contida na zona radicular

Calculo da humidade total disponível (TAM) na zona radicular da cultura de soja (D = 0.6 m), cultivado respectivamente num solo arenoso, limoso e argiloso				
Tipo de Solo	FC (vol %)	WP (vol %)	S _a (mm/m)	TAM (mm)
Areia	15	7	10(15-7)=80	0.6(80)=48
Limo	31	10	10(31-10)=210	0.6(210)=126
Argila	45	27	10(45-27)=180	0.6(180)=108

4.6.2 Sistema da Planta-Solo-Água

* O sistema radicular e a profundidade de enraizamento

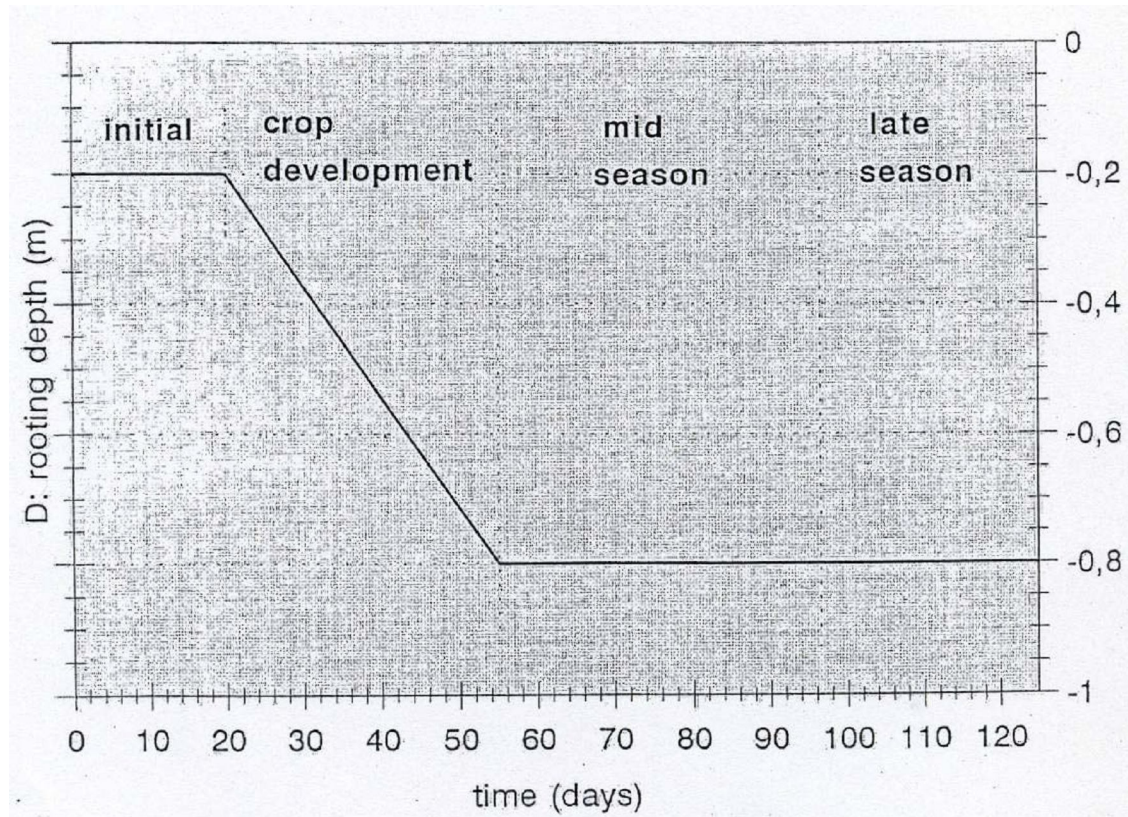
O solo é um meio de armazenamento para a água. As plantas são ancoradas no solo pelas suas raízes. As raízes agem também como os órgãos do absorpcao de água.

A zona de enraizamento é o volume explorado pelas raízes em que a extracção de água ocorre. Define o limite mais baixo do volume eficaz do solo para o armazenamento da água. A zona eficaz de enraizamento depende principalmente do tipo da cultura, do seu estágio do crescimento e da profundidade total do solo disponível para enraizamento.

A profundidade eficaz de enraizamento muda com o crescimento da cultura (por um exemplo, veja FIGURA 4.15). Na sementeira esta profundidade é aproximadamente igual a duas vezes a profundidade onde o semente foi colocado. Em seguida, a profundidade aumenta até que um máximo esteja alcançado na cobertura máxima, geralmente no fim da fase de desenvolvimento. A taxa do crescimento da profundidade radicular pode ser suposta aproximadamente linear.

TABELA 3 em ANEXO 5 fornece valores da profundidade eficaz de enraizamento de culturas principais que deve ser considerado no dimensionamento de sistemas de irrigação.

FIGURA 4.15 Desenvolvimento de Profundidade eficaz de enraizamento duma cultura de milho no ciclo de crescimento



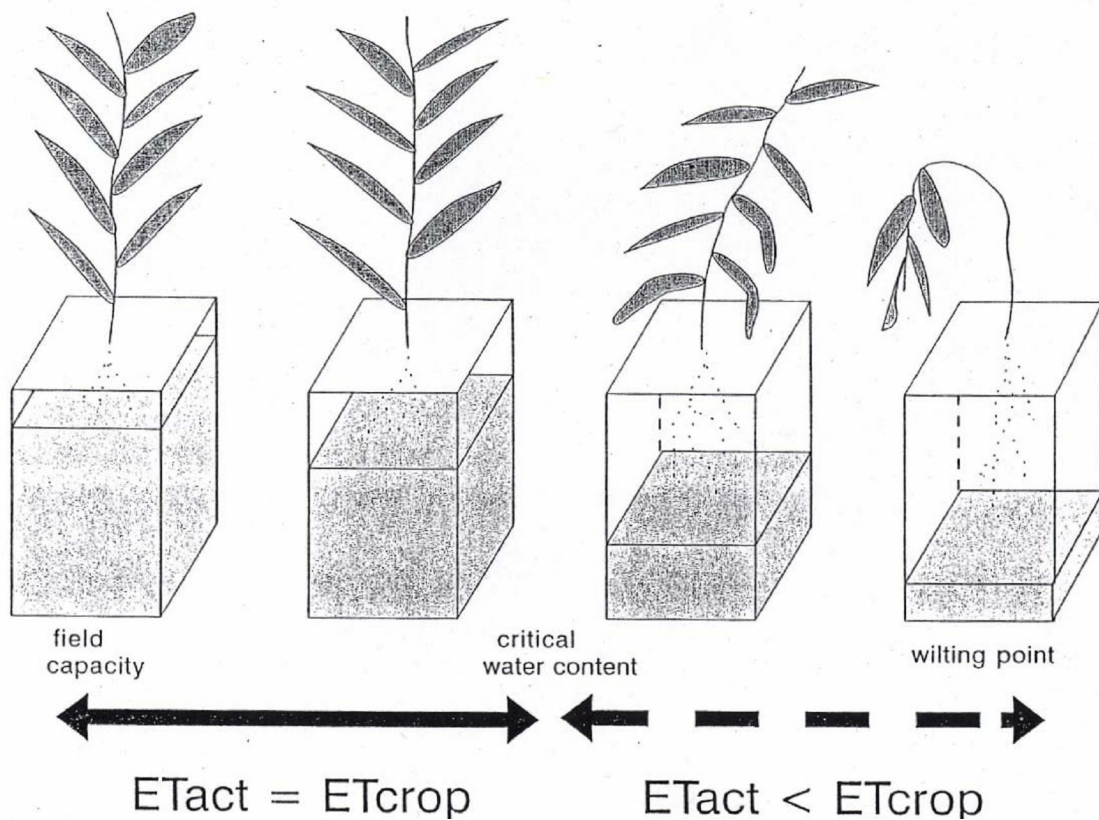
* Humidade facilmente Disponível (RAM)

O teor crítico da humidade de solo

Como já foi mencionado anteriormente a extracção de água pelas plantas torna-se sempre mais difícil entre a capacidade do campo e o ponto permanente de emurchecimento. Embora a água estivesse teoricamente disponível até o ponto permanente de emurchecimento, a experiência mostra que a taxa do evapotranspiração cai abaixo do seu nível potencial ($ET_{act} < ET_{crop}$) e que a redução de fotossínteses ocorre antes é atingida o ponto permanente de emurchecimento (veja FIGURA 4.16). O teor de água no solo é considerada crítico ($\theta_{critico}$) quando a evapotranspiração começa a baixar em baixo de evapotranspiração potencial (ET_{crop}). Irrigação tem que ser planificado antes de ser atingido o teor crítico de água ($\theta_{critico}$) para manter a evapotranspiração potencial e crescimento óptima da cultura.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURE 4.16 Redução em evapotranspiracao devido a stress hídrico



Factor de esgotamento

A humidade facilmente disponível no solo (RAM) é a fracção (p) da humidade disponível total do solo (S_a) que uma colheita pode extrair do solo sem stress hídrico ($ET_{act} = ET_{crop}$), quer dizer a água entre a capacidade de campo (Θ_{fc}) e o teor crítico de água ($\Theta_{critico}$). Isto é graficamente representado na FIGURA 4.17.

A humidade facilmente disponível no solo pode-se expressar na seguinte equação:

$$RAM = 10 \cdot D \cdot (\Theta_{fc} - \Theta_{critico}) = p \cdot TAM = p \cdot D \cdot S_a \text{ [mm(agua)]}$$

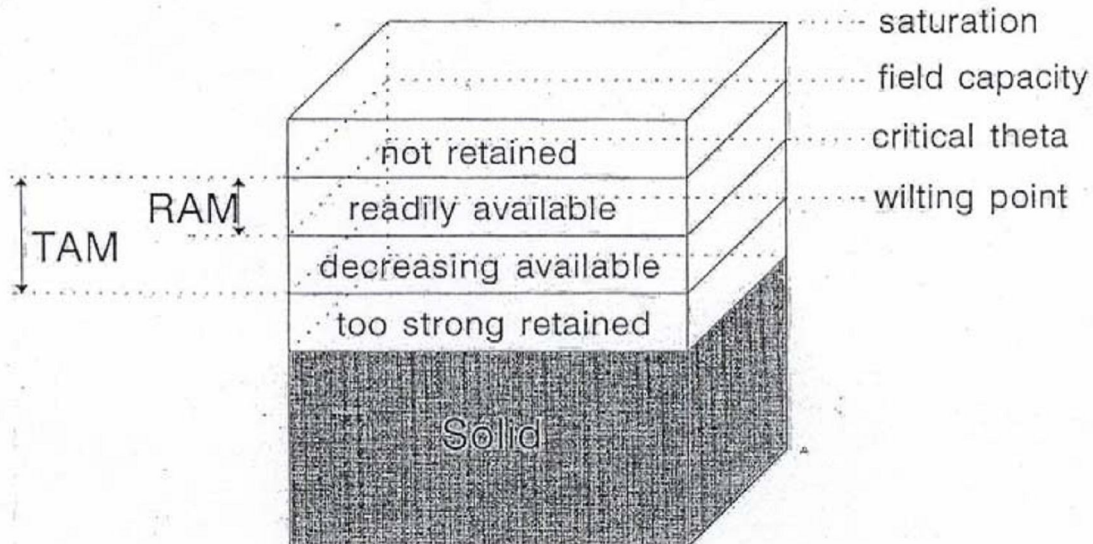
Em que:

TAM = humidade total disponível = $D \cdot S_a$ em [mm (agua)]

D = profundidade efectiva da zona radicular em [m]

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.17 Apresentação esquemática da água do solo na zona radicular



A RAM é uma função da cultura e do solo. Indica a tolerância da cultura ao stress hídrico porque é a fracção do S_a que pode ser removida antes que o stress ocorra.

Isto é muito relevante na programação de irrigação. Se, no solo, a humidade estiver na capacidade do campo depois uma dotação de água, se pode permitir que a cultura extrai água até esgotar a humidade facilmente disponível (RAM) antes de fornecer a dotação seguinte da água. Neste sentido a RAM é também chamado "esgotamento permissível".

Do mesmo modo, a fracção (p) da água disponível do solo é sabida como "o factor de esgotamento". O factor p é determinado pelas características da cultura e a sua sensibilidade ao stress hídrico nos várias fases de crescimento. Assim o valor de p é escolhido para minimizar o risco. Quanto mais elevado o risco (isto é numa fase sensível do crescimento da cultura) mais baixo o valor de p .

Alem da cultura, o valor de p também depende da taxa do evapotranspiração potencial da cultura (ET_{crop}) e do tipo de solo. Quando o ET_{crop} é mais alto o factor p é mais baixo. Nos solos argilosos o factor p é um pouco mais baixo que em solos arenosos. Na TABELA 4.20 são dados os valores recomendados de factor de esgotamento p em função da cultura, ET_{crop} e solo (veja também TABELA 3 em ANEXO 5).

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.20 Factores de esgotamento em função da cultura, ET_{crop} e solo

Grupos de Culturas conforme o esgotamento da humidade no solo

GROUP	CROPS
1	onion, pepper, potato
2	banana, cabbage, grape, pea, tomato
3	alfalfa, bean, citrus, groundnut, pineapple, sunflower, watermelon, wheat
4	cotton, maize, olive, sorghum, soybean, sugarbeet, sugarcane, tobacco

Factor de esgotamento (p) para grupos de culturas na evapotranspiração potencial (ET_m)

CROP GROUP	ET _m (mm d ⁻¹)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.50	0.425	0.35	0.30	0.25	0.225	0.20	0.20	0.175
2	0.675	0.575	0.475	0.40	0.35	0.325	0.275	0.25	0.225
3	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.45	0.375	0.35	0.30
4	0.875	0.80	0.70	0.60	0.55	0.55	0.45	0.425	0.40

Factor de esgotamento (p): coeficiente de correção por tipo de solo

SOIL TYPE	CORRECTION FACTOR
course textured (sand)	1.1
medium textured (loam)	1.0
fine textured (clay)	0.9

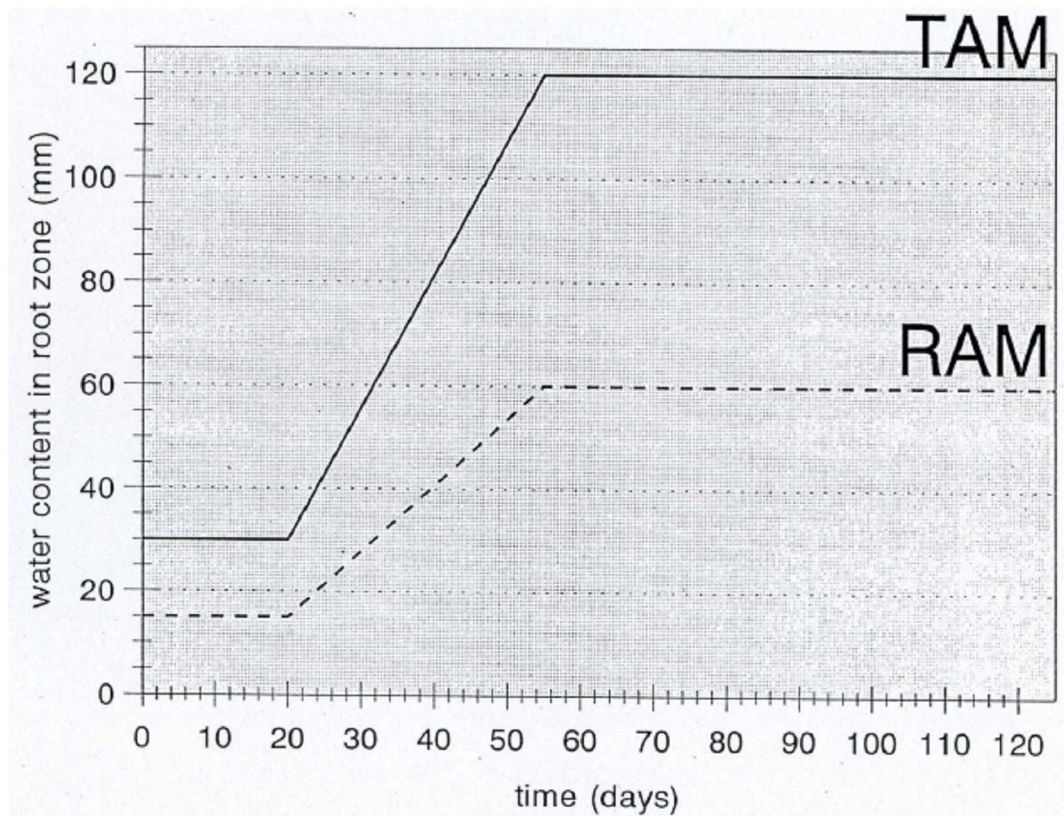
ATENÇÃO

Numa primeira aproximação se pode utilizar o valor de $p = 0.5$ na prática de dimensionamento. Nunca será muito afastado do valor real.

Como exemplo, o desenvolvimento do TAM e RAM durante o ciclo de crescimento de milho é apresentado na FIGURA 4.18.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.18 Desenvolvimento de RAM e TAM durante o ciclo de crescimento de milho num solo franco arenoso ($S_a = 150$ mm/m)



4.6.3 Balança hídrica no solo

Para fazer ou avaliar programações de turnos de rega, informação do teor de humidade na zona radicular é necessário. Este teor de humidade é simulado por meio duma balança hídrica. Tal modelo considera todas as entradas da água como a precipitação, a irrigação e a ascensão capilar e todas saídas da água como o escoamento superficial, a evaporação do solo, a transpiração da cultura e a percolação profunda. O teor de humidade da zona de enraizamento é afectado por estes processos e consequentemente a balança hídrica pode ser escrito como:

$$W_{i+1} = W_i + P + I + G_e - E_{Tact} - R_O - D_P \quad [\text{mm}]$$

Em que:

Manual de Dimensionamento de Regadios

W_{i+1} = Teor de água do solo na zona radicular no momento $i+1$ [mm]

W_i = Teor de água do solo na zona radicular no momento i [mm]

P = Precipitação [mm] no período $(i, i+1)$

I = Irrigação [mm] no período $(i, i+1)$

G_e = ascensão capilar da água subterrânea [mm] no período $(i, i+1)$

ET_{act} = evapotranspiração real da cultura [mm] no período $(i, i+1)$

RO = Escorrimento superficial [mm] no período $(i, i+1)$

DP = Percolação profunda [mm] no período $(i, i+1)$

P , I , G_e , ET_{act} , RO e DP representam a precipitação, a irrigação, a ascensão capilar, o escoamento de superfície e a percolação profunda ocorrendo entre o momento i e o momento $i+1$.

Se o teor de água do solo no início do ciclo de crescimento (W_0) é sabido e todas as entradas e saídas são medidas ou calculadas continuamente, a equação da balança de água pode ser usada para calcular o teor de água do solo nos intervalos subsequentes: $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Dependendo da exactidão requerida, o intervalo pode ser um dia, uma semana, uma década ou mesmo o intervalo entre dois turnos de irrigação. Um exemplo do cálculo da balança da água é dado na TABELA 4.21 e a sua apresentação gráfica em FIGURA 4.19

Em lugar de calcular o teor de água no solo, se pode também expressar os resultados como a falta da água em relação da capacidade do campo, isto é o esgotamento da água na zona radicular. Na capacidade do campo, o esgotamento da zona radicular é zero. Se a água for consumida pelo evapotranspiração, o esgotamento aumenta. Se água for adicionada pela precipitação ou pela irrigação, o esgotamento diminui. Isto é ilustrado na TABELA 4.22 e FIGURA 4.20

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.21 Exemplo da Balança de água no solo

<p>Calculo da balança diária de humidade na zona radicular de amendoim ($D = 0.60$ m, $p = 0.5$) cultivado num solo limoso ($\Theta_{FC} = 31$ vol%, $\Theta_{WP} = 14$ vol%) para um período de 10 dias.</p> <ul style="list-style-type: none"> - No principio do periodo, a zona radicular esta na capacidade de campo - No dia 2, uma chuva de 50 mm ocorreu (10% é perdida por escorrimento superficial) - A evapotranspiracao potencial de amendoim é em media 6 mm/dia -No fim do período de 10 dias, um turno de irrigação enche a zona radicular ate a capacidade de campo 								
<p>$W_0 = W_{FC} = 10 * D * \Theta_{FC} = 10 * 0.6 * 31 = 186$ mm</p> <p>Quando o teor de água do solo na zona radicular é maior que $\Theta_{critical}$, a evapotranspiracao actual é igual a evapotranspiracao potencial ($ET_{crop} = 6$ mm/dia).</p> <p style="text-align: center;">$\Theta_{critical} = 31 - 0.50 (31-14) = 22.5$ vol%</p> <p>Ou o teor de água do solo na zona radicular não deve cair abaixo de:</p> <p style="text-align: center;">$W_{critical} = 10 * D * \Theta_{critical} = 10 * 0.6 * 22.5 = 135$ mm</p>								
Dia	W_i (mm)	P (mm)	I (mm)	G_e (mm)	ET_{act} (mm)	RO (mm)	DP (mm)	W_{i+1} (mm)
1	186	-	-	-	-6	-	-	180
2	180	50	-	-	-6	-5	-	219
<p>Quando o teor de água do solo na zona radicular esta em cima da capacidade de campo (219 mm > $W_{FC}=186$ mm), água drena fora da zona radicular ate se atinge a capacidade de campo</p>								
							-33	186
3	186	-	-	-	-6	-	-	180
4	180	-	-	-	-6	-	-	174
5	174	-	-	-	-6	-	-	168
6	168	-	-	-	-6	-	-	162
7	162	-	-	-	-6	-	-	156
8	156	-	-	-	-6	-	-	150
9	150	-	-	-	-6	-	-	144
10	144	-	-	-	-6	-	-	138
<p>Para encher a zona radicular ate capacidade de campo se necessita $(186-138) = 48$ mm</p>								
			48					180
<p>Os resultados são apresentados na FIGURA 4.19.</p>								

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 4.22 Balança de água no solo (Exemplo TABELA 4.21)

RAM = $p \cdot D \cdot TAM = 0.5 \cdot 0.6 \text{ m} \cdot 170 \text{ mm/m} = 51 \text{ mm}$. Quando o esgotamento da zona radicular (Depl) é menor que o RAM, a evapotranspiração actual é igual a $ET_{crop} = 6 \text{ mm/dia}$.								
Dia	Depl _i (mm)	P (mm)	I (mm)	G _e (mm)	ET _{act} (mm)	RO (mm)	DP (mm)	Depl _{i+1} (mm)
1	0	-	-	-	6	-	-	6
2	6	-50	-	-	6	5	-	-33
O esgotamento torna-se negativo, significa que há um excesso de água em cima da capacidade de campo que drena fora a zona radicular ate atingir a capacidade de campo.								
							33	0
3	0	-	-	-	6	-	-	6
4	6	-	-	-	6	-	-	12
5	12	-	-	-	6	-	-	18
6	18	-	-	-	6	-	-	24
7	24	-	-	-	6	-	-	30
8	30	-	-	-	6	-	-	36
9	36	-	-	-	6	-	-	42
10	42	-	-	-	6	-	-	48
Para encher a zona radicular a capacidade de campo é necessário 48 mm								
			-48					0
Os resultados são apresentados graficamente em FIGURA 4.20.								

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.19 Balança diária de água na zona radicular de amendoim (Tabela 4.21)

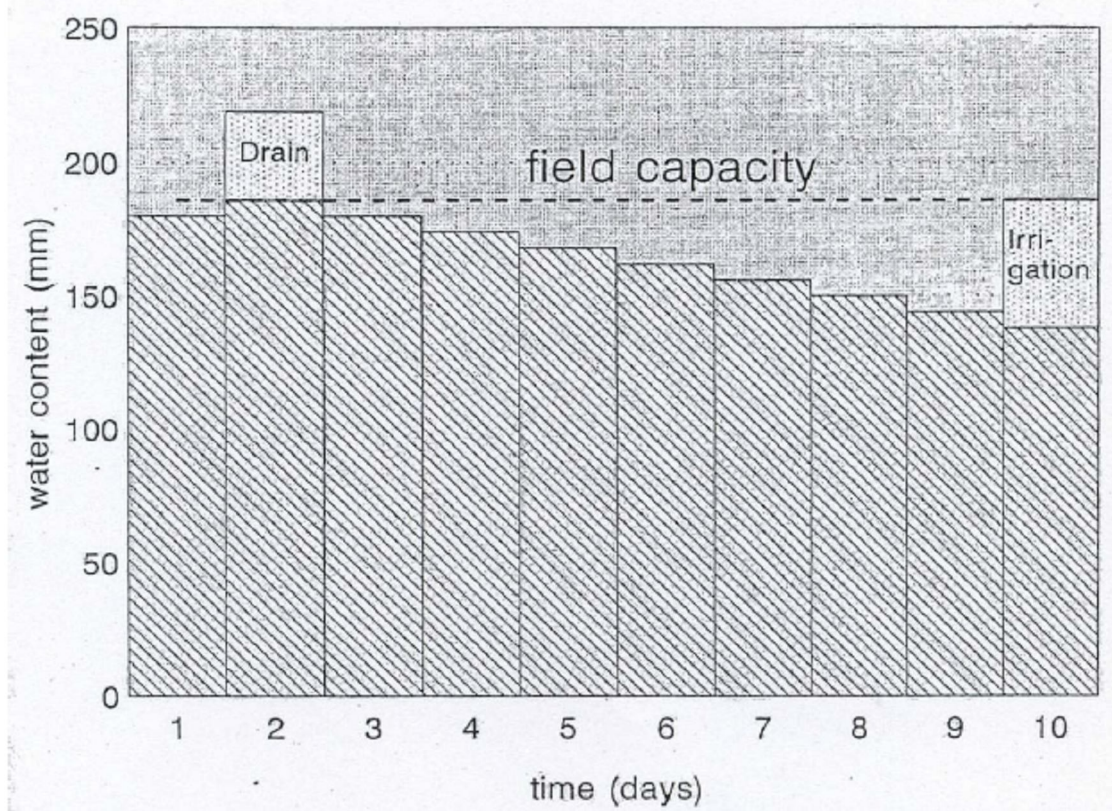
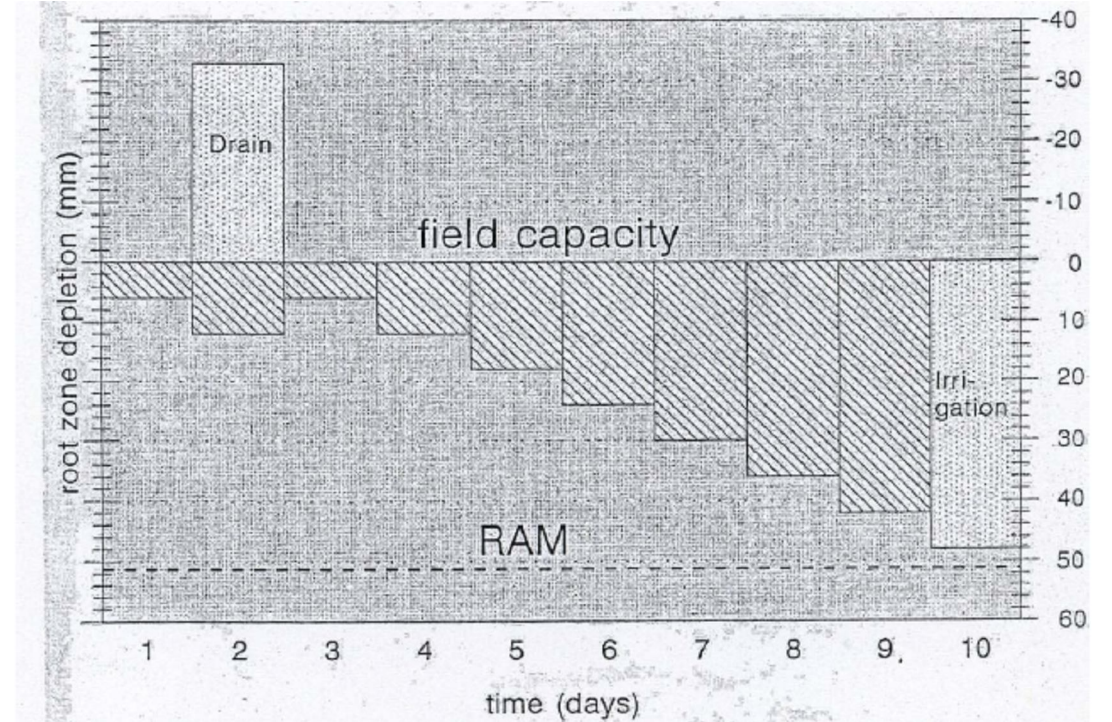


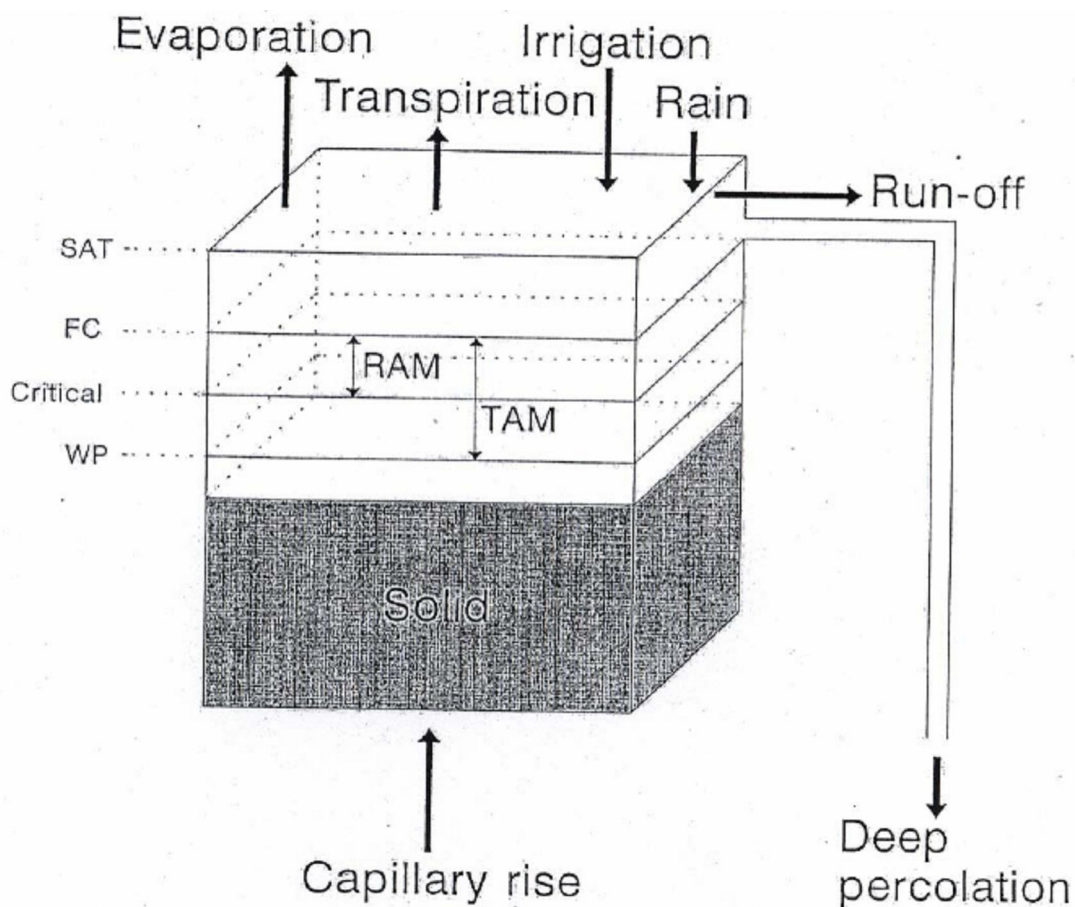
FIGURA 4.20 Esgotamento da água na zona radicular (do TABELA 4.22)



Manual de Dimensionamento de Regadios

Esquemáticamente a zona radicular pode ser apresentado por um recipiente em que o teor de humidade pode flutuar (veja FIGURA 4.21). Após irrigação (I) ou uma chuva pesado (P), que enche completamente a zona radicular, o teor de humidade esta perto da saturação. Contudo, o teor de humidade acima da capacidade do campo não pode ser retido contra às forças da gravidade e drenará fora da zona radicular (percolação profunda). Depois algum tempo, que depende da capacidade de drenagem do solo, a capacidade do campo será alcançada. O evapotranspiracao da cultura esgotará a água na zona radicular. Como discutido antes, entre a capacidade do campo e o teor critico de humidade, a extracção da água pelas raízes das plantas está na taxa potencial como ditada pela demanda climatológica ($ET_{act} = ET_{crop}$). Se o teor de humidade na zona radicular cai abaixo do teor critico de humidade, a taxa real do evapotranspiracao será menor do que a taxa potencial ($ET_{act} < ET_{crop}$). Além disso, quanto menos água na zona radicular, quanto mais a taxa real do evapotranspiracao desvia da evapotranspiracao potencial. Finalmente a evapotranspiracao torna-se zero quando o ponto permanente de emurchecimento é alcançado (veja FIGURA 4.22). A humidade abaixo do ponto permanente de emurchecimento não pode ser extraída pelas raízes da planta.

FIGURA 4.21 Apresentação esquemática da balança de água da zona radicular

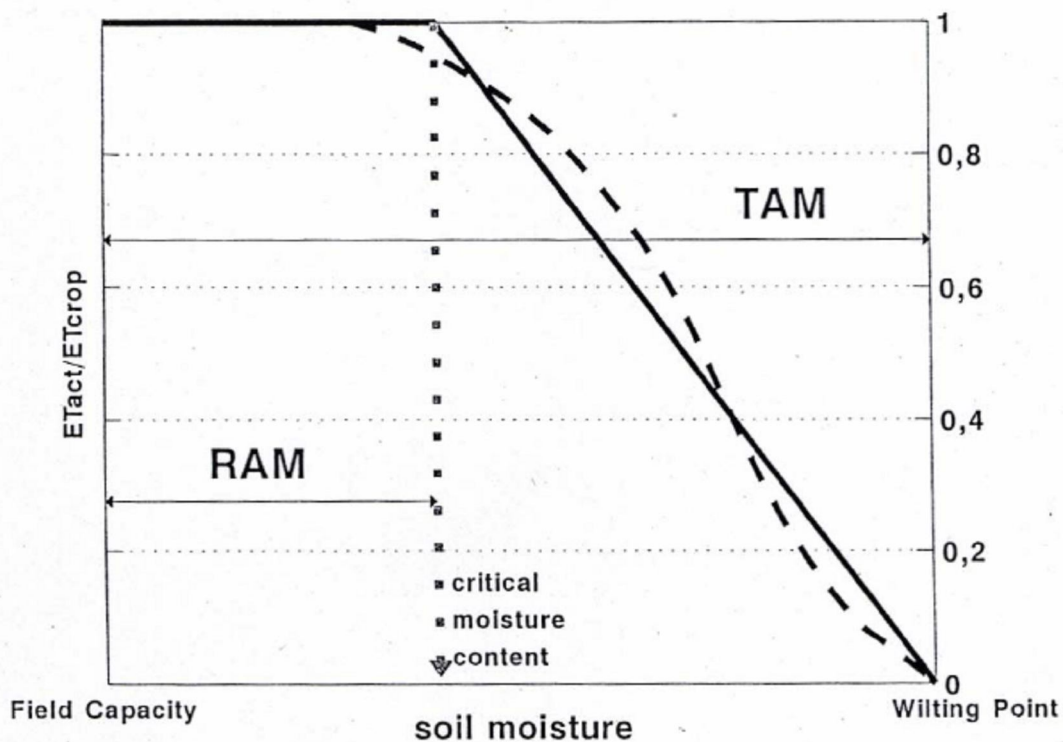


Manual de Dimensionamento de Regadios

Para evitar qualquer stress hídrico e para manter a produção potencial, um turno de irrigação deve ser considerada antes que a evapotranspiração real da cultura (ET_{act}) cai abaixo do nível potencial (ET_{crop}). Isto responde à pergunta quando regar.

A quantidade máxima de água que pode ser aplicada é dada pelo esgotamento da zona radicular, isto é a quantidade da água necessária para encher a zona radicular até a capacidade do campo. Toda a água aplicada em excesso será perdida pelo percolação profundo. A programação de rega (quando e quanto regar) é discutido na secção seguinte.

FIGURA 4.22 Evapotranspiração da cultura como função da humidade do solo na zona radicular



Manual de Dimensionamento de Regadios

4.6.4 Programação de Irrigação

Para fins de dimensionamento dos sistemas de rega deve-se idealizar uma programação de rega que é a base para definir a distribuição de água que na sua vez define as dimensões dos canais e obras de distribuição.

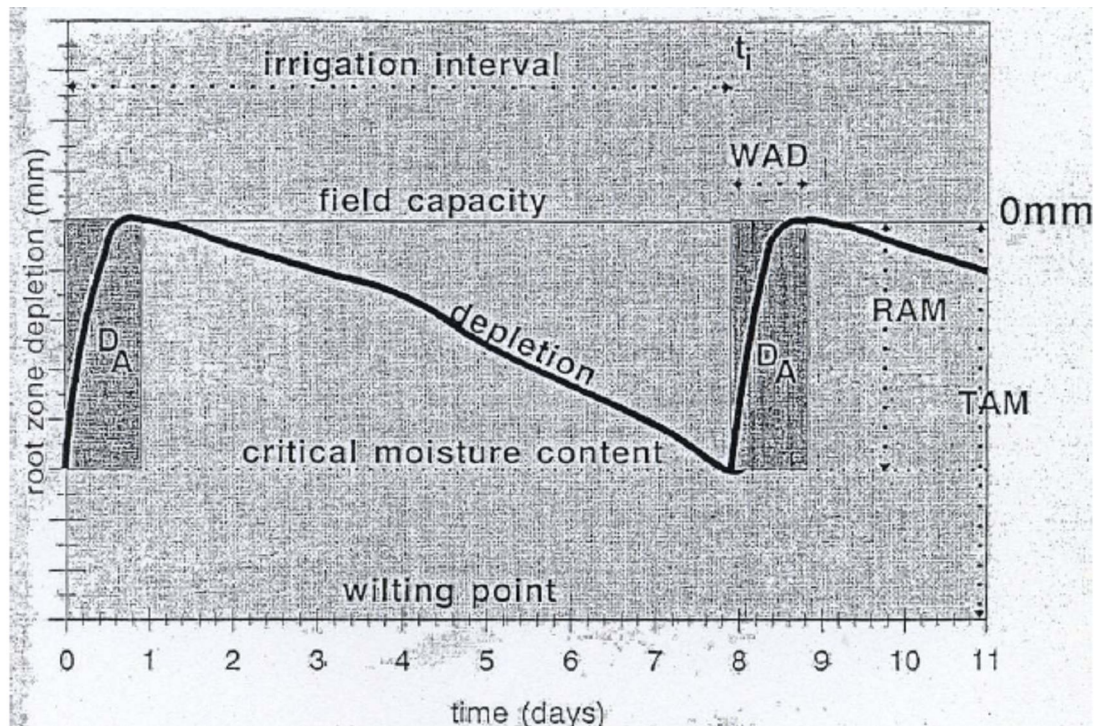
A programação de irrigação significa a planificação do momento e da profundidade de aplicação de turnos de rega, trata das questões: QUANDO e QUANTO regar. O objectivo é aplicar água da irrigação no momento certo e na quantidade necessário. Por um lado há muitas opções de fazer isso, por outro lado, se a água é fornecida num momento inoportuno ou não na quantidade apropriada, a eficiência da irrigação diminui. Um fornecimento limitado resulta na redução do rendimento devido ao stress hídrico. O fornecimento de demasiada água não somente resulta em perdas profundas de percolação que pode lixívia nutrientes fora da zona radicular, mas também pôde diminuir o rendimento.

Figura 4.23 é uma representação esquemática do que é programação de irrigação. Começando com um solo na capacidade do campo, a água é extraída pela cultura numa taxa igual a ET_{crop} . Enquanto a extracção progride a humidade facilmente disponível fica esgotada e a evapotranspiracao actual da cultura (ET_{act}) vai cair abaixo da ET_{crop} (evapotranspiracao potencial da cultura). Neste momento se deve regar e preencher o perfil, no máximo até a capacidade do campo.

Isto defina o intervalo da irrigação e a quantidade máxima de água para aplicar num turno de rega. Algum atrasa resulta numa condição restrita de água disponível na zona radicular ($ET_{act} < ET_{pot}$) e aumento de stress hídrico.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 4.23 Apresentação gráfica de programação de rega



Na **programação de rega** há 2 questões fundamentais inter-relacionadas

- Quando regar ?
- Quanto regar ?

Quando regar ?

Na Operação de rega:

- Indicadores relacionadas com a planta

p.e. aparência, sinais de emurchecimento, cor de folhas, plantas indicadores

- Indicadores relacionadas com o solo

p.e. julgar teor de humidade visualmente e por sentir ; força de retenção de água por parte do solo com tensiometro

Por fins de dimensionamento dum sistema de rega não podemos utilizar estes indicadores porque o calendário de rega –um dos elementos que determinam o dimensionamento da infra-estrutura de distribuição tem que ser estabelecida com antecedência.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Para fins de dimensionamento dos sistemas de rega utilizamos normalmente métodos que são baseados na **balança de água no solo** (Veja também secção 4.6.3)

A balança de água no solo é baseado na mudança do teor de água na zona radicular e consequentemente na mudança de água disponível na zona radicular no período (i, i+1).

$$AM_{rz,i+1} = AM_{rz,i} - ET - (RO) - (DP) + P + I + (Ge) \quad [\text{mm}]$$

Em que:

$AM_{rz,i+1}$ = Água disponível na zona radicular no momento i+1 [mm]

$AM_{rz,i}$ = Água disponível na zona radicular no momento i [mm]

P = Precipitação [mm] no período (i,i+1)

I = Irrigação [mm] no período (i,i+1)

Ge = ascensão capilar da água subterrânea [mm] no período (i,i+1)

ET = evapotranspiração da cultura [mm] no período (i,i+1)

RO = Escorrimento superficial [mm] no período (i,i+1)

DP = Percolação profunda [mm] no período (i,i+1)

Se há as seguintes suposições:

$$Ge = 0$$

I = 0 no período (i,i+1)

Então é valido:

$P_{eff} = P - DP - RO$ porque as perdas de água (DP e RO) são contados no P_{eff}

E consequentemente:

$$AM_{rz,i+1} = AM_{rz,i} - ET + P_{eff}$$

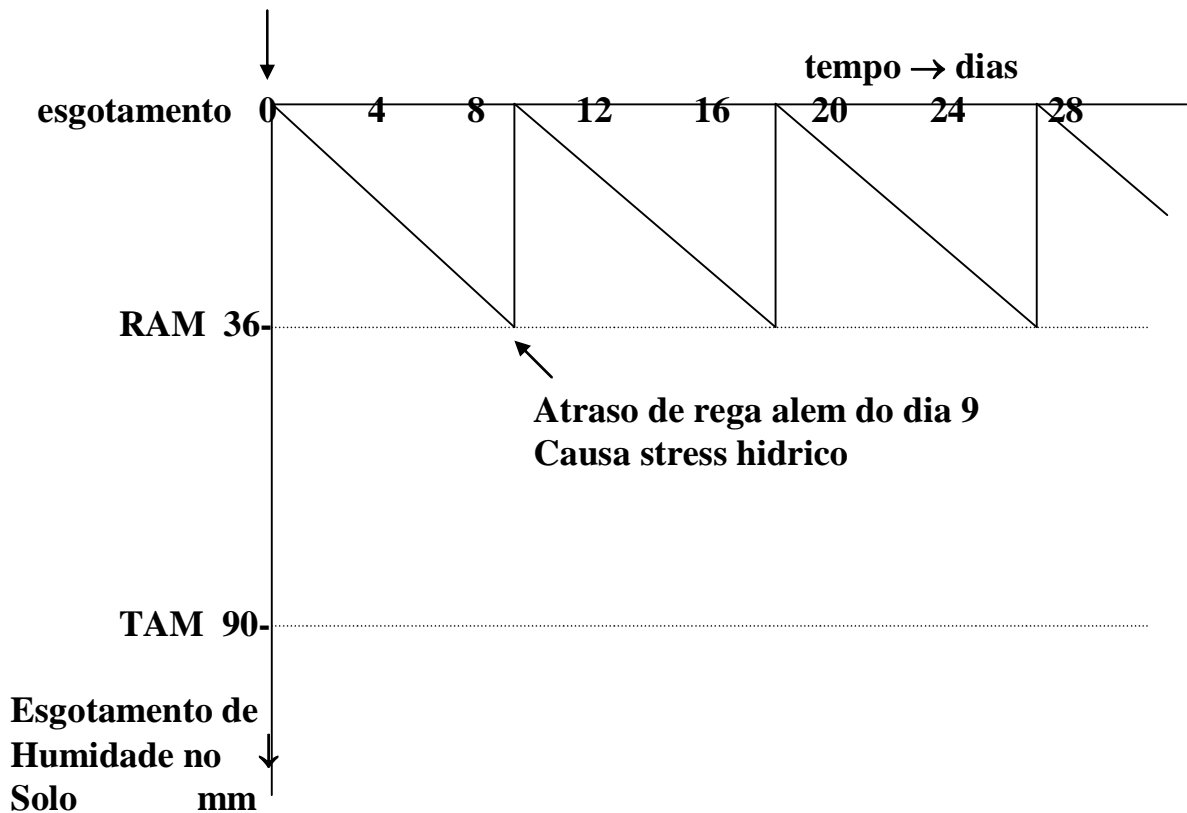
$AM_{rz,i} - AM_{rz,i+1} = ET - P_{eff} = IRR_{net}$ (Necessidade líquida de rega no período [i, i+1]).

O termo $AM_{rz,i} - AM_{rz,i+1}$ é igual ao esgotamento da humidade do solo no período [i,i+1].

Isto pode ser apresentada numa gráfica de esgotamento de humidade no solo. Este 'linha de serrote' mostra claramente a variação da humidade na zona de enraizamento. Um exemplo encontra-se na FIGURA 4.24.

FIGURA 4.24 APRESENTAÇÃO GRAFICA de esgotamento da água no solo (“linha de serrate”)

Zona radicular na Capacidade de campo



Exemplo:

$$\text{TAM} = \text{Humidade total disponivel} = (\Theta_{fc} - \Theta_{pwp}) D_{rz} = (35\% - 20\%) * 600\text{mm} = 90\text{mm}$$

$$\text{RAM} = \text{Humidade facilmente disponivel} = p * \text{TAM} = 0.40 * 90 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Esgotamento (i, i+1)} = \text{ET-Peff} = 4 \text{ mm/d} \quad (\text{CR} = 0 ; \text{DP} = 0)$$

Depois 9 dias a esgotamento de humidade no solo é $9 * 4 = 36 \text{ mm}$ e toda humidade facilmente disponivel esta usado → tempo para regar

$$\text{Intervalo máximo de rega (INTmax)} = 36/4 = 9 \text{ dias}$$

Uma aplicacao de rega neta de 36 mm poe a zona radicular de novo na capacidade de campo.

Manual de Dimensionamento de Regadios

O intervalo de rega é determinada por 2 variáveis;

- A necessidade líquida de rega: $IRR_{net} = ET_m - P_{eff}$

- a humidade de solo facilmente disponível na zona radicular: RAM

O intervalo é muito variável dependente da ET_o , da cultura e seu estágio de desenvolvimento (factor k_c e profundidade de zona radicular) e das características de solo.

* O INTERVALO Máximo DE REGA pode ser calculado com a seguinte equação:

$$n_{max} = RAM / IRR_{net} = RAM / (ET_c - P_{eff})$$

em que:

n_{max} = intervalo máximo de rega (dias)

RAM = Humidade de solo facilmente disponível (mm)

$$RAM = p * TAM$$

p = factor de esgotamento admissível (-)

TAM = humidade total disponível (mm)

$$TAM = 10 * (\theta_{fc} - \theta_{wp}) * D_{rz}$$

$\theta_{fc, wp}$ = teor de humidade no FC, WP (vol %)

* A PROFUNDIDADE máxima DE APLICACAO de REGA que corresponde com o intervalo máximo de rega é dado por:

$d_{n_{max}}$ = quantidade máxima de água de rega que pode ser armazenada na zona radicular = profundidade líquida máxima de aplicação [mm]

$$= n_{max} * (ET_m - P_{eff}) = RAM$$

Manual de Dimensionamento de Regadios

5. DISTRIBUICAO DE AGUA

No capítulo anterior se tratou às necessidades de água de rega para diferentes culturas nos diferentes fases de crescimento. A água de rega deve ser suficiente para satisfazer as necessidades hídricas (Evapotranspiracao) das culturas. Num sistema de irrigação c/ culturas heterogéneas estas necessidades são altamente variáveis no tempo e espaço, principalmente num padrão heterogéneo de culturas com diferentes períodos de ciclos de crescimento e padrões variáveis de precipitação.

É economicamente e organizacionalmente impossível de fornecer água em diferentes quantidades (dependente das necessidades de rega) a um padrão heterogéneo de culturas em todos os lugares no mesmo tempo. Também não é necessário. O solo funciona como um reservatório de água dinâmico (a quantidade armazenada depende de características de retenção do solo e o teor da humidade no solo, a capacidade de armazenagem também cresce com o desenvolvimento da zona radicular) que permite de transformar um fornecimento contínuo de água de rega num fornecimento descontínuo e periódico.

Uma boa pratica de rega consiste em encher o reservatório do solo nos momentos certos (o tempo entre estes momentos não deve ser curto ou longo demais) com as quantidades certas (nem grande demais ou pequena demais). Como isto pode ser realizado na prática é tratado neste Capitulo.

5.1 Relação entre a programação de rega e a distribuição de água

A distribuição de água num sistema de irrigação é baseada na programação de rega. A programação de rega trata de duas questões: QUANDO e QUANTO regar que envolve 2 parâmetros interrelacionados:

- Intervalos de rega (o tempo entre 2 turnos de rega)
- Dotações/aplicações de rega (lamina de água ou volume de água).

A dotação/aplicação de rega pode ser considerada o resultado dum determinado duração de aplicação e o caudal de aplicação que são interrelacionadas conforme a seguinte equação:

$$10 \cdot D \cdot A = 3.6 \cdot T_{apl} \cdot q \quad (\text{Equação 5.1})$$

em que:

D= dotação/aplicação de rega num turno [mm]

A= Área de rega [m²]

10*D*A= Volume Aplicada de Água de rega num turno [m³]

T_{apl}= Duração de turno de água [hora]

q = caudal de aplicação [l/s]

Manual de Dimensionamento de Regadios

5.2 Parâmetros de distribuição

Há 3 parâmetros operacionais que determinam a distribuição de água no campo:

- Intervalo de rega
- Duração da aplicação de Água
- Caudal de aplicação

5.2.1 Intervalo de rega

Como já foi tratado em secção 4.6, o intervalo de rega é determinada por 2 variáveis;

- A necessidade líquida de rega: $IRR_{net} = ET_m - P_{eff}$
- A humidade de solo facilmente disponível na zona radicular: RAM

O intervalo é muito variável dependente da ET_o , da cultura e seu estágio de desenvolvimento (factor k_c e profundidade de zona radicular) e das características de solo.

Exemplos

Solo: TAM = 160 mm

$ET_o = 6$ mm/dia; não ha precipitação

Cultura: Alface

* $K_c = 0.7$ $ET_c = 4.2$ mm/dia = IRR_{net}

Profundidade radicular: 0.2 m $p = 0.4$

RAM = $0.2 * 0.4 * 160 = 13$ mm

Intervalo: $13/4.2 \approx 3$ dias

Aplicação líquida: 13 mm

* $K_c = 1$ $ET_c = 6$ mm/dia = IRR_{net}

Profundidade radicular: 0.4 m $p = 0.4$

RAM = $0.4 * 0.4 * 160 = 26$ mm

Intervalo: $26/6 \approx 4$ dias

Aplicação líquida: 26 mm

* Cultura : milho

$K_c = 1$ $ET_c = 6$ mm/dia = IRR_{net}

Profundidade radicular: 1.0 m $p = 0.5$

RAM = $0.5 * 1.0 * 160 = 80$ mm

Intervalo: $80/6 \approx 14$ dias , corresponde com o intervalo máximo (veja secção 4.6)

Aplicação líquida: 80 mm

Como alternativa se pode também fornecer uma aplicação líquida de 40 mm cada semana.

5.2.2 Duração da aplicação da água (TapI)

Manual de Dimensionamento de Regadios

Este parâmetro define o tempo que uma parcela e/ou um bloco recebe água num turno de rega. A duração da aplicação é expressada basicamente em [segundos] mas pode também ser expressada em [minutos] ou [horas] ou em uma combinação de ambos. Na prática de irrigação a duração de turno é preferencialmente arredondada há horas inteiras ou meias horas.

5.2.3 Caudal de aplicação (q)

O factor que relaciona a duração da aplicação e a profundidade da aplicação é o caudal de aplicação q (Veja equação 5.1) , isto é o caudal recebido na tomada de água da parcela. Este caudal é normalmente expressado em litros por segundo [l/sec]. Este caudal é o caudal com que os regantes têm que operar.

A grandeza deste caudal de operação é muito relevante: Se a grandeza for demasiado baixa, não há uma distribuição uniforme da água infiltrado, as perdas da aplicação (percolação profunda) aumentarão e o regante permanece subocupado no campo; se a grandeza for demasiado grande, a água da irrigação se perde por escorrimento superficial. Nesse respeito, o caudal manejável (na literatura internacional normalmente indicado com o seu termo em francês “main d’eau”) é definido como o caudal que um regante (eventualmente com ajudante) pode manejar para regar numa maneira eficaz e eficiente. O conceito de caudal manejável (‘main d’eau’) é fundamental - mas frequentemente negligenciado no dimensionamento e determinante para a configuração do sistema.

A grandeza do caudal manejável depende de muitos factores. Em alguns tipos de sistemas de irrigação o caudal de aplicação é limitado pelas características próprias do sistema. No sistema de irrigação tipo 2, o caudal de aplicação é limitado pelo caudal da mangueira ($\pm 2-5$ l/s). No sistema de irrigação tipo 6 (bomba pedestal) o caudal do campo (± 1 l/s) é limitado pela capacidade da bomba e pela força de trabalho disponível para operar a bomba. Nos sistemas tipo 1 e 3 o caudal manejável tem uma ordem maior de grandeza. As limitações mais importantes da irrigação nos sistemas tipo 1 e 3 são o método de irrigação e a habilidade/ experiência do regante.

* Métodos de rega

Os métodos de rega para aplicar dependem em grande parte do tipo de sistema, como é evidente nos sistemas de (micro) aspersão, gota-gota etc. Também a cultura pode determinar o método de rega, p.e. o único método de rega apto para a cultura de arroz é o método de bacias.

Nos métodos superficiais de irrigação por gravidade há bastante variação. Em muitos textos, principalmente de origem Americano, que tratam dos métodos de irrigação há muito ênfasis nos sulcos e faixas compridos sob uma inclinação regular. Estes métodos são principalmente inspirados nas condições americanas: campos grandes e niveladas, regantes com uma própria fonte de água e que requerem minimização de força de trabalho para regar etc. Para atingir eficiências razoáveis de aplicação, estes métodos de rega requerem condições especiais que, por exemplo, permitam de regularizar caudais -

Manual de Dimensionamento de Regadios

dentro de margens estreitas- para cada sulco ou faixa. Estes métodos têm pouca relevância para as condições actuais em Moçambique. Por isso não se trata os pormenores destes métodos no contexto deste manual.

Nas condições Moçambicanas, o método de irrigação por bacias planas de pequeno ou médio tamanho e/ou por sulcos curtos nivelados (Por um exemplo, Veja FOTO 5.1) é o mais adequado e o mais usado por regantes, mesmo em áreas grandes. Este método tem grandes vantagens porque permite de aplicar água concentradamente num curto período de tempo numa unidade de rega pequena que conduz a uma distribuição uniforme da água infiltrado e pode diminuir as perdas por percolação profunda (na condição que a profundidade de aplicação não ultrapassa a dotação programada). Assim é possível de atingir eficiências razoáveis de aplicação.

* Grandeza do caudal manejável

Em caso de método de bacias pequenas e/ou sulcos curtos nivelados e os regantes não são muito experientes, o caudal manejável do campo nos sistemas de irrigação tipo 1 e 3 é na ordem de 5-15 l/s nos vegetais e outras culturas de campo e 20-40 l/s no arroz.

ATENCAO

Estes valores são consideravelmente mais baixos que os valores mencionados na literatura (25-40 l/s para culturas de campo, ate 100 l/s para arroz em grandes bacias), principalmente de origine Americano. Estes últimos valores podem ser adequados em outras condições: parcelas maiores e nivelados que permitam outros métodos de rega (sulcos e faixas compridos, grandes bacias) e regantes mais experimentados e com mais recursos.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FOTO 5.1 Rega por sulcos curtos (Nintulo, Maio 2005)



* Relevância do caudal manejável para dimensionamento

O caudal manejável do campo é no mesmo tempo o caudal de dimensionamento num canal de distribuição. Isto implica que as parcelas servidas por um canal da distribuição (bloco de irrigação) recebem o caudal no canal sequencialmente em rotação. A grandeza do caudal manejável é um dos determinantes do tamanho do bloco de rega. A divisão do caudal do sistema (bomba) em unidades de caudal manejável determina o número de canais da distribuição e de blocos respectivos. A selecção de um pequeno caudal de manejo ('main d'eau'), p.e. por razões operacionais, implica uma densidade mais elevada de rede de canais e custos de investimento mais elevados por hectare irrigado (todas outras condições iguais).

Exemplo

Necessidade bruta de rega no período pico: 1 l/s/ha (caudal fictício contínuo)

Horas de rega: 12 horas/dia. Implica uma necessidade de bombagem de 2 l/seg/ha

2 casos:

Caudal manejável de 6 l/seg: área de bloco = $6/2 = 3$ ha

Caudal manejável de 15 l/s: área de bloco = $15/2 = 7.5$ ha

Manual de Dimensionamento de Regadios

5.3 Adaptação prática da distribuição a aplicação no campo

Num padrão heterogéneo de culturas, em princípio cada cultura tem diferentes intervalos e aplicações. No nível de sistema isto implicaria uma grande variabilidade de caudais nos canais e de tempos de rega. Isto conduziria a sistemas altamente complexos de dimensionar e gerir. Para simplificar o dimensionamento e a gestão dos sistemas temos que fazer um único calendário de rega que satisfaz as necessidades de rega do padrão de culturas no período (mês) de pico. Isto significa que nos intervalos de rega no período de pico cada parcela recebe um turno de rega com uma certa duração e um certo caudal que resulta numa quantidade de água que corresponde com as necessidades brutas de rega das diferentes culturas no intervalo de rega.

Para chegar a este calendário simples de rega isto implica as seguintes simplificações:

* Um intervalo fixo

O intervalo de rega tem que ser adaptado a uma cultura crítica. Esta é a cultura que necessita o intervalo mais curto no período pico.

Como já foi tratado na secção 4.6, o intervalo máximo é igual a:

$INT = RAM / (ET_c - Pe_{ff})$ e pode ser aproximado por $INT \approx RAM / (ET_o - Pe_{ff})$ no período pico ($k_c=1$). Nos meses de Setembro-Outubro quando a precipitação é negligenciável se pode ainda simplificar mais esta equação: $INT \approx RAM / ET_o$. Esta equação mostra que a cultura com o RAM (= $p \cdot Drz \cdot AM$) menor determina o intervalo de rega. Por isso se pode chamar 'cultura crítica'. É geralmente a cultura com a zona radicular menor.

Exemplo

Uma parcela, superfície A com metade milho (0.5A) e metade cebolas (0.5A)
Solo franco: $AM \approx 140$ mm/m
 ET_o : 6 mm/dia no tempo pico

Cultura: Cebolas
profundidade de enraizamento no tempo pico: 60 cm
Factor de esgotamento p: 0.5
 $RAM = 0.5 \cdot 0.6 \cdot 140 = 42$ mm
 $INT \approx 42/6 = 7$ dias

Cultura: Milho
profundidade de enraizamento no tempo pico: 120 cm
Factor de esgotamento p: 0.5
 $RAM = 0.5 \cdot 1.2 \cdot 140 = 84$ mm
 $INT \approx 84/6 = 14$ dias

Isto implica a seguinte distribuição de água

Manual de Dimensionamento de Regadios

	cebolas	milho	parcela	
Semana 1				
Área regada	0.5A	0.25A(*)	A	
IRRnet [mm]	42	84	42	
Semana 2				
Área regada	0.5A	0.25A(*)	A	
IRRnet [mm]	42	84	42	
Semana 3				
Área regada	0.5A	0.25A(*)	A	
IRRnet [mm]	42	84	42	ETC.
ETC				

Nota

(*) : campo de milho dividido em 2 partes iguais. Na semana 1 recebe a 1ª parte 84 mm, na semana 2 recebe a 2ª parte 84 mm. Alternativamente se pode também dar toda área de milho 42 mm cada semana.

A duração do intervalo de rega determina a quantidade potencial das horas de rega. Num sistema de rega com um padrão heterogéneo de culturas normalmente não se pode regar eficientemente a noite (difícil condução de água). As horas de rega são limitadas as 5-19 horas que corresponde com uma duração de 14 horas/dia

- Um caudal manejável fixo

A grandeza do caudal manejável tem uma certa flexibilidade mas deve ser escolhida dentro de certos limites. Em caso de método de bacias pequenas e/ou sulcos curtos nivelados e os regantes não são muito experientes, o caudal manejável do campo nos sistemas de irrigação tipo 1 e 3 é na ordem de 5-15 l/s nos vegetais e outras culturas de campo e 20-40 l/s no arroz. Em outros tipos de sistemas de irrigação o caudal de aplicação é limitado pelas características próprias do sistema. No sistema de irrigação tipo 2, o caudal de aplicação é limitado pelo caudal da mangueira ($\pm 2-5$ l/s). No sistema de irrigação tipo 6 (bomba pedestal) o caudal do campo (1-2 l/s) é limitado pela capacidade da bomba e pela força de trabalho disponível para operar a bomba.

- Duração dos turnos de rega

As necessidades brutas de água no período de pico e o caudal manejável determinam o tempo de rega por unidade de superfície e por cada parcela conforme a seguinte Equação:

$$t = 10 * IRRbruta * A * 1000 / q \quad \text{EQUACAO 5.2}$$

em que:

t [seg]: duração de turno de rega para uma parcela com superfície A

IRRbruto [mm]: necessidade bruta de rega no intervalo fixo do período pico

A [ha]: superfície da parcela regada

Manual de Dimensionamento de Regadios

q [l/s]: caudal de aplicação (maneável)

Para simplificar o calendário de rega e facilitar a gestão do sistema (distribuição de água) é preferível de arredondar a duração do turno de rega em horas inteiros.

Neste caso a EQUACAO 5.2 torna-se em:

$$t = 10 * IRRbruta * A * 1000 / (q * 3600)$$

com t em [horas]

Exemplo

* Caso 1: monocultura de cebolas (veja Exemplo anterior)

Intervalo no período pico: 7 dias

IRRnetto= ETo: 42 mm no intervalo

Eficiência de rega: 0.6

IRRbruta: $42/0.6 = 70$ mm no intervalo

Superfície parcela: 0.5 ha

q: 10 l/s

Água de rega para fornecer no turno: $10 * 70 * 0.5 = 350$ m³ = 350,000 litros

$t = 350,000/10 = 35,000$ seg = $35,000/3,600 = 9.72$ horas ≈ 10 horas

* Caso 2: policultura de hortícolas e outras culturas de campo

Cultura critica: cebolas (veja Exemplo anterior)

Intervalo no período pico: 7 dias

Para a estimativa das necessidades brutas de rega suponhamos que no período pico se cultivo 80% da parcela com uma mistura de culturas que tem uma necessidade media de rega, igual a $0.8 * ETo$

Eficiência de rega: 0.6

IRRbruto = $10 * 0.8 * 42 * 0.8 * 0.5 / 0.6 = 45$ mm

Superfície parcela: 0.5 ha

q: 10 l/s

Água de rega para fornecer no turno: $10 * 45 * 0.5 = 225$ m³ = 225,000 litros

$t = 225,000/10 = 22,500$ seg = $22,500/3,600 = 6.25$ horas ≈ 6 horas/0.5 ha

Horas de rega por ha: 12 horas/ intervalo

Nos períodos fora do pico não se muda o caudal de campo mas se diminui as horas de rega num intervalo e eventualmente se pode mudar o intervalo. Um exemplo elaborado se encontra na CAIXA 5.1.

5.4 Calculo da superfície do bloco de distribuição

Nos sistemas de irrigação tipo 1 e 3 aplica-se um caudal maneável numa parcela durante a duração dum turno. Depois do fim do turno, se transfere o caudal para uma outra parcela etc. Então, o princípio básica de distribuição de água é a rotação dum caudal

Manual de Dimensionamento de Regadios

manejável durante o intervalo de rega. A área que se pode regar desta maneira se pode chamar um bloco de distribuição que é servido por um canal de distribuição.

A partir das horas de rega no intervalo crítico e as horas de rega por unidade de área [ha] se pode determinar a área do bloco de distribuição conforme a seguinte Equação.

$$A_{\text{bloco}} = \text{horas de rega no intervalo critico} / \text{horas de rega por ha}$$

Exemplo

Intervalo no período pico: 7 dias

Horas de rega no intervalo critico: 72 horas

Horas de rega por ha: 12 horas no intervalo (Veja Exemplo anterior)

$$A_{\text{bloco}} = 72 / 12 = 6 \text{ ha}$$

5.5 Princípios de Configuração e Dimensionamento de regadios

Nos regadios tipo 1 e 3 há 2 princípios básicos que determinam a sua configuração:

- A situação topografia
- A divisão de regadio em blocos de distribuição

Nesta secção só foi tratado o último princípio, como determinar a superfície dum bloco de distribuição.

No caso dum regadio com mais um bloco de distribuição se deve dividir o caudal extraído ou bombeado em unidades de caudais manejáveis que cada um serve um bloco de distribuição servido por um canal de distribuição. Os blocos e seus respectivos canais de distribuição e tomadas para parcelas formem o nível de distribuição num regadio. São eventualmente alimentados por canais de transporte.

Manual de Dimensionamento de Regadios

CAIXA 5.1 Estimativa de horas de rega no Sistema de Mandruzi Gappo

* Dados

- Localização: distrito de Dondo
- Área de rega: 30 ha dividido em 4 blocos secundários de 7.5 ha cada. Cada bloco tem 30 parcelas de 0.25 ha.

* Cálculo das necessidades da água de rega para o arroz em Mandruzi Gappo

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Total
ETo (mm) (a)	153	155	163	168	147	147	125	103	83	86	106	128	
P75% (mm) (b)	7	77	148	188	172	143	68	33	17	21	11	3	888
Kc do arroz				1	1,1	1,1	1,1	0,95					5
ETc (mm) (d)				126	162	162	137	114					700
Percolação (mm) (e)				31	28	31	30	31					151
Saturação (mm) (f)				100									100
Alagamento (mm) (g)				50	50			-100					0
Irrig. líquida (mm) (h)				119	68	50	99	12					347
Irrig. Bruta (mm) (i)				159	90	67	132	15					463

(a): ETo dados do CLIMWAT database FAO

(b): P75% dados do CLIMWAT database FAO

(d): $ET_c = K_c \times ETo$ no mês de Janeiro será aplicado 75% porque a área saturada e transplantada vai aumentar gradualmente, e no fim de Janeiro supomos que a área será 100%

(e): Estimou se uma perda por percolação permanente de 1 mm por dia

(f): Escolheu se o mês de Janeiro para o transplante do arroz por ser o mês que habitualmente os beneficiários fazem este trabalho, por isso a saturação do solo será completada nessa altura. As necessidades de água de rega para saturação são estimados da seguinte maneira.

Trata se aqui de vertisolos que no fim do tempo seco tem grandes rachas.

Supomos que os solos estão nesse altura no seu ponto de murchamento (Vol. % de água igual a 25%). Suponhamos que no ponto de saturação a terra tem um teor de água de 55 vol %. Para saturar este tipo de solos até uma profundidade de 60 cm, o volume % de água necessária para a saturação é $(55\% - 25\%) \times 600 \text{ mm} = 180 \text{ mm}$. Como a saturação é completada no mês de Janeiro, espera se que as chuvas de Dezembro (P75%=148 mm) irão fornecer ao solo pelo menos 80 mm, então se estima que num ano seco (P75%) se deve aplicar cerca de 100 mm de água da rega para completar a saturação em Janeiro.

(g): O alagamento da área vai acontecer para o transplante em Janeiro e uma 2ª vez para o crescimento em Fevereiro, uma lamina de 50 mm de água encima do solo vai ser aplicada nas duas vezes

(h) A rega líquida é a diferença entre as necessidades da água (d+e+f+g) ver no quadro 1 e a precipitação confiável (P75%)

(i): A rega bruta é a soma da rega líquida mais as perdas de água para fora do sistema. A eficiência de sistema (rega líquida/regagem bruta) é estimada em 75%.

* Calculo capacidade de bomba

159 mm corresponde com $0.159 \times 30 \times 10,000 = 47,700 \text{ m}^3$

Suponhamos no mês pico 216 horas de rega

A capacidade necessária da bomba = $(47700 \text{ m}^3 / \text{mês}) / (216 \text{ horas} / \text{mês}) = 221 \text{ m}^3 / \text{h}$ ou $(221000 \text{ L} / \text{h}) / 3600 \text{ s} = 61.3 \text{ l/s}$ que se arredonda para **60 l/s**

Continuação CAIXA 5.1

Manual de Dimensionamento de Regadios

* Aplicação da água de rega no sistema durante a campanha

O sistema tem um total de 30 ha irrigáveis subdivididos em 120 parcelas de 0,25 ha cada. As parcelas estão distribuídas em 4 blocos de 7,5 ha com 30 parcelas cada.

Cada bloco é servido por um canal secundário que fornece um caudal de 15 L/s.

A distribuição da água que mais se aproxima a uma divisão equitativa e simultânea do caudal bombeado (60 L/s ou 216 m³/h) pelos 4 canais secundários do sistema, isto é, 15L/s ou 54 m³/hora para cada canal secundário em simultâneo.

O mês de maior necessidade é o mês em que se faz o transplante e o solo deve ser saturado e alagado com uma lâmina de água de 50 mm (Janeiro). Para isso são necessários 159 mm (Veja Tabela), o equivalente a 1590 m³/ha = 397,5 m³/parcela de 0,25Ha.

Para regar completamente uma parcela (397,5 m³), através do canal secundário são necessários 397,5 m³/(54m³/hora) = 7,4 horas, que devem ser feitas durante o mes.

A aplicação deste volume de água, que é mensal, por questões práticas, pode ser distribuído por aplicações semanais (6 dias) ao longo do mes (4 semanas) ou seja, 60 horas de rega por semana, sendo 10 horas de rega/dia.

A nível dos canais secundários, cada canal irá receber por semana o caudal de 54 m³/hora durante 60 horas (1 semana) para repartir pelas 30 parcelas que cada canal serve. O tempo que cada parcela vai receber água por semana é 60 horas /30 parcelas =2horas / parcela (108 m³). As parcelas que são regadas/dia/canal são (10 horas de rega/dia)/2 horas/parcela=5 parcelas.

Por semana, cada canal secundário rega, 5 parcelas/dia x 6 dias = 30 parcelas ou seja 120 parcelas pelos 4 canais secundários.

Para completar a aplicação dos 159 mm, o processo será repetido em 4 semanas (24 dias de trabalho).

No mes seguinte (Fevereiro), a necessidade de rega bruta é de 90 mm (veja Tabela), para manter a saturação e o alagamento de 50 mm. Como durante a aplicação da água da rega do mês de Janeiro, houve um excesso de 13,8 mm, pelo facto de cada parcela ter recebido água durante 8 horas em vez de 7,4 horas. Este excesso será considerado na rega a ser feita no mês de Fevereiro, assim, o volume a aplicar será, 90 mm – 13,8 mm= 76,2 mm = 762 m³/ha = 190,5 m³/ parcela de 0,25Ha e para o total da área 22860 m³.

A lâmina bruta de 76 mm para aplicar corresponde com 3.5 horas de rega/parcela/mês ou (120/4)*3.5 = 105 horas/sistema/mês. Para fazer a calendário de rega mais pratica, arredamos ate 120 ha/mês que corresponde com 4 horas de rega/parcela/mês. Se a bomba trabalha 8 horas/dia são necessários 15 dias de bombagem. Cada parcela recebe o caudal dum canal secundário (15 l/s) 2 vezes durante 2 horas neste mês ou 1 vez por 4 horas

Continuação CAIXA 5.1

Manual de Dimensionamento de Regadios

Conforme o mesmo procedimento anterior podemos estabelecer que para Marco é necessário uma lamina bruta de 67 mm que corresponde com 3.1 horas de rega/parcela/mês ou $(120/4)*3.1 = 93$ horas/sistema/mês. Para fazer a calendário de rega mais pratica, arredamos ate 90 há /mês que corresponde com 3 horas de rega/parcela/mês. Se a bomba trabalha 6 horas/dia são necessários 15 dias de bombagem. Cada parcela recebe o caudal dum canal secundário (15 l/s) 1 vez durante 3 horas neste mês

Em Abril se necessita uma lâmina bruta de 132 mm que corresponde com 6.1 horas de rega/parcela/mês ou $(120/4)*6.1 = 183$ horas/sistema/mês. Para fazer a calendário de rega mais pratica, arredamos ate 180 ha /mês que corresponde com 6 horas de rega/parcela/mês. Se a bomba trabalha 9 horas/dia são necessários 20 dias de bombagem. Cada parcela recebe o caudal dum canal secundário (15 l/s) 2 vezes durante 3 horas neste mês

Em Maio as necessidades de rega são muito baixos. Cada parcela recebe o caudal dum canal secundário (15 l/s) 1 hora neste mês que corresponde com 30 horas de bombagem

O calendário da rega no nível da parcela é sumarizado na Tabela em baixo.

Tabela Duração da rega/parcela durante a campanha (em horas)

Semanas	Meses				
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
1ª semana	2			2	1
2ª semana	2	2		2	0
3ª semana	2		3	2	0
4ª semana	2	2			0
Total	8	4	3	6	1
Total horas de Bombagem	240	120	90	180	30

Manual de Dimensionamento de Regadios

6. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA por uma REDE de CANAIS ABERTOS c/ METODOS SUPERFICIAIS de REGA

6.1 Princípio de Dimensionamento

O dimensionamento da rede de canais depende da operação planificada. O princípio da operação dum sistema c/ rede de canais abertos é de dividir o caudal da fonte ou da bomba num certo número de unidades de caudal manejável ($\approx 6-15$ l/s para hortícolas; $\approx 5-40$ l/s para arroz). Cada unidade de caudal manejável é fornecida a um canal c/ as suas ramificações para ser distribuída a um bloco de distribuição, rotativamente sobre as respectivas tomadas de parcelas. Isto implica que num bloco servido para um canal de distribuição há uma tomada em funcionamento e há somente um único regante a regar no mesmo tempo.

6.2 Processo de Dimensionamento

O processo e os passos de dimensionamento deste tipo de regadio (tipo 1) eh esquematicamente representado em FIGURA 6.1 mas com algumas modificações/ alterações pode servir para todos os tipos de regadios distinguidos no CAPITULO 3.

Este esboço representa particularmente o tipo de regadio mais comum em Moçambique com as seguintes características:

- Regadio de camponeses gerido por os próprios
- Mobilização de água por meio de bombagem
- Um padrão de culturas heterogéneo (mistura de varias culturas no nível de sistema, p.e vários tipos de hortícolas, granos básicos etc.)

Na seguinte secção discute-se o esboço na FIGURA 6.1 e os passos mais importantes no processo de dimensionamento e as modificações necessárias para outros tipos de sistemas de rega. Numa parte eh uma repetição da matéria tratada nos Capítulos anteriores.

Há 5 parâmetros fundamentais e interrelacionados no dimensionamento de sistemas de irrigação neste esquema:

1- Necessidades de Rega de dimensionamento (IRR de dimensionamento), calculado com a seguinte equação:

$$IRR_{\text{dimensionamento}} = (0.8 ETo - P75_{\text{eff}}) * 0.8A / \eta_{\text{sistema}} \text{ [m}^3/\text{mês]}$$

em que:

- ETo: Evapotranspiracao de referencia no mês de pico [m/mês]
- P75eff: Precipitação mínima efectiva com uma probabilidade de 75%. Se o mês de pico eh Setembro ou Outubro, $P75_{\text{eff}} \approx 0$ mm
- A: Superfície de área irrigável [m²]
- η_{sistema} : Eficiência de rega no nível de sistema = IRR líquida/IRR bruta (= IRR líquida + perdas de transporte e de aplicação)

Manual de Dimensionamento de Regadios

Esta equação representa as necessidades brutas de rega dum sistema no mês pico dum padrão de culturas que tem uma evapotranspiração média de $0.8 \cdot E_{To}$ sobre 80% de área irrigável. Esta equação pode ser alterada conforme o uso envisado do sistema, p.e um padrão de culturas mais exigente (maior parte de culturas no padrão que tem ET de pico: o factor de redução em E_{To} será maior que 0.8) e um maior parte da área irrigável eh de facto irrigado (o factor de redução em A será maior que 0.8)

Esta equação eh valida para todo tipo de sistemas com um padrão heterogéneo de culturas. A eficiência de rega (η_{sistema}) depende do tipo de sistema: um sistema com tubagem e/ou mangueiras normalmente tem uma eficiência maior.

Para *sistemas c/ monocultura* (p.e. arroz ou cana de açúcar ou bananas) esta equação deve ser modificado. As necessidades brutas de rega dum sistema c/monocultura no mês pico pode ser calculado com:

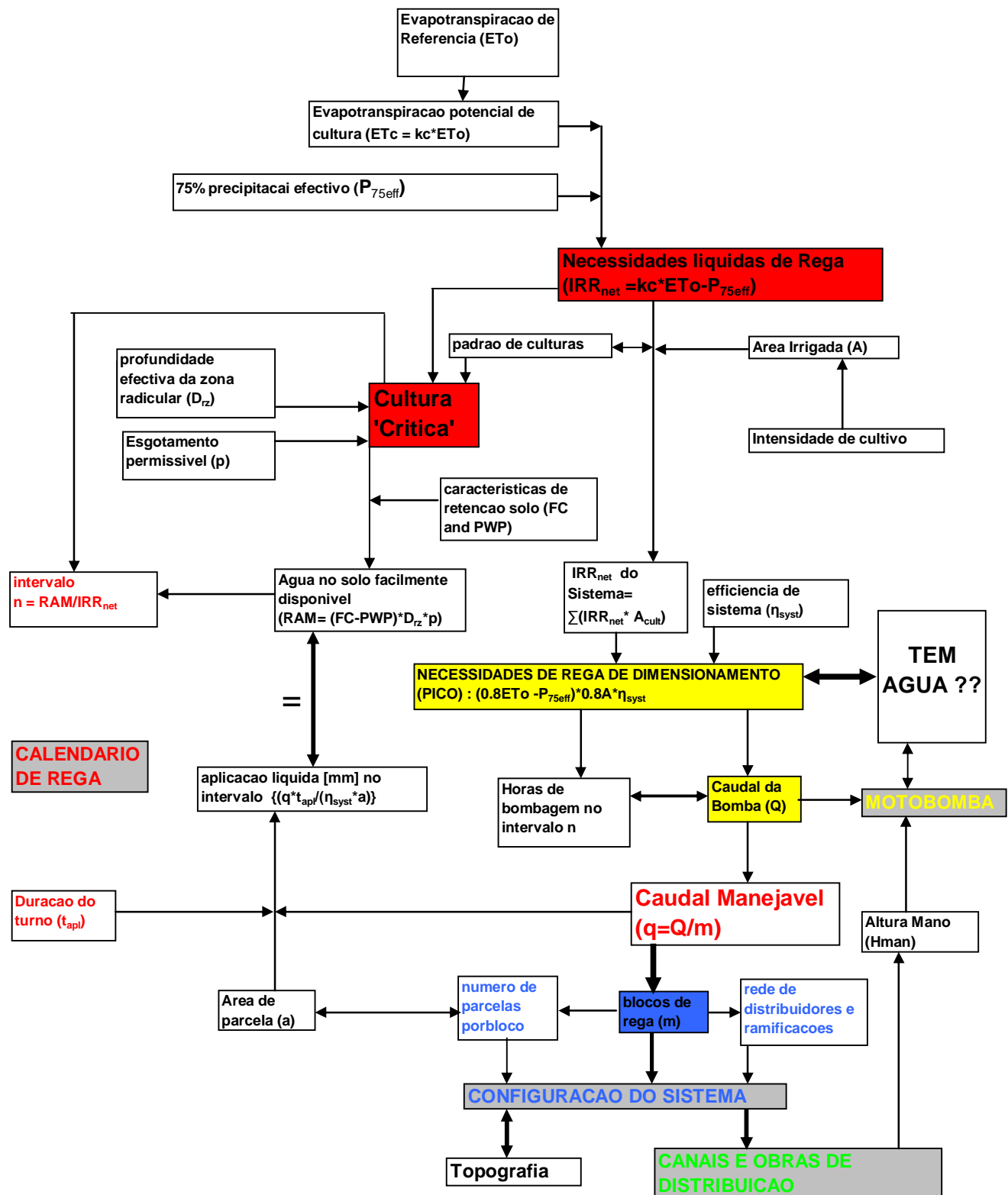
$$IRR_{\text{dimensionamento}} = (kc \cdot E_{To} + \text{necessidades especiais} - P_{75\text{eff}}) \cdot A / \eta_{\text{sistema}}$$

em que:

- E_{To} : Evapotranspiração de referencia no mês de pico
- kc: Coeficiente de cultura no mês de pico
- Necessidades especiais: depende da cultura. Em caso de arroz as necessidades especiais (saturação, percolação permanente, criação de camada de água) são grandes e são concentrados no principio do ciclo que eh normalmente o período de pico.
- $P_{75\text{eff}}$: Precipitação mínima efectiva com uma probabilidade de 75%. Se o mês de pico eh Setembro ou Outubro, $P_{75\text{eff}} \approx 0$ mm
- A: Superfície de área irrigável [m²]
- η_{sistema} : Eficiência de rega no nível de sistema = IRR líquida/IRR bruta
IRR bruto = IRR líquida + perdas de transporte e de aplicação

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 6.1 Esboço do Processo de dimensionamento dum sistema de Irrigação tipo 1 (padrão heterogéneo de culturas)



Manual de Dimensionamento de Regadios

2- Cultura “critica”

A cultura ‘critica’ determina a distribuição da água de rega na seguinte maneira:

* A água no solo facilmente disponível RAM depende principalmente da profundidade efectiva da zona radicular.

$$RAM = (FC - PWP) * Drz * p$$

em que:

- FC : Capacidade de campo [mm/m]
 - WP: ponto permanente de emurchecimento [mm/m]
 - Drz: profundidade da zona radicular [m]
 - p: coeficiente de esgotamento de água total disponível [fracção]
- O factor p não tem tanto variação que Drz

* O intervalo máximo de rega (n_{max}) é determinado por a água facilmente disponível na zona radicular da cultura ‘critica’ no mês de pico e o consumo de água para esta cultura critica na seguinte maneira:

$$n_{max} = RAM \text{ da cultura 'critica' } / IRR_{liquida}$$

em que:

- n_{max} em [dias]
- RAM da cultura ‘critica’ em [mm]
- $IRR_{liquida}$ = necessidades líquidas de rega da cultura critica no mês de pico = $k_c * ET_o - P_{75eff}$ em [mm/dia]. Se o mês de pico é Setembro ou Outubro, $P_{75eff} \approx 0$ mm.

A duração do n_{max} põe um limite ao número das horas de bombagem neste intervalo.

* A doação/ aplicação líquida máxima de rega para a cultura critica no mês de pico é igual a RAM

$$RAM = (FC - PWP) * Drz * p = q * t_{apl} / (\eta_{sistema} * a)$$

em que:

- FC : Capacidade de campo [mm/m]
- WP: ponto permanente de emurchecimento [mm/m]
- Drz: profundidade da zona radicular da cultura ‘critica’ no mês de pico [m]
- p: coeficiente de esgotamento de água total disponível para a cultura ‘critica’ [fracção]
- q: caudal maneável ou caudal num canal de distribuição [m³/h]. 1 m³/h = 0.00028 m³/s = 0.28 l/s
- t_{apl} : duração do turno de rega [horas] numa parcela com superfície a [m²]
- $\eta_{sistema}$: eficiência de irrigação no nível de sistema [fracção]

Manual de Dimensionamento de Regadios

3- O Caudal/ capacidade da bomba

Este parâmetro depende de:

- Necessidades de Rega de dimensionamento (parâmetro 1)
- horas de bombagem no intervalo critico de rega (mês de pico)

Atenção

O caudal determinado desta maneira tem que ser comparado com o caudal disponível.

Se não joga, o caudal da bomba tem que ser adaptado para baixa. A diminuição/ adaptação pode ser feito por várias maneiras:

- *aumentar as horas de bombagem e diminuir o caudal de bombagem*
- *diminuir a área de rega no mês de pico*
- *aumentar a eficiência de rega, p.e. por intermédio duma melhor condução de rega no campo (armação de campo) e/ou revestimento de canais de transporte e/ou distribuição*

4- Caudal manejável

O caudal manejável depende do tipo de sistema de irrigação (veja CAPITULO 3 e 5). Nos sistemas de irrigação, tipos 1 e 3, se rega por métodos superficiais. O caudal manejável anda no intervalo de $\approx 6-15$ l/s para hortícolas e no intervalo de $\approx 15-40$ l/s para arroz. O valor exacto eh determinado pelo a divisão do caudal da bomba. *A divisão da água extraída ou bombeada da fonte num certo número de caudais (manejáveis) determina o número de blocos de rega [m] , cada um servido por um canal de distribuição (e suas ramificações).*

O numero de blocos de rega eh um dos determinantes do dimensionamento dum sistema de rega.

5- A topografia do terreno

Uma vez determinada o numero de blocos de rega, a topografia determina a configuração (traçado) da rede de canais distribuidores e de transporte, o plano de água na rede dos canais, nas obras de distribuição e o nível de água na cabeceira do regadio.

6.3 A configuração do Sistema de Irrigação

6.3.1 A rede de canais

A configuração dum sistema (o traçado dos canais) que eh regada por uma rede de canais eh determinada para 2 factores:

- a. O numero de blocos de distribuição
- b. A topografia e o relevo do terreno.

Ad a. *O numero de blocos de distribuição.*

Manual de Dimensionamento de Regadios

A divisão da água extraída ou bombeada da fonte (parâmetro 3) num certo número de caudais (manejáveis) determina o número de blocos de rega. Cada bloco de rega/distribuição é servido por um canal de distribuição com eventuais ramificações.

Exemplos

* Área de regadio: 5 ha

Padrão de culturas heterogéneo

Caudal de bomba : 8 l/s

Não é preciso dividir o caudal da bomba

Consequências:

1 bloco de distribuição (5 há)

1 canal de distribuição (com eventuais ramificações) com um caudal de 8 l/s

Caudal de canal de distribuição: 8 l/s

Caudal manejável: 8 l/s

* Área de regadio: 7 ha

Padrão de culturas heterogéneo

Caudal de bomba : 14 l/s

Há 2 alternativas:

-Não dividir o caudal da bomba

Consequências:

1 bloco de distribuição (7 há)

1 canal de distribuição (com eventuais ramificações)

Caudal no canal de distribuição: 14 l/s

Caudal manejável: 14 l/s

- Dividir o caudal da bomba em dois

Consequências;

2 blocos de distribuição

2 canais de distribuição (com eventuais ramificações)

Em caso de blocos de igual superfície (3.5 há cada)

Caudal no canal de distribuição: 7 l/s

Caudal manejável: 7 l/s

Em caso que há mais blocos de distribuição é preferível de dividir a área de regadio em blocos do mesmo tamanho. Isto implica de dividir o caudal da bomba em unidades de caudal igual. Por exemplo um caudal da bomba (parâmetro 3) de 30 l/s pode se dividir em 2 unidades de 15 l/s, 3 unidades de 10 l/s ou 4 unidades de 7.5 l/s.

Também é possível de dividir o caudal da bomba em caudais desiguais mas isto tem certas consequências nas áreas de blocos e distribuição de água dentro dos blocos.

* Exemplo

Área de regadio: 16 ha (veja FIGURA 6.2)

Padrão de culturas heterogéneo

Caudal de bomba : 30 l/s

Manual de Dimensionamento de Regadios

Suponhamos que se dimensiona um sistema com 3 blocos de distribuição, respectivamente um bloco de 8 há e dois blocos de 4 há.

Estes blocos são servidos respectivamente para os canais de distribuição D1 (7.5 l/s), D2 (7.5 l/s) e D3 (15 l/s).

Consequências:

A duração de turnos de rega por hectare nos blocos servidos por D1 e D2 eh 2 vezes maior que no bloco servido por D3.

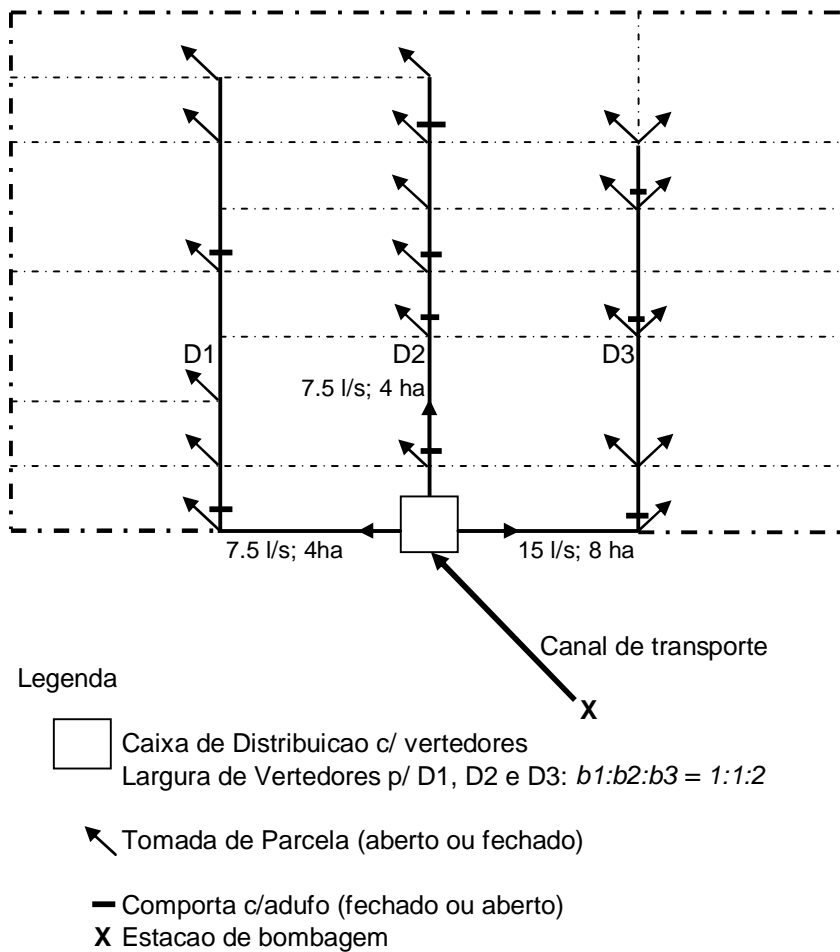
Nota:

Se pode também dividir na caixa de distribuição o caudal em duas unidades de 15 l/s. Neste caso os canais que servem as áreas de 4 há são considerados ramificações dum canal de distribuição. Na cabeceira de cada ramificação se deve montar uma comporta c/ adufa para dirigir o caudal de 15 l/s para D1 ou para D2.

A distribuição de água dentro de cada bloco eh independente do outro bloco. Mas se deve regar os blocos no mesmo tempo.

FIGURA 6.2 Exemplo da Configuração dum Regadio

Manual de Dimensionamento de Regadios



Ad b A topografia e o relevo do terreno

Uma vez determinado o número de blocos de rega, a topografia determina a configuração (traçado) da rede de canais distribuidores e de transporte. A altimetria do terreno determina o plano de água na rede dos canais, nas obras de distribuição e o nível de água na cabeceira do regadio. O plano de água deve ser suficientemente alto em cima do terreno para poder regar com métodos superficiais de rega mas não deve ser alto demais porque isto resulta em volumes de trabalho e custos de construção mais altos que necessário e pode resultar em complexidades na operação de regadio.

O nível de água na cabeceira de regadio determina :

- a altura (cota) da parede de açude em caso dum regadio por gravidade (tipo 3)

Manual de Dimensionamento de Regadios

- o nível geométrica da bomba em caso dum regadio, tipo 1. Este elemento eh básico no calculo (especificações técnicos) e selecção duma bomba apropriado para este regadio (Veja CAPITULO 7)

Nos EXERCICIOS 20 e 23 se pode praticar a determinação de configuração de sistemas de irrigação.

6.3.2 Elementos dum sistema de canais abertos c/ métodos superficiais de rega

De jusante para montante:

- Tomada de água para parcela. A tomada eh a ligação entre o canal de distribuição e a rede de canais de campo. Deve ter um dispositivo para ser aberto ou fechado.
- Canais de distribuição (ou distribuidores ou regadeiras) equipados com comportas e adufas e/ou quedas
- Canais de transporte com caixas de distribuição e/ou quedas
- Caixa de Recepção/ tranquilização/ distribuição na cabeceira de regadio
- Estação de bombagem consistindo de electro ou motobomba (s) com acessórios e tubagem

Um exemplo da infra-estrutura dum sistema de irrigação tipo 1 se encontra na FIGURA 6.2.

Nota:

Os elementos mencionados acima se referem exclusivamente a aplicação, distribuição, transporte e extracção de água de rega. Outros elementos de infra-estrutura, presentes num sistema de irrigação, se podem referir à rede de acesso (estradas de campo), rede de drenagem (valas), defesa contra cheias (diques) e os seus cruzamentos com o sistema de irrigação (pontes, sifões invertidas, passagens áreas, aquedutos etc.)

6.4 Dimensionamento de Canais

6.4.1 Plano de Água

Uma vez estabelecida a configuração da rede de canais, o seguinte passo eh de determinar os perfis longitudinais e transversais (secções) dos canais. A base desta determinação eh o estabelecimento do plano de água no regadio ou a linha de água ('waterline') na rede dos canais.

Principio

Para regar por meio duma rede de canais, o nível de água nos canais de distribuição deve ser mais alto que os terrenos a regar.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Regra de dimensionamento

Pode-se formular a seguinte regra:

Para regar por métodos superficiais é necessário que na tomada da parcela (< 1 ha) se atinge no canal de distribuição uma altura/nível mínimo de água de 10-20 cm em cima da cota da parte mais alta desta parcela.

Esta altura adicional de 10-20 cm serve para:

- compensar as perdas de carga na tomada de água ($\approx 5-10$ cm)
- compensar as perdas de carga (inclinação) nos canais de campo ($\approx 0-10$ cm)
Obs. 0 cm no caso duma inclinação natural para os extremos a jusante da parcela
- formar uma espessura da camada de água nas bacias/canteiros na parte mais alta da parcela (≈ 5 cm)

A linha de água ('waterline') nos diferentes canais ou o plano de água num regadio depende de:

- a- o nível mínimo requerido de água nos canais de distribuição
- b- perdas de carga (hidráulica) nas obras dos canais
- c- Inclinações mínimas e máximas admissíveis da linha de água

Ad a:

Depende dos níveis requeridos nas tomadas:

Nível mínimo na tomada = a cota da parte mais alta da parcela + ≈ 0.2 m

Ad b:

A Perda de carga (hidráulica) depende do tipo de obra:

Numa primeira aproximação podem-se utilizar os seguintes valores:

- Tomada de porta para abrir/fechar: ± 0.05 m
- Brechas no canal de distribuição (tomada elementar) : ± 0.05 m
- Vertedores nas caixas de distribuição : $\pm 0.15-0.20$ m
- Tomada de tubo: ± 0.10 m

Ad c:

A inclinação admissível da linha de água depende da velocidade admissível nos canais para evitar erosão e sedimentação.

Numa primeira aproximação podem-se utilizar os valores na TABELA 6.1

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 6.1 **Inclinações admissíveis de canais**

<i>Canais de terra</i>	<i>Inclinação longitudinal do canal</i>	
<i>Q (l/s)</i>	<i>inclinação mínimo</i>	<i>inclinação máximo</i>
5-10	0.05% = 5 cm/100 m = 0.05 m/100 m	2.50% = 2.5 m/100 m
10-15	0.05% = 0.5 m/km	2.00%
15-30	0.05% = 50 cm/km	1.50%

Para estabelecer o plano de água no rede de canais deve-se trabalhar *de jusante (a partir de níveis de campo) para montante em base de níveis mínimos requeridos nos canais de distribuição em frente de tomadas de água*. A linha de Água deve subir de jusante para montante e deve coincidir com os níveis mínimos requeridos ou ser mais alta que os níveis mínimos requeridos.

Deve-se tentar de limitar no máximo a altura de canais para limitar o volume de trabalho e a nível da água em cima de terreno. Para isso deve-se seguir na medida possível os declives naturais do terreno. Se isto não for possível (p.e. declives naturais > inclinação máxima permitida) utilize-se *obras de queda* eventualmente combinado com obras de distribuição nos canais. Também eh preferível de ter canais em escavação e minimizar o volume de aterro porque eh mais difícil e mais dispendiosa de fazer aterro (precisa de compactação que eh uma operação cara) que escavação. Onde eh possível aplica-se quedas.

No EXERCICIOS 21 e 22 se pode praticar a determinação do plano de água em vários canais e regadios.

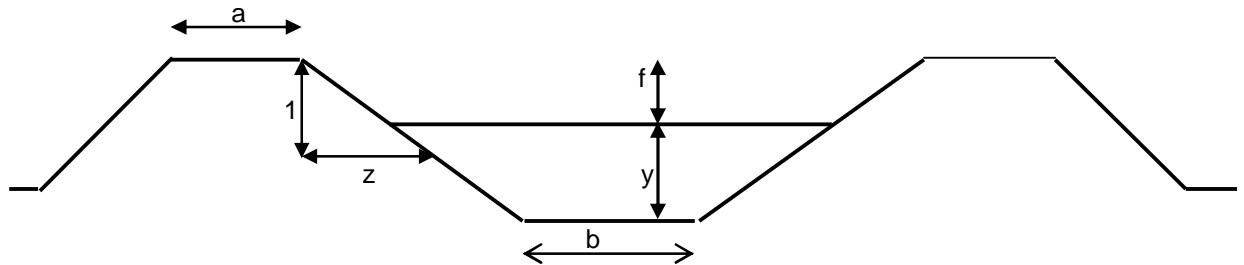
6.4.2 **Perfil transversal dum canal de rega**

O perfil transversal dum canal ou secção pode ter varias formas:

- rectangular: normalmente utilizado para pequenos caudais (< 30 l/s), construído em betão ou em alvenaria. Um exemplo são os canais terciários de caleiras pré-fabricadas (elementos de 4 m, armados) no regadio de Limpopo (Chokwe).
- parabólicas. Um exemplo são os canais terciários de caleiras pré-fabricadas (elementos de 1 m, não armados) em cima de aterros baixos no regadio de Limpopo (Chokwe).
- meio circular. Normalmente elementos pré-fabricados de betão
- trapezoidal (veja FIGURA 6.3). Esta forma eh a única em canais de terra e também eh muito comum em canais revestidos. Este manual limita-se a este tipo de canal.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 6.3 Canal de Rega trapezoidal



Determinação da secção dum canal de rega

Determina-se a secção dum canal de rega normalmente com a equação de Manning-Strickler.

$$v_{media} = k_m * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = v_{media} * A = k_m * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Em que:

- v_{media} : velocidade media na secção do canal [m/s]
- Q : caudal de dimensionamento(m³/s)
- k_m : coeficiente de rugosidade [m^(1/3)/s].
 $k_m = 1/n$, n eh um outro factor de fricção, frequentemente utilizado, principalmente nas EUA e outros países de expressão Inglesa
- A : secção molhada [m²]
- R : Raio Hidráulica = A/P
em que
 P : Perímetro molhado [m]
 A : secção molhada [m²]
- S : Inclinação (longitudinal) do canal [m/m]

Parâmetros importantes no uso da equação de Manning-Strickler

* k_m : coeficiente de rugosidade (Manning)

Depende principalmente da rugosidade do perímetro molhado. O factor determinante eh tipo de canal: revestido ou não revestido (de terra)

Manual de Dimensionamento de Regadios

Numa primeira aproximação podem-se utilizar os valores na TABELA 6.2

TABELA 6.2 Valores indicativos de k_m

Revestido	Canal de terra
- betão: 55	15-35 (depende do estado de conservação do canal)
- Tijolos: 50	

Mais valores de k_m encontra-se na TABELA 6.3

TABELA 6.3 Valores de k_m

Quadro 6.20 - Valores Mais Usuais do Coeficiente de Manning-Strickler

Características	K ($m^{1/3}/s$)	n = 1/K ($m^{1/3}/s$)
Paredes Muito Lisas: Revestimento de argamassa de cimento e areia, muito lisos; tábuas aplainadas, chapa metálica sem soldadura saliente	90 a 100	0,0111 a 0,0100
Argamassa muito lisa	85	0,0119
Paredes Lisas: Tábuas com juntas mal cuidadas reboco ordinário; grês	80	0,0125
Betão liso; canais de betão com juntas frequentes; asfalto liso	75	0,0134
Alvenaria ordinária; terra muitíssimo regular	70	0,0142
Paredes Rugosas: Terra irregular; betão áspero ou velho; alvenaria velha ou mal acabada; asfalto rugoso	60	0,0167
Paredes Muito Rugosas: Terra irregular com ervas; rios regulares em leito rochoso	50	0,0200
Terra em más condições; rios em leito de calhaus	40	0,0250
Terra em completo abandono; torrentes com transporte de grandes calhaus	15 a 20	0,0667 a 0,0500

* A velocidade media na secção

A velocidade media na secção ($v_{media} = k_m * R^{2/3} * S^{1/2}$) eh principalmente determinada por o coeficiente de rugosidade e a inclinação longitudinal da linha de água (que corresponde com a inclinação do fundo num canal com caudal constante, veja ANEXO 4). A velocidade media na secção deve estar num intervalo que evita quer sedimentação (velocidade mínimo), quer erosão (velocidade máxima).

Manual de Dimensionamento de Regadios

Valores da velocidade máxima permitida encontram-se na TABELA 6.4

TABELA 6.4 Velocidade Máxima Permitida em canais de terra

Quadro 6.25 - Velocidades Máximas Permissíveis em Canais Não Revestidos
[de LENCASTRE 1983 com autorização do autor]

1 - Materiais Não Coerentes

Material	Diâmetro (mm)	Velocidade Média (m/s)	Material	Diâmetro (mm)	Velocidade Média (m/s)
	0,005	0,15		15,00	1,20
Lodo	0,05	0,20	Cascalho Fino	25,00	1,40
Areia Fina	0,25	0,30	Cascalho Médio	40,00	1,80
Areia Média	1,00	0,55	Cascalho Grosso	75,00	2,40
Areia Grossa	2,50	0,65	“	100,00	2,70
Godo Fino	5,00	0,80	“	150,00	3,50
Godo Médio	10,00	1,00	“	200,00	3,90
Godo Grosso	15,00	1,20			

2 - Materiais Coerentes (V em m/s)

Natureza do Leito	Muito Pouco Compactado Com uma Relação de Vazios de de 2,0 a 1,2	Pouco Com- pactado com uma relação de Vazios de 1,2 a 0,6	Compactado com uma relação de Vazios de 0,6 a 0,3	Muito Com- pactado com uma relação de Vazios de 0,3 a 0,2
Material Coerente do Leito				
Argilas arenosas (% de areia inferior a 50 %)	0,45	0,90	1,30	1,80
Solos com grandes quantidades de argilas	0,40	0,85	1,25	1,70
Argilas	0,35	0,80	1,20	1,65
Argilas muito finas	0,32	0,70	1,05	1,35

* *Inclinação taludes (z)*

z: 1= horizontal: vertical (veja FIGURA 6.3)

z = 1-1.5 para pequenos canais de rega; 1 para canais pequenas em solo franco

* *Largura de Fundo (b)*

b (veja FIGURA 6.3) deve ser no mínimo igual a 0.30.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Isto toma em consideração o método de construção dos canais que em principio é por escavação manual. .

* *Ratio* $w = b/y$

$w = b/y \approx 1$ para canais pequenos ($< 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$), revestidas ou de terra (distinguir entre canais de terra vs canais revestidos)

* *Folga* (f)

Aproximadamente 40 -60% de y com $f=0.15- 0.20$ como mínimo

* *Largura de Banqueta* (a)

A largura da banquetta dum canal pequena de distribuição deve ser 0.3 m no mínimo.


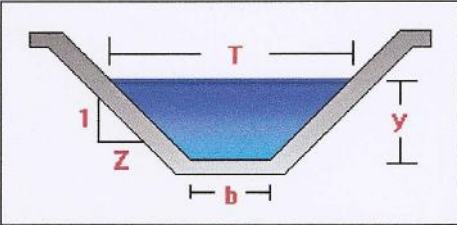




6.4.3 Cálculos de Dimensionamento dum canal

Com a equação de Manning-Strickler pode ser estimada directamente a capacidade de transporte dum canal existente uma vez que as medidas (medias) e a inclinação longitudinal do canal são conhecidas. Isto pode ser relevante no caso dum diagnóstico dum regadio existente para o seu redimensionamento ou reabilitação.

O dimensionamento dum secção dum canal novo com um caudal dado, um valor estimada de k_m e uma inclinação longitudinal (S) indicada, precisa de cálculos iterativas. Isto pode ser feito a mão e eh muito instructivo para ganhar sensibilidade dos factores que determinam o dimensionamento dum canal, mas eh bastante laborioso. Eh mais fácil de fazer isto com uma folha de calculo ou um outro programa de computador. Se pode rapidamente considerar várias opções e chegar a uma solução óptima. Há muitos programas desta natureza, p.e HCanales ou PROFILE que se pode encontrar no CDrom que acompanha esta manual.

Um exemplo do cálculo dum canal ('Input' e 'Output' com HCanales) se encontra na FIGURA 6.4.

FIGURA 6.4 Cálculo dum canal com Programa HCanales

Lugar: <input type="text" value="MUCELO"/>	Proyecto: <input type="text"/>	 Calculadora	
Tramo: <input type="text" value="CSR 1"/>	Revestimiento: <input type="text" value="Terra, km=20"/>		
Datos:			
Caudal (Q): <input type="text" value="0.064"/> m3/s			
Ancho de solera (b): <input type="text" value="0.50"/> m			
Talud (Z): <input type="text" value="1"/>			
Rugosidad (n): <input type="text" value="0.05"/>			
Pendiente (S): <input type="text" value="0.0005"/> m/m			
Resultados:			
Tirante normal (y): <input type="text" value="0.4178"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="1.6817"/> m		
Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.3834"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.2280"/> m		
Espejo de agua (T): <input type="text" value="1.3356"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.1669"/> m/s		
Número de Froude (F): <input type="text" value="0.0995"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.4192"/> m-Kg/Kg		
Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>			
 Ejecutar	 Limpiar Pantalla	 Imprimir	 Menú Principal

notas:

Rugosidade: $n = 1/\text{km} = 0.05 \rightarrow \text{km} = 20$

Área hidráulica = Sección Molhada

6.4.4 Perfil longitudinal

Uma vez determinada a linha de água num canal e as dimensões da secção deste canal se pode determinar o perfil longitudinal deste canal. Este perfil serve para a implantação do canal e uma estimativa de volume de trabalho para a sua construção.

Um perfil longitudinal dum canal tem 3 elementos:

- Linha de fundo
- Linha de Banqueta
- Linha de cotas de terreno ao longo do eixo do canal (de levantamento topográfico)

MUITO IMPORTANTE

A linha de fundo e a linha de banquetta são determinadas **a partir da linha de água** na seguinte maneira:

Linha de Fundo = Linha de Água – Profundidade de água (y)

Linha de Banqueta = Linha de Água + Folga (f)

Outras maneiras de determinar as cotas de fundo e/ou banquetta são definitivamente erradas!!

Manual de Dimensionamento de Regadios

Atenção

Numa situação que há diferentes profundidades para o mesmo canal (com o mesmo caudal de dimensionamento) por causa de diferentes inclinações, por razões construtivas se escolhe normalmente uma profundidade única que corresponde com a inclinação menor. Normalmente isto faz pouca diferença no volume de escavação, mas facilita a implantação e construção do canal.

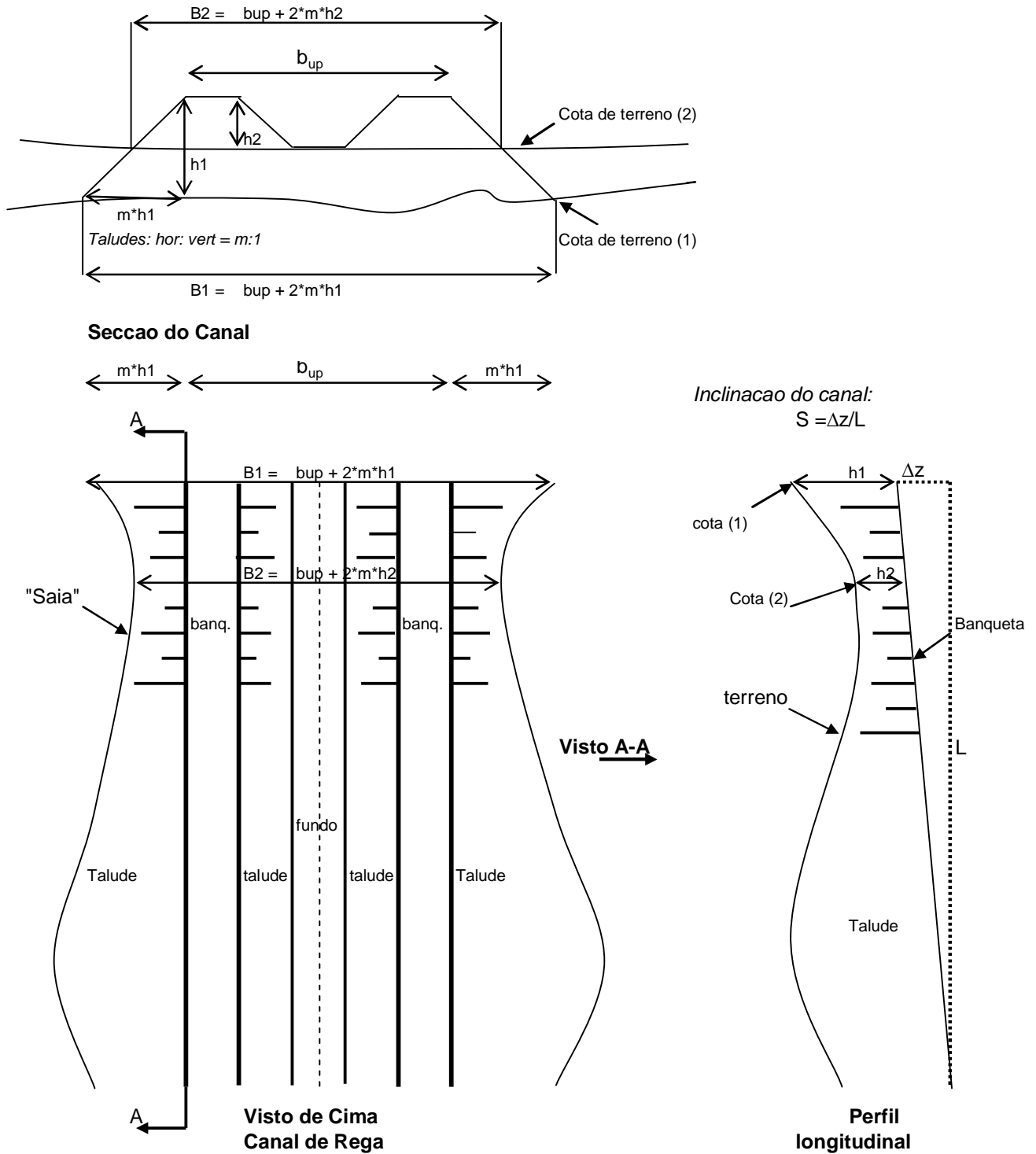
6.4.5 Perfis e vistos dum canal trapezoidal de rega

Veja FIGURA 6.3 e FIGURA 6.5

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 6.5 Planta e perfis dum Canal de rega

CANAL DE REGA: Planta, Perfil e Seccao (nao em Escala)



Manual de Dimensionamento de Regadios

6.4.6 Perdas de Água em Canais de Rega

As perdas de Água em pequenos canais de rega incluem:

- perdas por evaporação. Comparada com outras perdas são tão pequenas que podem ser negligenciadas
- perdas por uma má construção e montagem (perdas nas estruturas civis e comportas). Estas perdas ocorrem frequentemente, mas não são mais consideradas neste manual.
- Perdas de infiltração nos canais.

Perdas de Infiltração

Medição

Um método simples e bastante exacto para medir a infiltração num canal existente eh de fechar um troco do canal cheia de água no principio e no fim, p.e com sacos de areia. O abaixamento do nível de água durante 1 dia (12 ate 24 horas) neste troco isolado eh medida em função de tempo.

Estimação

A estimativa das perdas de infiltração eh baseado no facto que a infiltração acontece no perímetro molhado (fundo e taludes) do canal. Pode-se fazer uma estimativa da infiltração conforme a seguinte equação:

$$P_{inf} = P * L * I$$

Em que:

P_{inf} : perdas por infiltração sobre comprimento L [m³/dia]

P: perímetro molhado [m]

L: comprimento do troco do canal [m]

I: Infiltração em [m/dia]: veja TABELA 6.5

TABELA 6.5 Estimativas de Infiltração em função de terra ou revestimento

<i>Canais de terra</i>	<i>infiltração [mm/dia]</i>
Argilas pesadas, solos 'impermeáveis'	70
Argilas leves, solos franco argilosos	150
Solos franco arenosos	250-300
Solos arenosos	450-500
Areia grossa	>600
<i>Canais revestidos</i>	
Revestimento de betão	50
Solo cimento (cimento > 14% do peso na mistura)	100

Manual de Dimensionamento de Regadios

Exemplo estimativa de perdas de água num canal de rega

Dado: Um canal de terra; Caudal $Q = 30$ l/s; inclinação taludes 1:1; profundidade de água $y=0.27$ m; largura de fundo $b=0.5$ m; infiltração 200 mm/dia; evaporação 8 mm/dia

$$Q = 30 \text{ l/s} = 2592 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{Perímetro molhado } P = 2 * 0.27\sqrt{2} + 0.5 = 1.26 \text{ m}$$

$$\text{Superfície de infiltração sobre um quilometro : } 1.26 * 1,000 = 1,260 \text{ m}^2$$

$$\text{Perdas de água por infiltração} = 200 * 0.001 * 1,260 = 252 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ que corresponde com } 100 * (252/2592) = 9.7\% \text{ do caudal}$$

$$\text{Perdas de água por evaporação} = (0.5 + 2 * 0.27) [\text{m}] * 1000 [\text{m}] * 8 [\text{mm/dia}] * 0.001 = 1.04 * 1,000 * 0.008 = 8.3 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ que corresponde com } 0.3\% \text{ do caudal}$$

Para outros caudais em condições similares as perdas são os dados em TABELA 6.6.

TABELA 6.6 Perdas de água em função de caudal

Caudal [l/s]	4	8	15	30	100	200
Perdas de água por infiltração [%]	36	22	15	9.7	4.1	2.6
Perdas de água por evaporação [%]	1.2	0.7	0.5	0.3	0.14	0.09

Os resultados na TABELA 6.6 mostram que, em geral:

- O caudal num canal de terra deve ser maior que ≈ 20 l/s, a menos que o troço eh curto ou a taxa de infiltração eh muito baixa (compactação eh essencial !)
- Comparado com a infiltração as perdas por evaporação são insignificantes
- Um pequeno canal de terra não deve ser mais comprido que 1 a 1.5 km

6.4.7 Canais vs Tubagem; Canais em terra vs Canais revestidos

Na selecção de facilidades de transporte & de distribuição de água há dois factores críticos a considerar:

- Água bombeada vs. Água extraído por gravidade
- A grandeza do caudal

A água bombeada para irrigação representa um custo directo considerável ao contrário a água extraída por gravidade. Consequentemente é crucial restringir no máximo as perdas do transporte de água em sistemas de bombagem. Por outro lado, as perdas de transporte (infiltração) dependem muito da grandeza do caudal como é mostrado na TABELA 6.6.

No caso de canais de rega para arroz (caudal de distribuição >20 l/s) parece razoável de usar canais em terra. Pode-se concluir que no caso que um canal transporta menos que 20 l/s (que é geralmente o caso com canais da distribuição em sistemas onde se cultivo hortaliças e culturas de campo: caudal maneável menos que 15 l/s), é apropriado de revestir os canais ou usar tubagem.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Entretanto, uma palavra de cuidado é precisa para linhas de tubos enterrados. Estas necessitam uma qualidade elevada de instalação para evitar problemas mais tarde: as perdas de água poderiam ser despercebidas e a reparação dum ruptura na linha precisa de recursos (perícia técnica, ferramentas, materiais do reparo) que provavelmente não estão dentro do alcance das associações de regantes.

6.5 Selecção e dimensionamento de Obras de regadio

6.5.1 Análises funcional de obras de regadio

Há uma literatura muito extensa sobre as obras de regadio (veja REFERENCIAS 40, 47-50a). Este mostra que há uma diversidade grande de obras que podem ser aplicados no regadio.

Contudo, na selecção das obras de distribuição a questão fundamental eh: Que uma obra deve fazer? Quer dizer, primeiro temos que fazer um análises funcional dum obra. As funções operacionais podem ser p.e. divisão/distribuição de caudal, regulação de caudal, deixar ou parar todo caudal num canal, elevar o nível de água, tranquilização de água. O analise funcional de obras eh muito ligada com a operação futura de regadio.

Como regra, as obras devem ser o mais simples possível e mais transparente na operação. Por exemplo, não vale a pena de utilizar uma comporta com um fuso de regulação quando a operação de regadio indica que a função da obra somente eh de deixar ou de parar todo caudal num canal.

As obras que constituam a coração de regadio são as obras que dividam, distribuam, regulam e entregam água de rega.

6.5.2 Obras de Distribuição de Água

A distribuição/ divisão de água eh baseada em duas estruturas fundamentais e as suas propriedades hidráulicas:

- Vertedores
- Orifícios

Vertedores

Um vertedor eh um dispositivo hidráulico que pode servir na distribuição de água ou na medição de caudais. Há muito tipos de vertedores com diversas formas (triangular, circular etc.), dos mais simples ate os mais complicados (para uma descrição bastante completa, veja Referencia 50a). Nesta manual se trata somente o mais simples que se utiliza frequentemente na distribuição de água, que eh o vertedor rectangular (veja FIGURA 6.6 e FOTO 6.1).

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 6.6 Vertedor Rectangular

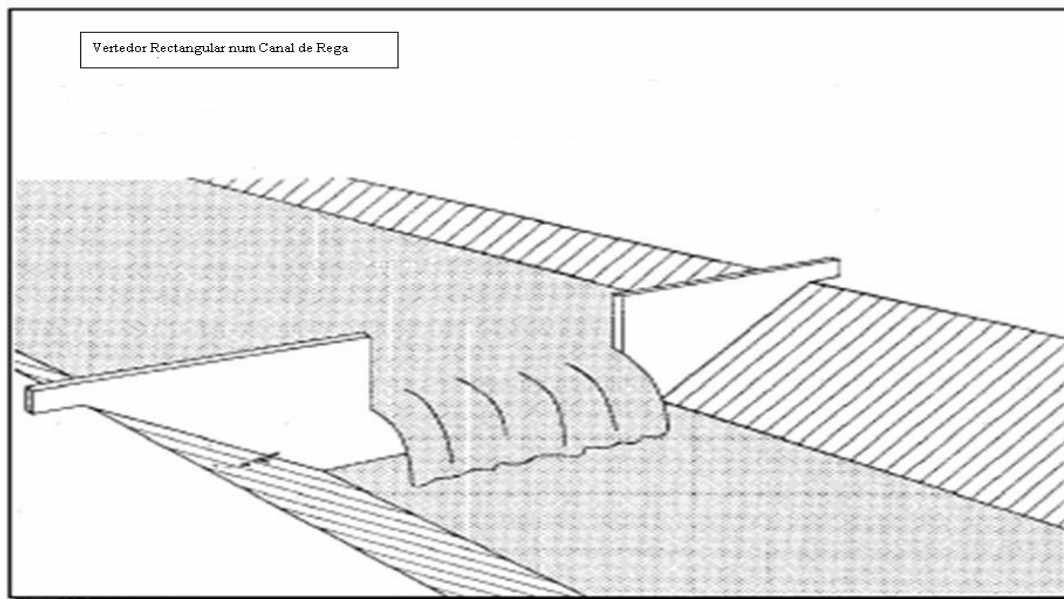


FOTO 6.1 Vertedor numa caixa de tranquilização p/ um canal de distribuição.
Medição e afinação de caudal no regadio de Mandruzi

Manual de Dimensionamento de Regadios



Os vertedores tem uma propriedade hidráulica muito importante: o caudal que passa em cima de vertedor somente depende do nível de água a montante e não do nível de água a jusante, desde que o nível de água a jusante não ultrapassa o cresto de vertedor (“água tem que cair”). Isto faz que os vertedores são dispositivos muito apropriados para a divisão de caudal sobre vários canais.

O caudal que passa numa vertedor rectangular eh estimado pela equação:

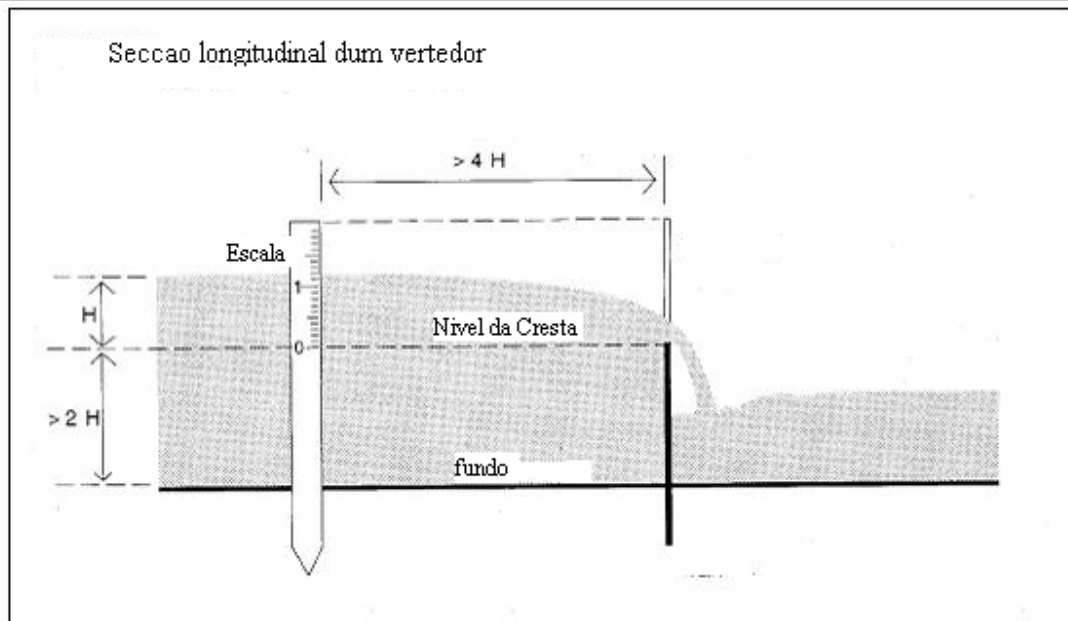
$$Q = c * b * h^{1.5}$$

Em que:

- Q= caudal (m³/s)
 - C = coeficiente de caudal (1.6 eh um valor razoável para o tipo comum de vertedores simples nos pequenos regadios)
 - b= largura de vertedor (m)
 - h= altura de água sobre a vertedor [m]
- (veja FIGURA 6.7)

FIGURA 6.7 Secção longitudinal dum vertedor

Manual de Dimensionamento de Regadios



ATENCAO

Não confunde a altura de água sobre a vertedor (h) na equação com a altura de água no local da crista de vertedor !! Pode-se utilizar o seguinte aproximação:

*A altura de água no local de crista $\approx (2/3) * h$*

ATENCAO

Salvo vertedores especiais (veja Referencia50a), o caudal que passa em cima dum vertedor comum somente depende do nível de água a montante, desde que o nível de água a jusante não ultrapassa o cresto de vertedor (“água tem que cair”). Neste caso pode-se dizer que o vertedor funcione em condições modulares. Quando o nível de água num canal a jusante esta a subir (p.e. quando o canal esta muito sujo e o coeficiente de Manning (k_m) eh baixa) e ultrapassa a crista de vertedor, o caudal sobre o vertedor vai ser determinada por dois níveis de água (de montante e de jusante) e diz-se que o vertedor funcione em condições não-modulares.

Nos sistemas de irrigação se utilize vertedores para dividir caudais em certos proporções.

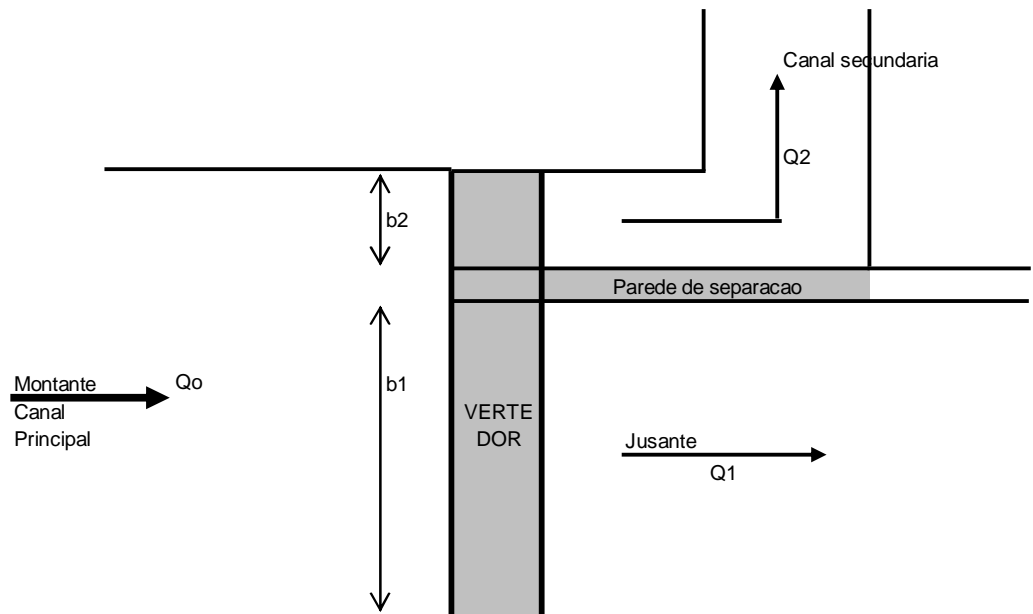
* Exemplos

Exemplo 1

FIGURA 6.8 Exemplo Uso de Vertedores

Manual de Dimensionamento de Regadios

Exemplo divisao de caudais canal principal/ canal secundaria (Redimensionamento de regadio de Mucelo)



$$Q_0 = Q_1 + Q_2$$

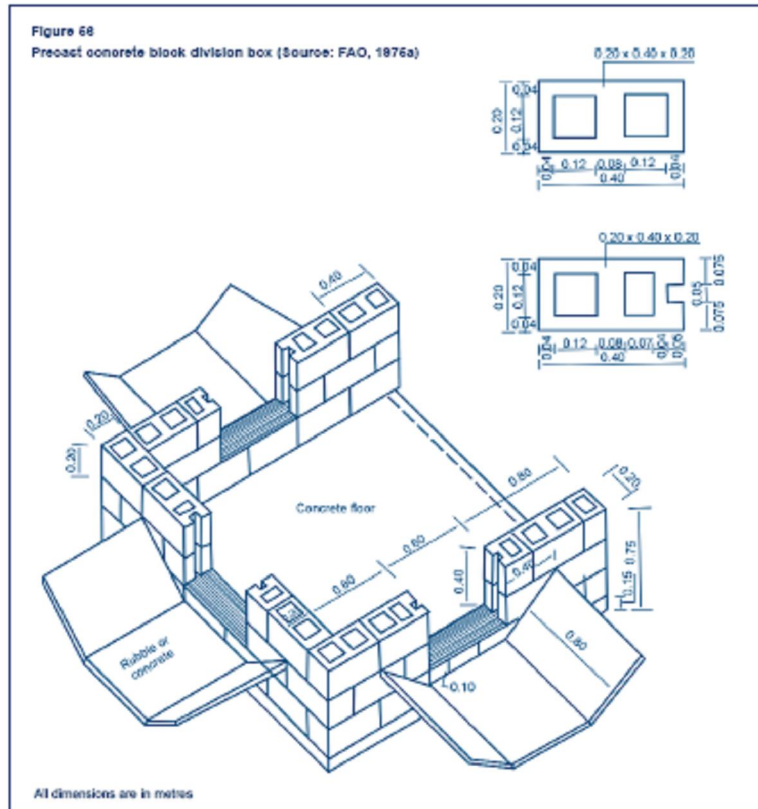
A cresta de vertedor tem o mesmo nível ----> $Q_1 : Q_2 = b_1 : b_2$

A vertedor no canal principal divide o caudal Q_0 em Q_1 e Q_2 em proporção de larguras de cresta b_1 e b_2

Manual de Dimensionamento de Regadios

Exemplo 2

FIGURA 6.9 Caixa de distribuição



Esta caixa divide aproximadamente a água em 3 partes em função de larguras de vertedores desde que os 3 vertedores tem o mesmo nível e o nível de água nos canais a jusante não soube em cima deste nível.

Nesta obra há ranhuras nos vertedores , então também se pode fechar 1 ou 2 canais e dividir o caudal que entra respectivamente sobre 3,2 ou 1 canal

Manual de Dimensionamento de Regadios

Orifícios

Há muito tipos de orifícios com diversas formas (triangular, circular etc.), dos mais simples até os mais complicados (para uma descrição bastante completa, veja REFERENCIA 50a). As formas mais comuns de orifícios são rectangular ou circular. Na distribuição de água, os orifícios são normalmente equipados com comportas.

Equação de caudal

$$Q = c \cdot A \cdot \Delta h^{0.5}$$

Em que:

- Q: caudal (m³/s)
- c: coeficiente de caudal ≈ 0.6
- A: superfície do orifício (m²)
- Δh : altura de carga (m)

Orifícios podem trabalhar com queda livre ou afogados (veja FIGURA 6.10). Na última condição, o caudal depende de nível de água a montante e de nível de água a jusante.

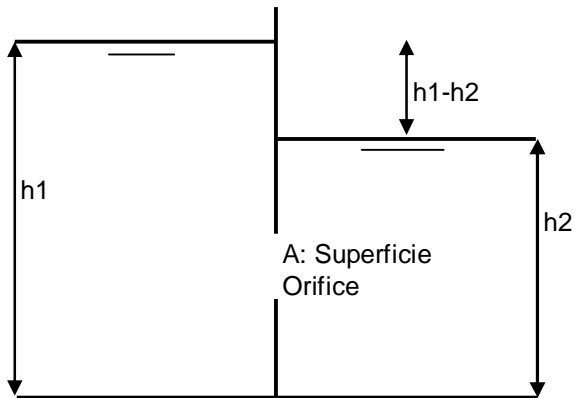
ATENCAO

Frequentemente em regadios encontra-se obras de distribuição/divisão de água de tipo orifício equipados com comportas que se regula com fusos. Isto tem sentido em grandes regadios como Chokwe no nível de operação de rede principal. Nos regadios de pequena escala (até ≈ 100 há) e no nível de operação de rede terciária isto aumenta e complica as actividades de operação. Frequentemente isto mostra que no dimensionamento de regadio não se pensou na posterior operação do sistema. É quase impossível de dividir água numa proporção fixa sobre algumas canais com orifícios afogadas munidos com comportas. Primeiro porque é complicado de afinar bem os caudais com comportas regulados por fusos. Segundo, para regular precisa medir dois níveis de água. Terceiro porque os níveis de água nos canais mudam frequentemente por causa da mudança no estado dos canais (o k_m muda com a manutenção ou a falta dela e conseqüentemente a altura de água no canal). A divisão e distribuição de água com vertedores é muito mais simples, transparente e confiável.

Manual de Dimensionamento de Regadios

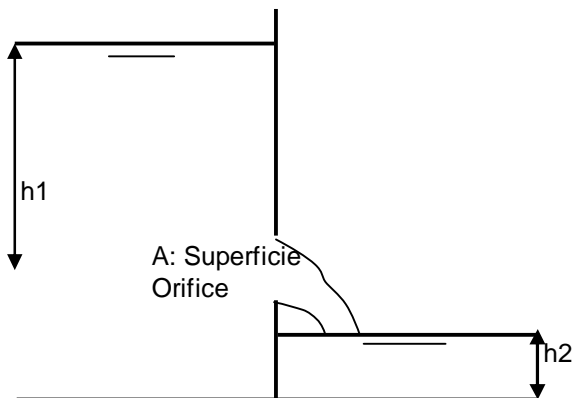
FIGURA 6.10 Orifícios

Orifice Afogado



$$\Delta h = h1 - h2$$
$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{h1 - h2}$$

Orifice Modular



$$\Delta h = h1$$
$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{h1}$$

6.5.3 Obras de regulação

Nas sistemas de irrigação de pequena escala geralmente não precisam obras de regulação. Caixas de distribuição dividem a caudal que entre proporcionalmente sobre os diferentes canais de distribuição por meio de vertedores. Mesmo há ainda flexibilidade nesta tipo de distribuição automática no sentido que quando necessário ou conveniente se pode fechar um ou mais vertedores de maneira que toda água pode ser distribuída por um canal (veja

Manual de Dimensionamento de Regádios

FIGURA 6.9; *Atenção*: neste caso isto implica que o canal deve ser dimensionada por receber todo caudal que entra na caixa de distribuição). Nas distribuidores uma tomada de água para uma parcela esta aberta, as outras estão fechados. A comporta com adufa associada a esta tomada de água aberta esta fechada quando todas as outras estão abertas. Quando esta tomada já recebi o seu turno de rega fecha-se esta tomada e abre-se uma outra tomada, etc. Esta esquema implica que não há necessidade para obras de regulação o que simplifica e faz transparente a distribuição de água. Não vale a pena de utilizar uma comporta com um fuso de regulação quando a operação de regadio indica que a função da obra somente eh de deixar ou de parar todo caudal num canal.

6.5.4 Obras de entrega (tomadas de água)

As obras de entrega de água de rega no campo são as tomadas de água.

As tomadas de água tem a função de deixar passar todo o caudal do canal de distribuição ou estar fechado. Por isso devem ser munidos com um dispositivo que deixe abrir ou fechar a tomada; não tem função de regulação. Uma tomada de água eh sempre associada com uma comporta munida com adufa (fechado ou aberto).

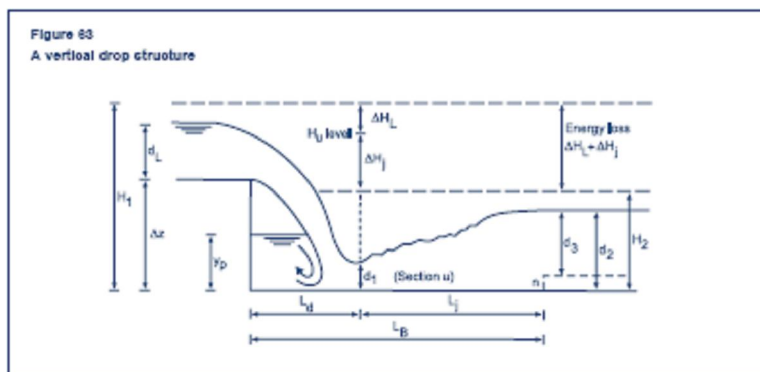
Há varias construções que podem fazer esta função:

- abrir e fechar a banquetta. Esta operação de cortar e fechar enfraquece o banquetta e eh somente apropriado para canais de campo.
- portas simples c/ comportas (p/ abrir e fechar)
- tubos UPVC, HDPP etc.
- sifões

6.5.5 Obras de tranquilização

Uma queda ('drop structure') num canal esta sempre associado a uma caixa de tranquilização (veja FIGURE 6. 11)

FIGURA 6.11 Queda c/ caixa de tranquilização



Para dimensionamento de quedas ('drop structures'), veja REFERENCIA 43.

Manual de Dimensionamento de Regadios

7. DIMENSIONAMENTO e SELECCAO de UNIDADES de BOMBAGEM

7.1 Tipos de Bombas

Há muitos tipos de bombas, cada tipo eh apto para uma aplicação específica. Alguns exemplos com aplicação na agricultura são a bomba pedestal para regar pequenas áreas (0.25-0.3 ha), o fuso de Archimedes para drenagem (há um exemplar fora de serviço na zona de Bobole).

A bomba centrifugal eh o tipo mais comum na agricultura em Mocambique. Neste manual limita-se a tratar este tipo da bomba.

7.2 Bomba Centrifuga

Os seguintes elementos são relevantes na dimensionamento e selecção de unidades de bombas centrifugas:

Elementos	Unidade
- Caudal	(m ³ /s; m ³ /h; l/s etc)
- Altura Manometrica	(m, bar, atm)
- Eficiencia da bomba	(-)
- Potencia necessario	(kW, hp, CV)
- Velocidad bomba e motor	(rpm)
- Diametro impeller	(mm)
- NPSH	(m)

*O caudal e a altura manometrica sao elementos hidraulicos que se deriva directamente do dimensionamento do sistema (ver o Esboco de Dimensionamento no Capitulo 6)

* Os outros elementos sao caracteristicas mecanicas

7.2.1 Caudal Q

O caudal de dimensionamento depende das necessidades brutas de agua de irrigacao dum sistema no periodo (mes) do pico e o numero de horas de bombagem neste periodo. No numero de horas de bombagem há uma diferença clara entre o arroz (bombagem durante dia e noite) e horticolas (durante o dia).

ATENCAO:

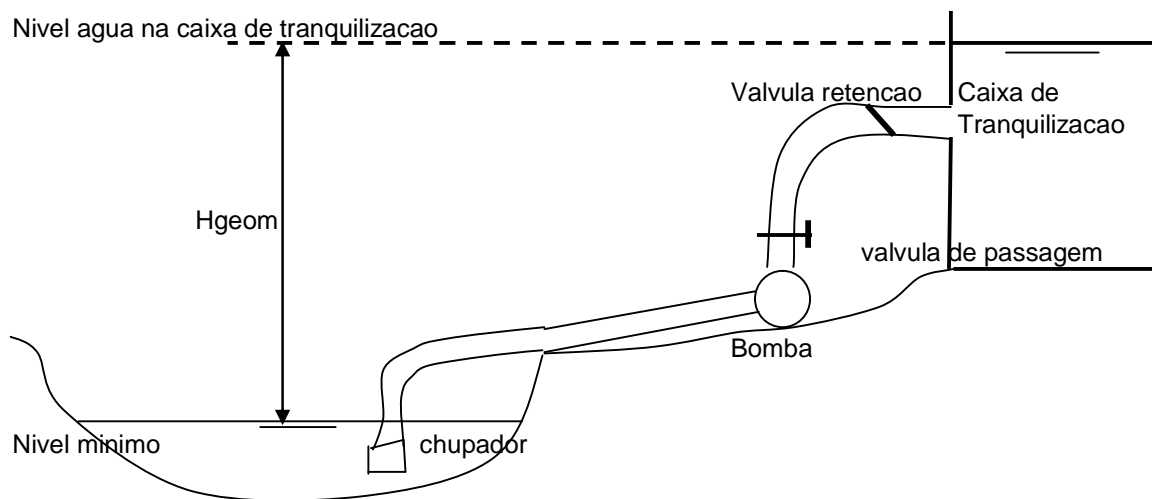
1 litro/seg = 3.6 m³/hora; 1 m³/hora = 0.28 l/s

Manual de Dimensionamento de Regadios

7.2.2 Altura Manométrica: H_{man}

- $H_{man} = H_{geom} + \Delta H$ (Perdas de Carga)
- H_{geom} : Altura Geométrica
Nos sistemas de rega por métodos superficiais (Veja FIGURA 7.1): É a diferença entre os níveis de água a montante (na fonte de água, p.e. rio) e a jusante (na cabeça do regadio: caixa de tranquilização ou caixa de distribuição).
Nos sistemas de rega por pressão: é a diferença entre o nível de água a montante (na fonte de água) e o nível piezométrico a jusante (no princípio da linha de tubagem).

FIGURA 7.1 Altura geométrica



- $\Delta H =$ Perdas de Carga

As Perdas de Carga são as perdas por atrito que a água encontra no seu caminho entre montante e jusante (na tubagem e acessórios). As perdas de atrito aumentam com a velocidade na instalação. Porque a velocidade depende de caudal e do diâmetro de tubagem, este último parâmetro deve ser seleccionado criteriosamente.

Numa primeira aproximação pode-se estimar as perdas de carga como $\pm 10-20\%$ de altura geométrica numa instalação de bombagem bem dimensionada.

A determinação de perdas de carga e as suas relações com caudal, diâmetro de tubagem são tratadas em ANEXO 4.

Manual de Dimensionamento de Regadios

7.2.3 Eficiência da bomba: η_{bomba}

Esta é uma característica mecânica e hidráulica de uma bomba. O valor da eficiência de uma bomba é específico para cada condição operacional (combinação de Q e H_{man}). Quando a eficiência é mais baixa, mais alta é a potência necessária para acionar a bomba e mais alto o consumo de combustível. Para uma bomba para fins de rega deve-se exigir bombas com uma eficiência alta no ponto de operação (pelo menos 70%).

7.3 Curvas Características das Bombas Centrifugas

Cada tipo e modelo da bomba centrífuga tem as suas curvas características. Numa curva característica se pode ler a relação dum parâmetro e o caudal, dado uma certa velocidade de bomba (rotações por minuto: rpm) e um certo diâmetro de rotor/propulsor.

Assim temos as seguintes curvas características:

Q- H_{man} / (rpm, Φ rotor): Caudal-Altura manométrica- eficiência da bomba

Q-P / (rpm, Φ rotor): Caudal -Potência Absorvida

Q-NPSH / (rpm, Φ rotor) : Caudal-NPSH

7.3.1 Curva Q-H_{man} (Caudal – Altura Manométrica)

Esta é a curva característica mais básica. Nesta curva podemos ler como o caudal muda quando a altura manométrica muda (p.e mudanças em nível de água no rio; outros diâmetros de tubagem etc). A bomba procura para cada situação um ponto de equilíbrio. Cada velocidade de bomba (rpm) e diâmetro de rotor/propulsor ('impeller') resulta numa outra curva característica.

O dimensionamento de sistema de irrigação determina o ponto de operação da bomba, que é a combinação do caudal de dimensão e a altura manométrica. Deve-se seleccionar uma bomba que no ponto de operação tem uma eficiência alta (>70 %). Este é o princípio básico da selecção da bomba.

Um Exemplo para ilustrar este princípio básico, é o seguinte:

Escolhe uma bomba, Marca KSB, modelo ETA para o seguinte ponto de operação:

$$*Q = 12 \text{ l/s} = 12 * 3.6 = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$*H_{\text{geom}} = 4 \text{ m} \quad \Delta H = \text{Perdas de Carga} = 1 \text{ m}$$

$$*H_{\text{man}} = H_{\text{geom}} + \Delta H = 5 \text{ m}$$

Nota

Não é obrigatório ou preferencial de escolher a marca KSB, há centenas ou talvez milhares de outras marcas no mundo que podem ser tão boas como KSB. Para os exercícios escolhemos a marca KSB porque tem uma documentação muito boa (as curvas

Manual de Dimensionamento de Regadios

características de todos os modelos de bombas KSB pode-se encontrar no Internet e fazer um 'download') e também eh muito aplicado em Moçambique.

Procedimento:

- a. Procura a Mapa Geral de Seleccao de bombas KSB-ETA (1450 rpm !!). Veja FIGURA 7.2.

FIGURA 7.2 Mapa geral de selecção de bombas KSB-ETA (1450 rpm)

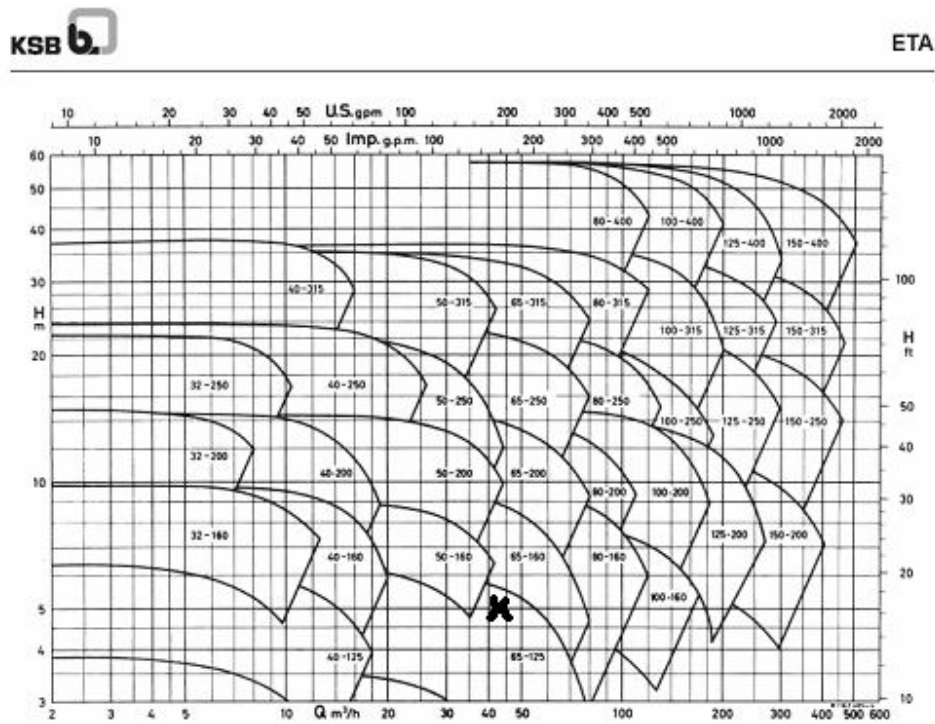


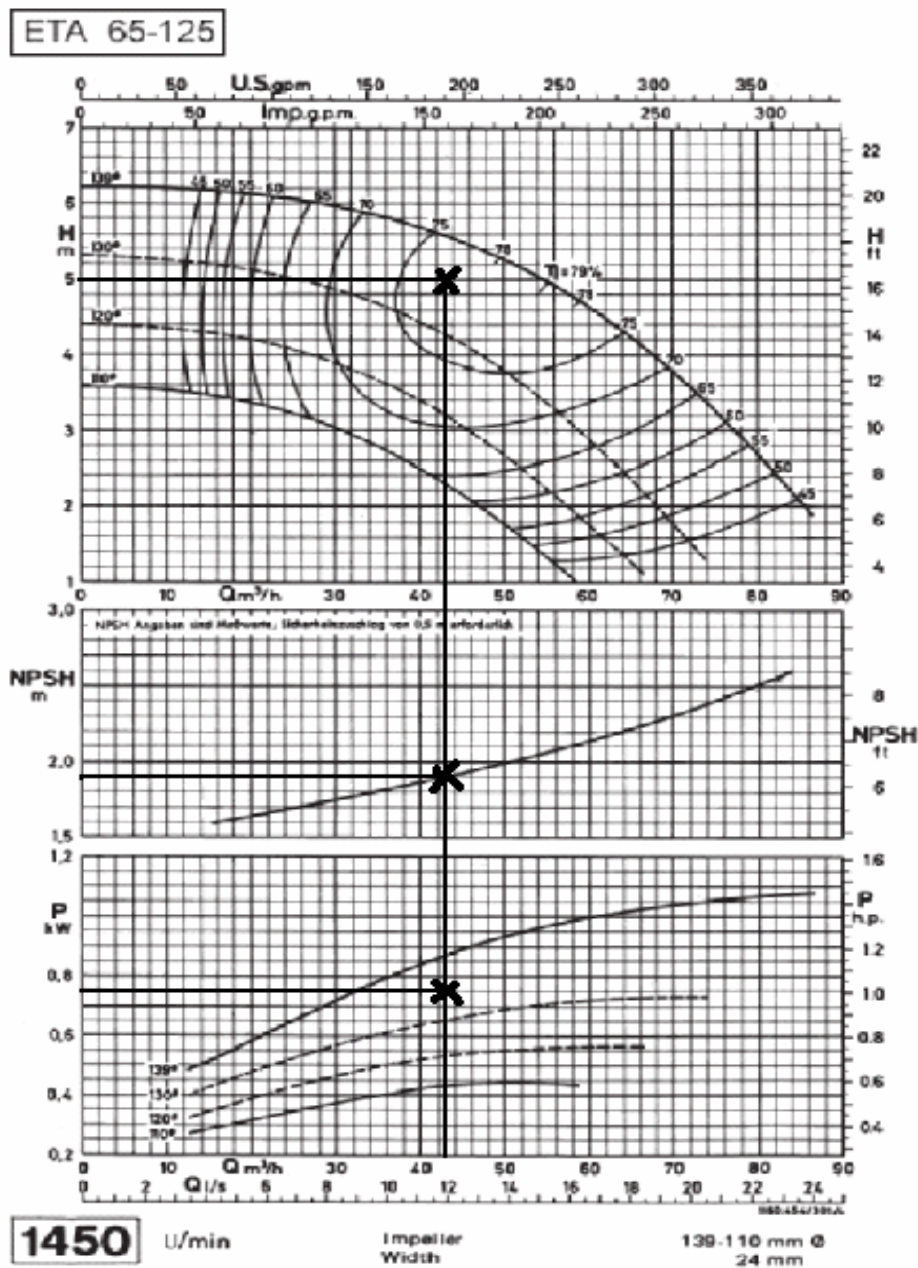
Fig 2 Selection Chart (n = 1450 r.p.m.)

Com $Q = 12 \text{ l/s} = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H_{\text{man}} = 5\text{m}$ escolhe-se o tipo ETA 65-125 (1450 rpm !!)

- b. Procura as Curvas características de ETA 65-125 (1450 rpm !!). Veja FIGURA 7.3.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 7.3 Curvas características de ETA 65-125 (1450 rpm)



Pode-se ler nas curvas características que no ponto de operação ($Q = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}$ e $H_{man} = 5 \text{ m}$; 1450 rpm) a bomba tem uma eficiência de $\approx 76 \%$ (entre 75-78 %).

Pode-se ver também na grafica que há varias curvas características (Q - H_{man}) em funcao de diametro de rotor/propulsor. O ponto de operação ($Q = 43.2 \text{ m}^3/\text{h}$; $H_{man} = 5 \text{ m}$) se encontra entre as curvas Q - H_{man} para diâmetros de rotor 130 mm e 139 mm. Então, este bomba precisa dum rotor com um diâmetro de $\approx 135 \text{ mm}$. Neste caso o rotor/propulsor

Manual de Dimensionamento de Regadios

com o diâmetro maior (139 mm) tem que ser cortado ou aplainado para a empresa produtor, fornecedor ou instalador da bomba.

7.3.2 Curva característica Q-P (Caudal-Potencia Absorvida)

Nesta curva podemos ler como a potencia absorvida para a bomba muda quando o caudal muda (acompanhado com uma mudança na altura manométrica conforme a curva Q-Hman).

A curva característica Q-P eh também uma função da velocidade (rpm) e do diâmetro do rotor/propulsor da bomba (η). Na FIGURA 2 são desenhadas 4 curvas Q-P, valido para 1450 rpm e diametros de rotor de respectivamente 110, 120, 130 e 139 mm.

Na FIGURA 2 pode-se ler que a bomba ETA 65-125 na ponto de operação ($Q = 42.3$ m³/h; $H_{man} = 5$ m; 1450 rpm, $\Phi_{rotor} \approx 135$ mm) absorve uma potencia de 0.75 kW (1 hp). A potencia absorvida pela bomba eh igual a potencia que deve ser fornecida no eixo da bomba.

A curva (Q-P) eh a apresentacao gráfica da seguinte equação:

$$P = (Q * H_{man}) / (C * \eta)$$

P = Potencia absorvida pela bomba (kW) ou 'Brake or Input Power'

Q = caudal/descarga (m³/s)

H_{man} = altura manometrica (m)

η = eficiência da bomba (-)

C = coefficient de conversao

igual a 102 em caso Q em [l/s]

igual a 360 em caso Q em [m³/hora]

Numa bomba (rpm e diametro rotor definidos), a potencia absorvida no eixo da bomba aumenta com o caudal fornecido, como a curva Q-P claramente indica (veja FIGURA 2).

Este Fenomeno tem que se tomar em conta na determinacao da potencia necessária para accionar a bomba. No arranque da bomba quando os tubos ainda nao tem agua, a bomba ainda não encontra resistênciã nos tubos (as perdas por rugosidade são baixas). Isto significa que a altura manométrica (H_{man}) ainda eh mais baixo que no ponto de operacao (equilibrio), entao no arranque da bomba, o ponto de funcionamento se encontra na parte direita de curva Q-Hman. Vai durar algum tempo para que o ponto de funcionamento se desloca para esquerda ate atingir o ponto de operacao (equilibrium). Isto eh especialmente importante no caso de linhas compridas de tubagem que primeira tem que se encher e na rega por aspersao onde as aspersores primeiro tem que desenvolver uma pressão (>2-3 atm) antes de funcionar correctamente.

Com base das considerações anteriores eh claro que a potencia necessaria para accionar a bomba que um motor fornece, deve ser calculado em base de *condicoes menos*

Manual de Dimensionamento de Regadios

favoráveis, quer dizer onde a eficiência da bomba é menos que o ótimo no ponto de operação.

7.3.3 Determinação da Potência Necessário de motor

Há vários métodos de cálculo/equações para calcular a potência que um motor deve ser capaz de fornecer. Todas as equações têm 3 parâmetros comuns: Q, H_{man} e η. Neste manual vamos tratar duas equações.

$$a. P_d = 1.2 * P = 1.2 * (Q * H_{man}) / (C * \eta)$$

em que:

P_d : Potência necessária de motor (kW)

P : potência absorvida no ponto de operação (kW)

Q : Caudal no ponto de operação [m³/h ou l/s]

H_{man}: Altura manométrica no ponto de operação [m]

η : eficiência da bomba no ponto de operação

C = coeficiente de conversão

igual a 102 em caso Q em [l/s]

igual a 360 em caso Q em [m³/hora]

No caso da bomba ETA 65-125 que deve fornecer 12 l/s (42.3 m³/s) com uma H_{man} de 5 m no ponto de operação a potência necessária do motor conforme esta equação é igual a: P_d = 1.2 * P = 1.2 * 0.75 = 0.9 kW. Nota que isto é aproximadamente igual a P_{max} (correspondente a Q_{max}) na parte direita da curva Q-P respectiva.

Neste método/equação de cálculo não é tomada em conta alguns fatores de meio ambiente que podem ser relevantes em caso de cálculo de motores de combustão interna (de gasolina ou de gasóleo). A potência deste tipo de motores fica reduzida quando a altitude e a temperatura aumentam e a humidade diminui. TABELA 7.1 mostra os efeitos de temperatura e altitude na redução percentual da potência.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Uma equação para o cálculo da potência necessário de motores de gasóleo ou gasolina que toma conta destes factores ambientais é a seguinte:

$$P_d = (\rho g Q H / \eta \eta_t) * (100 + ac) / 100 * f_r$$

em que:

P_d = Potência requerida do motor (kW)

Q = caudal/ descarga no ponto de operação (m³/s)

H = altura manométrica no ponto de operação (m)

η = eficiência da bomba no ponto de operação (-): minimal 0.7

ρ = densidade de água (1 ton/m³)

g = aceleração de gravidade (9.81 m/s²)

η_t = eficiência de transmissão (-): aprox. 0.96-0.98

ac = percentagem de redução de potência por os factores temperatura e altitude ('derating of engine')

f_r = factor de carga continua(-): aprox 1.2 ('derating of engine')

TABELA 7.1 Redução ('derating') percentual de potência (ac) em função de Temperatura e Altitude

Altitude (m)	Temperature (°C)						
	20	25	30	35	40	45	50
100	1	2	4	6	8	10	11
500	6	8	9	11	13	15	17
1000	12	14	16	18	20	21	23
1500	19	21	23	24	26	28	30
2000	26	27	29	31	33	35	36
2500	32	34	36	37	39	41	43
3000	39	40	42	44	46	48	49
3500	45	47	49	51	52	54	56
4000	52	54	55	57	59	61	63
4500	58	60	62	64	66	67	69
5000	65	67	68	70	72	74	76

Manual de Dimensionamento de Regadios

Na TABELA 7.2, há 2 exemplos de calculo de potencia de motor para uma bomba com $Q = 5 \text{ l/s}$ e $H_{geom} = 4 \text{ m}$ ($H_{man} = 5 \text{ m}$) no ponto de operação

TABELA 7.2 Exemplos Calculo de Potencia de motor
CALCULO POTENCIA DE MOTO BOMBA

Caudal de dimensionamento	12 l/s	43.2 m3/hora				
	0.012 m3/s					
<i>Calculo Altura Manometrica</i>						
<i>Hgeom: Altura geometrica [m]</i>		4				
<i>Calculo perdas de carga [m]</i>		dh				
<i>Perdas de carga em tubagem (calculado c/ Darcy-Weisbach)</i>						
Linha de Succao	Q (m3/s)	D (m)	v (m/s)	S (m/m)	L (m)	dh
Linha de succao	0.012	0.125	0.98	0.0076	15	0.11
Linha de pressao	0.012	0.125	0.98	0.01	60.00	0.46
<i>Perdas localizadas</i>			$dh = K * V^2 / 2g$			
Elemento	D (m)	v (m/s)	$v^2 / 2g$	K		dH
Linha de succao						
Chupador c/ valvula		0.125	0.98	0.05	3.5	0.17
curva 90o		0.125	0.98	0.05	1.2	0.06
Linha de pressao						
valvula de passagem		0.125	0.98	0.05	0.1	0.00
valvula de retencao		0.125	0.98	0.05	2	0.10
curva 90o		0.125	0.98	0.05	1.2	0.06
perda de saida		0.125	0.98	0.05	1	0.05
Total perdas localizadas						0.44
Altura manometrica requerida						5.01
potencia						
requerida [kW]	$Pd = (\rho g Q H / \eta \eta_t) * (100 + ac / 100) * fr$ [kW]					

Condicoes de Xai-Xai [altitude: ≈ 0 m; temperatura 25° C] : ac ≈ 1%

Q [m3/s}	H [m]	ρg [m3/t * m/s ²]	η (-)	η_t (-)	ac [%]	fr [-]	Pd [kW]
0.012	5	9.81	0.76	0.98	1	1.2	0.96

Condicoes de Chimoio [altitude: ≈ 600 m; temperatura 25° C] : ac ≈ 10%

Q [m3/s}	H [m]	ρg [m3/t * m/s ²]	η (-)	η_t (-)	ac [%]	fr [-]	Pd [kW]
0.012	5	9.81	0.76	0.98	10	1.2	1.04

Manual de Dimensionamento de Regadios

7.3.4 Curva característica Q-NPSHr (Caudal-NPSHr)

O NPSHr ('Required Net positive suction head') é a quantidade de pressão (em termos absolutos em relação à pressão atmosférica) que é necessário para mover a água no olho de rotor da bomba.

É a característica da bomba que determina qual é a altura máxima de sucção, quer dizer a diferença máxima das cotas entre o eixo do rotor da bomba e o nível mínimo da água.

Na curva característica Q-NPSHr podemos ler como o NPSHr de uma bomba muda em função do caudal da bomba (acompanhado com uma mudança na altura manométrica conforme a curva Q-Hman).

A curva característica Q-NPSHr é também uma função da velocidade (rpm) e do diâmetro do rotor/propulsor da bomba (η). Na FIGURA 2 são desenhadas 4 curvas Q-NPSHr, válido para 1450 rpm e diâmetros de rotor de respectivamente 110, 120, 130 e 139 mm.

Na FIGURA 2 pode-se ler que a bomba ETA 65-125 no ponto de operação ($Q = 42.3$ m³/h; $H_{man} = 5$ m; 1450 rpm, $\Phi_{rotor} \approx 135$ mm) tem um NPSHr = 1.9 m.

Existe a seguinte equação para determinar a altura máxima de sucção

Altura máxima de sucção = $H_{atm} - d_{hs} - p_w - NPSHr$ - margem de segurança

Em que:

- H_{atm} : pressão atmosférica, depende da altitude em cima do mar. Existe a seguinte relação entre a pressão atmosférica e a altitude:

$$H_{atm} = 10.33 - 0.00108 Z$$

Z: altura em cima do mar em [m]

a pressão atmosférica no nível de mar : 10.33 m

- d_{hs} : perdas de carga na linha de sucção : depende do caudal e diâmetro de tubo

- p_w : pressão de vapor de água : Depende da temperatura (veja TABELA 3). p_w tem um valor de 0.32 m numa temperatura de 25 ° C.

- NPSHr : required net positive suction head (característica da bomba)

- margem de segurança: no arranque o caudal é normalmente um pouco maior. Por isso admitimos uma margem de segurança, normalmente 0.5 até 1 m

Exemplo determinação da altura máxima de sucção

Tomamos o exemplo anterior de uma bomba que no ponto de operação tem $Q = 12$ l/s e $H_{man} = 5$ m em Chimoio (altitude de ≈ 600 m; temperatura ≈ 25 ° C)

$$H_{atm} \text{ a } 600 \text{ m} = 10.33 - 0.00108 * 600 = 9.68$$

$$\text{De TABELA 2: } d_{hs} = d_{hs} \text{ tubo sucção} + d_{hs} \text{ localizados} = 0.11 + 0.17 + 0.06 = 0.34 \text{ m}$$

$$p_w = 0.32 \text{ m numa temperatura de } 25 \text{ C}$$

Manual de Dimensionamento de Regadios

NPSHr = 1.9 m no ponto de operação

Margem de segurança: 1 m

Altura máxima de sucção = $H_{atm} - d_{hs} - p_w - NPSHr - \text{Margem de segurança}$
= $9.68 - 0.34 - 0.32 - 1.9 - 1 = 6.12$ m

Se a bomba está colocada demais alta em cima de água, quer dizer a altura de sucção é maior que a altura máxima de sucção, podem acontecer 2 fenômenos:

- a. A bomba simplesmente não consegue funcionar
- b. O fenômeno de cavitação. No olho de rotor da bomba a pressão absoluta será reduzida a tal ponto que a água vai ferver. Bolhas de água de vapor explodem no rotor que resulta em corrosão de material e redução de eficiência. A cavitação numa bomba é normalmente acompanhada com ruídos na bomba.

7.4 Variação de características da bomba c/ a velocidade de rotação

A velocidade de rotação, n , é o número de rotações dado pela bomba na unidade de tempo, normalmente rotações por minuto (rpm).

A velocidade de motor (n : rotações por minuto: rpm) determina o funcionamento da bomba em termos de caudal, altura manométrica e Potência absorvida. Quando n aumenta as curvas características se deslocam para cima e para a direita. Quando n diminui as curvas características se deslocam para baixo e para a esquerda.

Em função de velocidade de rotação n são válidas as seguintes regras:

para Caudal:	$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$
para Altura Manométrica:	$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$
para potência absorvida (break or input power):	$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$

A eficiência na zona de utilização, é praticamente independente de n , quer dizer uma bomba que é eficiente numa certa n seria normalmente também eficiente em outras velocidades de rotação nesta zona de utilização.

Exemplo variação de características da bomba c/ a velocidade de rotação

Tomamos o exemplo anterior de uma bomba ETA 65-125 (1450 rpm, $\Phi_{rotor} \approx 135$ mm) que no ponto de operação tem $Q = 12$ l/s, $H_{man} = 5$ m e P (potência absorvida) = 0.75 kW (veja FIGURA 7.3).

Quando esta bomba tem uma velocidade de rotação de 2900 rpm, há as seguintes mudanças em Q , H_{man} e P :

$$Q_2 = Q_1 * (n_2/n_1) = 12 * (2900/1450) = 24 \text{ l/s}$$

Manual de Dimensionamento de Regadios

$$H_2 = H_1 * (n_2/n_1)^2 = 5 * (2900/1450)^2 = 25 \text{ m}$$

$$P_2 = P_1 * (n_1/n_2)^3 = 0.75 * (2900/1450)^3 = 6 \text{ kW (Potencia absorvida pela bomba)}$$

$$\text{Potencia necessária do motor } P_d = 1.2 * 6 = 7.2 \text{ kW}$$

Isto implica que o motor escolhida ($P_d = 1 \text{ kW}$) para a bomba ETA 65-125 com $n = 1500 \text{ rpm}$ não tem uma potencia suficiente para esta bomba com $n = 2900 \text{ rpm}$. Esta questão de adaptação de bomba e motor será tratado mais detalhadamente na secção 7.5.

Curva característica de instalacao

Numa certa instalação de bombagem (tubagem, acessórios) podemos definir:

$$H_{\text{instalacao}} = H_{\text{geom}} + \Delta H$$

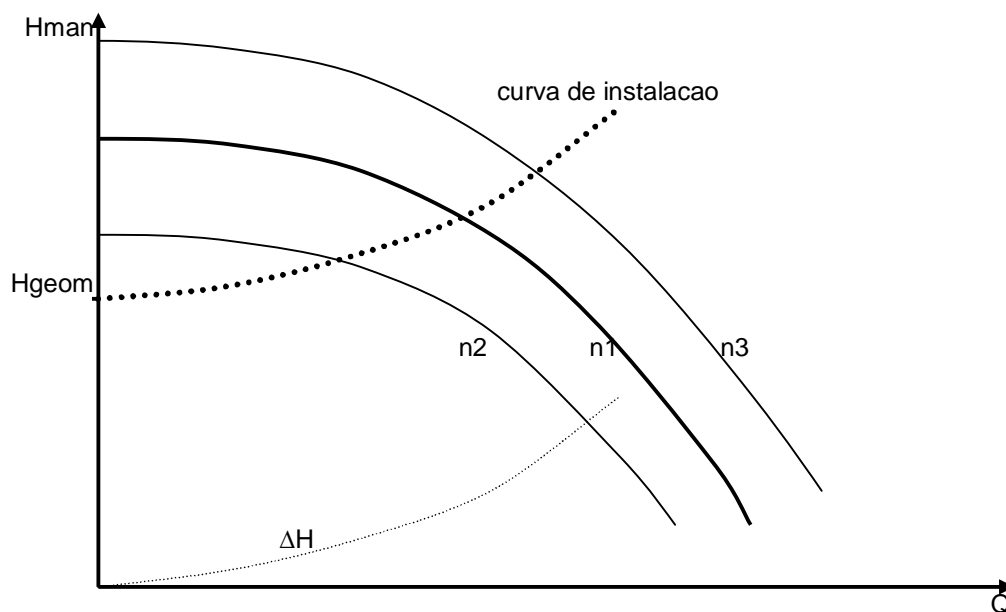
ΔH : Curva de perdas de carga totais numa instalação fixa. ΔH *eh uma funcao de caudais. Se o caudal aumenta as perdas de carga também aumentam numa instalação fixa.*

Perdas de carga totais = ΔH = perdas de carga na tubagem + perdas localizadas

A ponta de operação (ponto de equilibrio) duma instalação de bombagem eh a intersecção da linha característica Q-Hman com a curva de instalação.

Quando se muda a velocidade de rotacao da bomba a curva característica Q-Hman muda também. Consequentemente o ponto de operacao (equilibrium) muda também como eh ilustrada na FIGURA 7.4.

FIGURA 7.4 Curva de Instalação



7.5 Selecao de motores

Para uma bomba funcionar precisa-se um motor que fornece a potencia e a energia necessária para accionar a bomba. Podemos distinguir os seguintes tipos correntes de motores:

Manual de Dimensionamento de Regadios

- motores electricos
- motores a gasoleo (diesel)
- motores a gasolina

Motores electricas tem grandes vantagens em relacao aos motores de combustão (diesel, gasolina). Os principais vantagens são os seguintes:

- Preco mais baixo (custo de investimento)
- Preco de energia mais baixo (preco por kWh) embora que há também uma taxa fixa mensal que se deve pagar independentemente do uso
- Menos problemas de reparacao e manutencao, mas ATENCAO:
 - Tem que ser bem instalado com quadros electricos, ligacao PT, dispositivos de seguranca (trovoados etc)
 - Valvula de passagem tem que se abrir devagar para nao queimar motor
 - Pode haver problemas com a seguranca de fornecimento de electricidade (cortes de energia?)
- Tem que ter uma provisao de tirar os motores em caso de cheias

Um motor diesel tem a vantagem que pode ser movel, montado num chassis com rodas e reboque.

Eh preciso de ter cuidado de nao **sobredimensionar um motor**, quer dizer um motor que trabalha constantemente em baixo da sua potencia. Pode-se comparar com um carro ou tractor que esta acelerado (pode desenvolver forca) mas que esta parado.

Os efeitos negativos dum motor sobredimensionado sao os seguintes:

- um investimento mais caro que necessário
- custos de operacao (um consumo de gasóleo mais alto e menos eficiente) e manutencao mais altos que necessários
- gasto mais rápido do motor (segmentos e cilindros) e consumo mais alto de óleo de lubrificacao

Curvas caracteristicas de motores

Um motor tem 2 curvas caracteristicas relevantes:

- Curva caracteristica P- rpm
- Curva caracteristica Consumo especifico de energia – rpm.

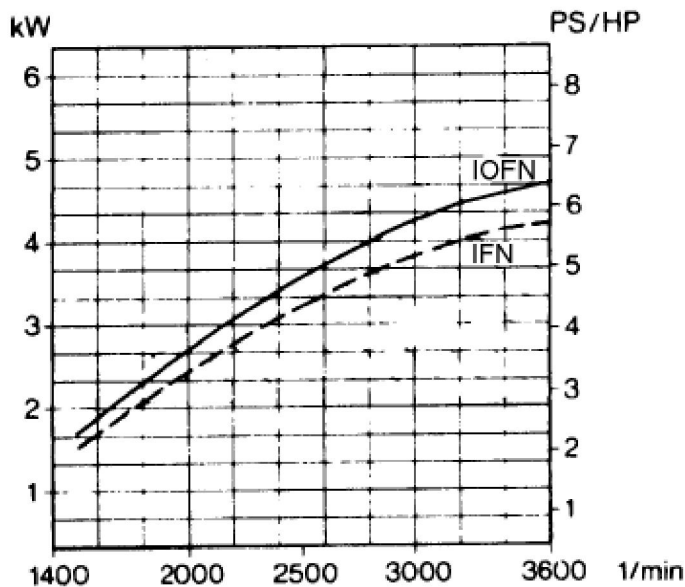
Na FIGURA 7.5 sao apresentadas exemplos destes curvas para um motor diesel.

FIGURA 7.5 Curvas caracteristicas dum motor diesel
Motor Lister-Petter, Zeta Series ZA1

* Curva: rpm - Potencia

Manual de Dimensionamento de Regadios

Power

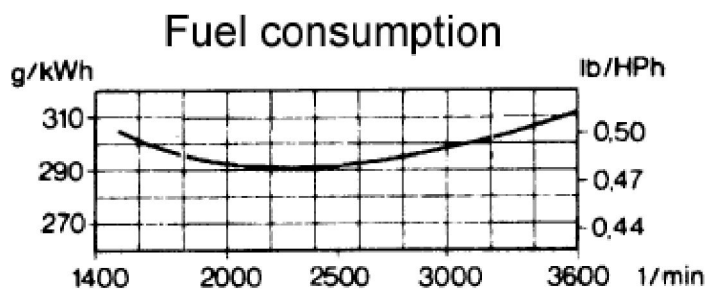


Notas:

- 1 kW = 1.34 hp; 1 hp = 0.746 kW
- A velocidade dum motor ou bomba eh expressada em rotações por minuta [1/min ou rpm]. Velocidades de motores electricas são normalizadas em 1450 (1500) e 2900 (3000) rpm.
- IOFN: o potencia que o motor pode fornecer por curto tempo ('intermittent load')
- IFN: o potencia que ele pode fornecer continuamente para periodos longos ('continuous load')

Para bombas de rega temos que escolher a curva de 'continuous load' (veja Seccao 7 ...)

* Curva: rpm- Consumo especifico de combustivel



Nota

Consumo especifico expressado em gram/kWh ou litro/kWh

Obs. Para transformar gram em litro precisamos de saber a peso especifico de diesel (gram/ liter): 820-950 gram/litro = 0.82-0.95 kg/litro

A curva rpm [Rotacoes por minuto ou 1/min]-P [kW/ HP) mostra que a potencia que um motor pode desenvolver depende muita da velocidade do motor. Por outro lado, as

Manual de Dimensionamento de Regadios

curvas características duma bomba (Q-Hman, Q- P) são uma função da velocidade da bomba (rpm).

Isto implica que a rpm de motor tem que ser adaptado a rpm da bomba de tal maneira que a P motor > Pabsorvida na bomba (BP: 'break power', veja seccao 7.....)

Ha 2 possibilidades:

1- Ligacao directa motor-bomba: rpm motor = rpm bomba.
P motor > P absorvido (BP: 'break power') no rpm escolhida

ATENCAO

No acoplamento directo duma bomba e motor sempre tem que se analisar a questao de velocidade dos ambos (Veja EXERCICIO 32)

2- Se as velocidades de motor e bomba são diferentes, a ligação deve ser feito com correia e poulies com diferentes diâmetros.

Diâmetro poulie motor * rpm motor = diâmetro poulie bomba * rpm bomba
ou
(Diâmetro poulie motor)/(diâmetro poulie bomba) = (rotacoes bomba)/(rotações motor)

Exemplo:

Um motor que desenvolve uma potencia de 5 KW com 2900 rpm e uma bomba que absorve um BP de 4.8 kW com 1450 rpm (BP = 4.8 kW).

Entao, a relação entre diâmetros de poulies=

diâmetro poulie motor/diâmetro poulie bomba = rpm bomba/rpm motor = 1450/2900 = 0.5

ATENCAO

A duração da vida dum motor (horas) eh fortemente relacionado com o total de rotações que faz na sua vida. Um motor que faz 1500 rpm tem uma vida ±2x mais prolongada que o mesmo motor que faz 3,000 rpm.

A curva rpm- Consumo especifico de combustivel mostra que ha um optimo onde o consumo eh minimal. No caso de FIGURA 7.5, o consumo eh minimal com uma rpm de ± 2250 rpm. Contudo a variacao eh pequena (± 5%) no intervalo de 1600-3600 rpm.

ATENCAO

O consumo especifico dum motor de gasoleo (diesel) pode ser estimado por fins praticas em 0.3 [litro/kW/hora].

Exemplo:

Quantos litros de diesel gasta um motor de 10 hp em 2 horas?

Motor de 10 hp= 7.5 kW

Consumo diesel= 0.3*7.5*2 = 4.5 litro

Manual de Dimensionamento de Regadios

7.6. Acessorios sistema de bombagem

Numa sistema de bombagem se pode encontrar os seguintes accessorios:

a- Crivo na entrada de tubo de succao.

O crivo evita que capim, pedras etc entrem na bomba.

b- Chupador ou valvula de pe.

Serve para ferrar a bomba. Pode ser substituido por uma bomba vacuum em caso que se deve minimizar a perda localizada causado por um valvula de pe.

c- Valvula de passagem na entrada de tubo de pressao.

Em principio uma bomba deve arrancar com a valvula fechada. Principalmente no caso de linhas compridas de tubagem que primeira se deve encher e na rega por aspersao onde as aspersores tem que desenvolver uma pressão (>2-3 atm), a valvula de passagem deve ser aberto lentamente para evitar que o motor fica sobrecarregado (veja seccao 7.3.2). Pode ser tambem utilizado para limitar e regular o caudal mas para isso eh um dispositivo pouco eficiente. Em caso que regulacao de caudal eh necessario eh melhor uma valvula de borboleto.

d- Valvula de retencao.

Eh uma dispositivo de seguranca que evita que agua de retorno (p.e. quando uma bomba para) danifica a bomba e motor.

e- Bypass com torneira.

Eh um dispositivo opcional mas pode server para facilitar de ferrar a bomba por meio de agua que se encontra em cima da valvula de retencao. Com o 'bypass' aberto (com torneira), este agua passa a bomba e vai encher o tubo de succao desde que eh munido com uma valvula de pe.

f- Curvas, tes, reducoes/ ampliacoes etc.

Sao accessorios para a transicao dum diametro para outro, para bifurcacoes etc.

Todos estes accessorios causam perdas localizadas de carga. A maneira de calcular estas perdas localizadas se encontra no ANEXO 4.

Ha mais dois regras importantes no dimensionamento de sistemas de bombagem.

1- Tenta sempre de evitar velocidades de agua (v_{media}) no tubagem maior que 2 m/s

2- A tubagem de succao em geral tem um diametro maior que a tubagem de pressao.

7.7. Golpe de Ariete

O golpe de Ariete ('Water hammer') sao ondulacoes de pressao causado por mudancas bruscas na velocidade de agua na tubagem e accessorios. stas mudancas bruscas podem

Manual de Dimensionamento de Regadios

ser causadas por abrir ou fechar rapidamente valvulas, arrancar ou parar bombas, cavitacao ou colapso de bolsas de ar nas linhas de tubas, encher linhas de tubos vazios ou cortas de energia que param as bombas repentinamente.

As ondulações de pressão esticam e comprimem as paredes de tubos e podem danificá-los. Os tubos tem que ter uma classe de pressão folgado para aguentar estas mudanças de pressão

Que se pode fazer para evitar golpes de Ariete e os seus efeitos

- Abrir e fechar valvulas lentamente, encher linhas de tubagem lentamente, tambem para deixar escapar ar
- Classe de pressão adequado dos tubos
- Limitar velocidade media nos tubos (<2 m/s)
- Deixar escapar bolsas de ar por ventosas (colocados nos pontos altos de linha de tubagem)

Manual de Dimensionamento de Regadios

8. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA por uma REDE de TUBAGEM c/ METODOS SUPERFICIAIS de REGA

Concepção e funcionamento

Este tipo de sistema de rega funciona o mesmo como um sistema de rega por uma rede de canais e c/ métodos superficiais de rega. A única diferença é a substituição - completamente ou parcialmente- da rede de canais por uma rede de tubagem e acessórios ate as tomadas de água. São validos os mesmos princípios de distribuição de água e gestão de rega que um sistema de rega por uma rede de canais. Este tipo de sistema representa uma rega mais eficiente porque quase não há perdas de transporte. Em principio as perdas de aplicação também podem ser minimizadas se os intervalos e as dotações/aplicações de rega são bem ajustados.

Factores de Selecção

Há vários factores que favorecem a escolha destes sistemas, nomeadamente:

- Em caso que eficiência de rega é importante. Neste tipo de sistema se pode regar mais eficiente porque há poucas perdas de transporte e infiltração.
- Em caso de pequenos caudais (<20 l/s)
- Quando a rede de tubagem e a sua montagem tem menos custos que uma rede de canais revestidos
- Em relação c/ outros tipos de regadio (aspersão, mangueira) a pressão na rede de tubagem e a altura manométrica requerida na bomba são baixas
- Normalmente este tipo de sistema não é muito apto para arroz porque o arroz requer caudais de aplicação bastante grandes

Desvantagens

- Problemas possíveis na reparação (tubos em baixo da terra) e detecção de avarias (é difícil de ver água a correr em baixo da terra)
- A altura manométrica de bombagem é mais alta que no caso com canais abertos

Configuração

Em princípio, a configuração da rede de tubagem é o mesmo que num sistema que é regada por uma rede de canais embora que os traçados das linhas de tubagem são mais flexíveis em relação à topografia e o relevo do terreno.

Na escolha dos elementos da rede de transporte há muitas combinações/alternativas. Algumas alternativas são:

- Toda rede constituídas por tubos enterrados
- Toda rede constituídos por tubos na superfície do terreno
- Combinações de linhas de tubos enterrados, tubos na superfície e/ou canais abertas

Operação de sistema

Manual de Dimensionamento de Regadios

A operação deste tipo de sistemas é a mesma como um sistema c/ rede de canais abertos. O princípio é de dividir o caudal da bomba num certo número de unidades de caudal manejável ($\approx 6-15$ l/s). Cada unidade de caudal manejável é fornecida a um ramal de tubagem c/ suas ramificações para ser distribuída a um bloco de distribuição, rotativamente sobre os hidrantes e as respectivas tomadas. Isto implica que num ramal de distribuição há somente um único regante a regar no mesmo tempo e um hidrante em funcionamento.

Elementos dum sistema por tubagem c/ métodos superficiais de rega

Alternativa: Toda rede constituídas por tubos enterrados

De jusante para montante:

- Tomada de água para parcela. Esta tomada de água tranquilize a água antes de correr para a rede de canais de campo
- Hidrante com acessórios (torneira esférica) que liga a linha de distribuição com a tomada
- Linhas de tubagem com acessórios (Tees, curvas, ampliações, reduções, ventosas etc.) que alimentam os hidrantes (linha de distribuição) ou só tem uma função de transporte (linha principais)
- caixa de distribuição e de controlo de pressão requerida no principio de linhas de tubagem
- Estação de bombagem consistindo de electro ou motobomba com acessórios

Tomada

A tomada de água pode ser uma pequena caixa que se liga com os canais de campo

Hidrantes

Os hidrantes ligam a linha de tubagem c/ as tomadas de água. Um hidrante precisa ter uma torneira esférica. Esta não serve para regular o caudal na tomada, é somente para abrir ou fechar por razões operacionais. Num bloco de distribuição há rotação de caudal nas suas parcelas conforme o calendário de rega. Este tipo de sistema tem a mesma operação que um sistema de gravidade por canais.

Linhas de tubagem

As linhas de tubagem podem ser – totalmente ou parcialmente - enterradas (uPVC) ou deitadas em cima de terra (p.e. tubos de alumínio ou de ferro c/ acoplamentos rápidos). Uma parte pode ser linhas móveis equipados com hidrantes

Caixa de controlo de pressão

Este tipo de caixa liga a linha de tubagem e as suas ramificações que serve um bloco de rega. Tem a função de fornecer a pressão requerida no princípio da linha de tubagem. Esta pressão é idêntica ao nível (cota) de água na caixa.

Caixa de distribuição

Para distribuir água sobre as linhas de tubagem e as ramificações que servem os diferentes blocos de rega.

Estação de Bombagem

Manual de Dimensionamento de Regadios

Em caso de cheias se deve tomar provisões para tirar electro bomba ou motobomba em cima de nível de cheias ou fora da zona afectada pelas cheias.

PRINCIPIOS de DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento da rede de tubagem (diâmetros de tubagem) depende da operação planificada. Na operação mais simples e apropriada, uma linha de tubagem de distribuição rega somente uma tomada/hidrante de vez.

Passos

O nível da água nas tomadas de água das parcelas deve atingir pelo menos 20 cm em cima do ponto mais alto da parcela para entrar na rede de canais de campo. Este nível pode-se chamar Nível Piezométrica mínima requerida.

Cota piezométrica mínima requerida na tomada= Cota mais alta da parcela + altura requerida de água na tomada (0.20 m)

O nível piezométrica mínimo na tubagem no lugar de hidrante = Nível piezométrica mínimo requerido na tomada de água + perdas de carga no hidrante

Uma vez determinado o nível piezométrico mínimo nos diferentes hidrantes, as perdas de carga nas diferentes partes da rede vai definir a linha definitiva do nível piezométrico na tubagem.

Por seu turno os diâmetros da tubagem determinam as perdas de carga nas diferentes partes da rede (calculado com a equação de Darcy-Weisbach)

O nível piezométrico no tubagem no principio do sistema vai determinar a cota da água na caixa de distribuição ou a pressão a ser fornecida pela bomba

Uma linha piezométrica correcta tem que satisfazer 4 condições:

- Tem que diminuir de principio ate o fim de tubagem (de montante para jusante).
- A tubagem tem que ser escolhido de tal maneira que as perdas de carga nos vários trocos de ramal acompanham na medida possível a linha do nível piezométrica mínimo (requerido).
- Deve se utilizar tubos com diâmetros estandardizados que são disponíveis no mercado (p.e. 2", 3", 100 mm, 125 mm, 5.5" etc.)
- Os diâmetros de diferentes troços de tubagem devem ser igual ou menor a partir de principio ate o fim (de montante para a jusante)

Estas condições fazem que a linha de nível piezométrica a adaptar será em cima dos níveis piezométricos mínimos requeridos.

No EXERCICIO 26 se pode praticar o dimensionamento deste tipo de sistemas.

Manual de Dimensionamento de Regadios

9. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE REGA por MANGUEIRA

Concepção e funcionamento

Neste tipo de sistema de rega, se fornece água a canteiros pequenos ou sulcos curtos por intermédio de mangueiras e uma rede de tubagem conectada a uma bomba que fornece a pressão necessária. O tipo de rega é similar à rega de jardim. É tipicamente apto para rega de pequenas parcelas e culturas hortícolas e fruteiras.

É uma rega eficiente porque quase não há perdas de transporte. Em princípio as perdas de aplicação também podem ser minimizadas se os intervalos e as dotações/aplicações de rega são bem ajustados.

Os caudais de aplicação são limitados (< 5 litro/seg) para evitar erosão de canteiros, diâmetros demais grandes de mangueiras e/ou perdas de carga maiores. O caudal limitado implica muito trabalho na aplicação de água (veja TABELAS 3.1 e 3.2 no CAPÍTULO 3).

Configuração

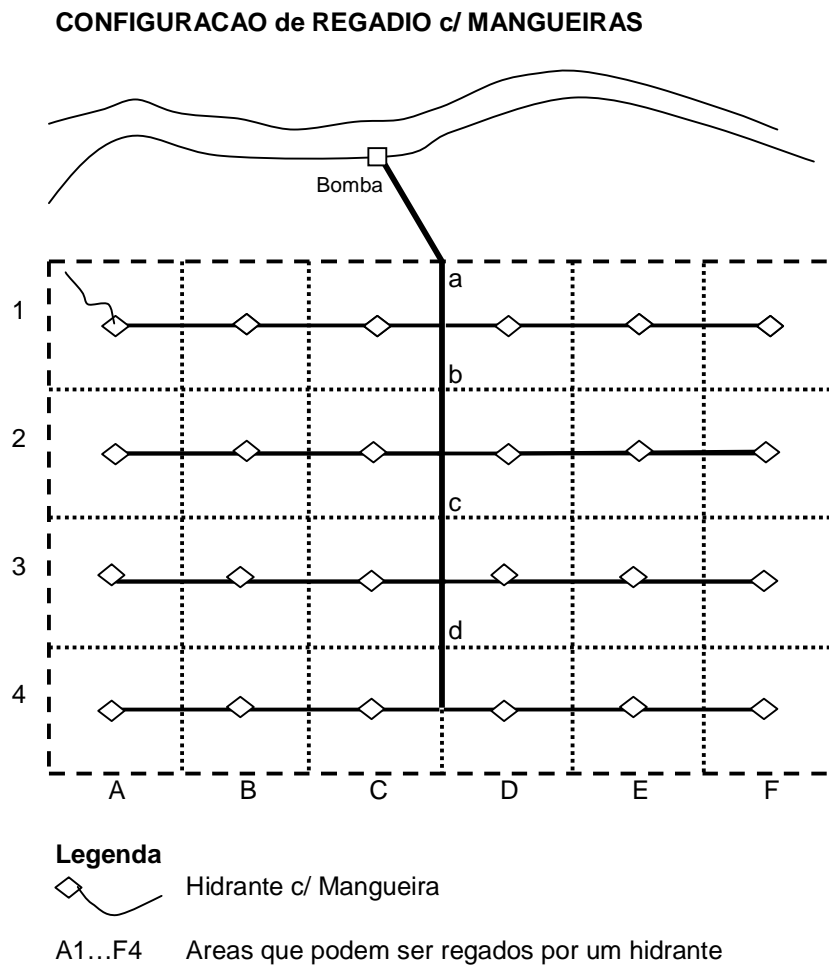
A configuração dum sistema não depende tanto da topografia e do relevo do terreno que num sistema que é regado por uma rede de canais.

Um exemplo da configuração dum sistema se encontra na FIGURA 9.1.

Um hidrante c/ mangueira pode regar uma área fixa que pode ser subdividido em pequenas parcelas, preferencialmente iguais. A superfície que um hidrante c/mangueira pode regar é uma função do comprimento da mangueira.

Há varias possibilidades de operar o sistema, principalmente no que diz respeito quanto área se rega de vez (veja TABELA 9.1). Isto tem implicações para os caudais que ocorrem na rede de tubagem, as mangueiras, a quantidade de mangueiras e regantes que trabalham no mesmo tempo e a quantidade de trabalho por parcela na aplicação de água de rega. Isto significa também que o dimensionamento da rede de tubagem (diâmetros de tubagem) depende da operação planificada.

FIGURA 9.1 Configuração de Regadio c/ Mangueiras



Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 9.1 Dimensionamento relacionado com a Operação

DIMENSIONAMENTO EM FUNCAO DE OPERACAO

Mode de Operacao	Caudal por hidrante/ mangueira	Tempo de aplicacao por intervalo	Dimensionamento (mais favoravel) da linha principal de tubagem	caudal de dimensionamento das linhas de distribuicao	Acessorios adicionais
todos os hidrantes a funcionar	Q/24	t	ramal a: Q ramal b: 0.75* Q ramal c: 0.50*Q ramal d: 0.25*Q	linha principal- 1a hidr: Q/8 1a-2a hidrante: Q/12 2a-3a hidrante: Q/24	-
Metade de hidrantes a funcionar	Q/12	0.5*t	ramal a: Q ramal b: 0.75*Q ramal c:0.5*Q ramal d: 0.25*Q	linha principal- 1a hidr: Q/4 1a-2a hidrante: Q/6 2a-3a hidrante: Q/12	8 valvulas no principio das linhas distribuidoras
Um quarto de hidrantes a funcionar	Q/6	0.25*t	ramal a: Q ramal b: Q ramal c: 0.5*Q ramal d: 0.5*Q	linha principal- 1a hidr: Q/2 1a-2a hidrante: Q/3 2a-3a hidrante: Q/6	8 valvulas no principio das linhas distribuidoras

Elementos dum sistema de rega por Mangueira

De jusante para montante:

- Mangueira
- Hidrante com acessórios que liga a linha de distribuição com a mangueira
- Linhas de tubagem com acessórios (Tees, curvas, ampliações, reduções etc.) que alimentam os hidrantes (linha de distribuição) ou só tem uma função de transporte (linha principais)
- Estação de bombagem consistindo de electro ou motobomba com acessórios

Mangueira

Mangueiras podem ter diferentes comprimentos ate um máximo de 80 m e diferentes diâmetros, em função do caudal, velocidade na mangueira e as perdas de carga. Para a operação e manutenção é importante que a mangueira é robusta e flexível.

Hidrantes

Os hidrantes ligam a linha de distribuição às mangueiras. Um hidrante precisa ter uma *torneira esférica*. Isto não serve para regular o caudal na mangueira, é somente para abrir ou fechar por razoes operacionais. Por exemplo, uma mangueira, diâmetro interior 1½”, de 70 m, cheia de água (peso 80 kg), é difícil de mover a mangueira para outro lado da parcela, quando se fecha a torneira esférica se pode primeiro vaziar a mangueira.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Linhas de tubagem

As linhas de tubagem podem ser – parcialmente ou não-enterradas (uPVC) ou deitadas em cima de terra (tubos de alumínio ou de ferro c/ acoplamentos rápidos).

Estação de Bombagem

Em caso de cheias se devem tomar providões para tirar electro bomba ou motobomba em cima de nível de cheias ou fora da zona afectada pelas cheias.

PRINCIPIOS de DIMENSIONAMENTO

Por razões de operação é mais conveniente que cada mangueira serve a mesma área. Isto também implica que todas as mangueiras no mesmo momento em operação devam dar o mesmo caudal. Isto é teoricamente e praticamente impossível, mas se pode limitar a variação de caudal quando se consegue de limitar a variação de pressão no princípio das mangueiras/hidrantes (suponhando um diâmetro e um comprimento de mangueiras iguais).

Conforme a equação de Darcy-Weisbach a gradiente hidráulica: $s = \Delta H / L = (f \cdot v^2) / (D \cdot 2g)$ -
- $\rightarrow \Delta H$ (pressão no hidrante) proporcional ao Q^2 ou Q proporcional ao $\sqrt{\Delta H}$ se todos os outros parâmetros são os mesmos (L, f, D).

Se pode calcular que um variação em Q de 10% ($Q_1/Q_2 = 0.9$) corresponde com uma variação em ΔH (pressão nos hidrantes) de aproximadamente 20%

($Q_1/Q_2 = 0.9 = \sqrt{(\Delta H_1/\Delta H_2)}$ ---- $\rightarrow H_1/H_2 = 0.9 \cdot 0.9 = 0.81$).

Então, a variação de pressão nos hidrantes não deve ultrapassar 20%, quer dizer a diferença de pressão mais alto e a pressão mais baixo deve ser igual ou menos que 20% da pressão mais alto.

Também é valido que a Pressão no hidrante = perda de carga na mangueira.

Por exemplo, quando há uma mangueira de 80 m e diâmetro interna 1.5" se pode calcular com a equação de Darcy-Weisbach (veja ANEXO 4) por um caudal de 2 l/s, uma perda de carga de $\Delta h = 7.75$ m. Isto significa que a variação máxima de pressão nas hidrantes da linha principal deve ser menos que $0.2 \cdot 7.75 = 1.55$ m.

Também é valido que a Pressão no Hidrante = Cota Piezométrica – Cota de terreno

Com a pressão media no hidrante e a cota de terreno conhecidas é valido:

Cota piezométrica mínima = Cota de terreno + pressão no hidrante

O(s) diâmetro (s) da linha de tubagem devem ser calculados sob as seguintes condições:

- a pressão media nos hidrantes deve ser igual a perda de carga na mangueira
- a variação máxima de pressão nos hidrantes não deve ser mais que 20 % da perda de carga nas mangueiras
- a cota piezométrica mínima deve ser escolhida de maneira que para cada hidrante é valido:
a pressão no hidrante (pressão media ± 10 %) = cota piezométrica – cota do terreno

Manual de Dimensionamento de Regadios

Isto pode ser realizado quando as perdas de carga na tubagem entre os hidrantes aproximam na medida possível as diferenças das cotas (níveis) de terreno entre os hidrantes, tomando em conta que a linha piezométrica tem que diminuir de principio ate o fim de tubagem (de montante para jusante).

ATENCAO:

- Deve-se tomar em conta que o caudal diminui a jusante de hidrante quando não esta no fim duma linha de distribuição.
- Devem-se utilizar tubos com diâmetros estandardizados que são disponíveis no mercado (p.e. 2", 3", 100 mm, 125 mm, 5.5" etc.)
- Os diâmetros de diferentes troços de tubagem devem ser igual ou menor a partir de principio ate o fim (de montante para jusante)

Nos EXERCICIOS 27 e 28 se pode praticar o dimensionamento deste tipo de sistemas.

Manual de Dimensionamento de Regadios

10. DIMENSIONAMENTO de REPRESAS/PEQUENAS BARRAGENS

Este capítulo trata de conceitos relacionadas com o uso de represas e o dimensionamento de pequenas barragens, principalmente os aspectos hidráulicos.

10.1. O conceito Represa

O que é uma represa? Há muito confusão sobre este conceito. Nos últimos anos em todos os distritos parece que há uma solução mágica para os problemas de pobreza absoluta: “vamos construir represas”. O conceito represa é muito geral e utilizado para denominar estruturas muito diferentes. Nesta secção vamos clarificar e sistematizar alguns aspectos.

Classificação de Represas

A distinção mais relevante nos diferentes tipos de represas é a função. Se pode distinguir claramente dois objectivos/funções diferentes de represas (embora podem ser combinados numa única estrutura):

1. *Elevar o nível de água dum curso de água.*

Uma estrutura num rio com esta função se chama *açude*. A elevação de nível de água serve para possibilitar a rega por gravidade por intermédio dum canal dum perímetro a jusante. Em Moçambique há 2 tipos de açudes:

- Açudes em pequenos rios (permanentes) nas áreas montanhosas (veja FOTO 10.1). Se utiliza normalmente a água do rio (ou uma parte) para a rega no tempo seco, quer dizer a partir de Abril até Novembro. Sem açude se devia utilizar bombas. A grande vantagem do açude em comparação de bomba é a grande diminuição de custos de exploração: não há custos de energia. Os custos de investimento para construir estas obras não precisam ser muito elevados (ordem de grandeza: 10,000 -50,000 USD) quando a parede pode ser fundado em rocha.

- Açudes em grandes rios de planícies. São grandes obras com custos altos de construção. São necessários dispositivos especiais (comportas grandes c/ equipamento especializado p/ abrir, fechar e regular) para evacuar cheias. Só há uma obra deste tipo em Moçambique: o açude de Macarretane, que possibilita o fornecimento da água de rega por gravidade ao sistema de Chokwe (25,000 – 30,000 ha).

ATENCAO

O açude de Macarretane não armazena água (ou muito pouco), mas eleva o nível de água no R. Limpopo. O açude é alimentado pelo rio Limpopo e R. dos Elefantes, esta última regularizado pela barragem de Massingir que só tem a função de armazenamento.

Manual de Dimensionamento de Regadios

FOTO 10.1 Açude na associação Mexesse (Malema)



2. Armazenagem de água.

Há várias estruturas artificiais (a construir) e naturais que servem para armazenamento de água. Pode-se distinguir:

- Aquíferos de água subterrâneo.

O nível freático sobe no tempo de chuva e baixa no tempo seco. No maior parte de Moçambique não há muito água subterrâneo de boa qualidade (nos planícies a água subterrâneo é normalmente salgada) para ser explorado para fins de rega. A água subterrânea de boa qualidade serve normalmente para o consumo humana, mediante poços, furos e bombas (caudais na ordem de grandeza de 1 litro/seg).

- Lagoas naturais.

Há muitos antigos braços nas planícies dos rios que formam lagoas naturais. Estes podem ser utilizados para rega, mas eles tem capacidades limitantes. No tempo de chuva e cheias se enche a lagoa ate a sua capacidade. Depois, quando se bomba água no tempo seco o nível de água baixa e eventualmente a lagoa fica vazia porque quase não há entrada de água no tempo seco. Além disso, normalmente não se pode usar toda a capacidade de lagoa porque há outras interesses que se deve respeitar (pesca, consumo e uso humano,

Manual de Dimensionamento de Regadios

embeberemente de gado, biodiversidade, recreação etc). Por isso a área de rega que pode ser alimentado por a lagoa eh limitado, normalmente de algumas ate algumas dezenas de hectares. Deve-se estimar a capacidade da lagoa e utilizar a balança de água para estimar a área de rega (Veja ANEXO 2 e EXERCICIO 4).

- Lagoas artificiais.

São criados por escavação. Um exemplo é as lagoas de Mandruzi Gappo (capacidade total de cerca 300,000 m³, bastante para regar cerca de 30 há num ano seco), criados por motivo de tirar matéria prima ('klinker') para a fábrica de cimento de Dondo. Também se pode suspeitar que provavelmente a maioria de 'represas' nos distritos pertence a esta categoria de 'buracos' escavados. Se não há outro uso da terra escavada, criar este tipo de armazenagem eh um processo muito pouco eficiente: normalmente 1 m³ de escavação (e retirar fora da área da 'represa') somente resulta em 1 m³ de armazenagem de água.

- Barragem + Albufeira

No período de chuva corre muita água e no período seco há pouco ou nenhum água na maioria dos rios Moçambicanos. Uma parte da água que corre no período de chuva pode ser armazenada mediante a construção duma barragem. Isto cria uma albufeira que pode fornecer água por diversos fins no tempo seco. O armazenamento pode ser intra-anual e/ou inter anual. No último caso há armazenamento de água em anos húmidos para anos secos. Isto só eh possível com (muito) grandes barragens como Cahora Bassa e Massingir (capacidade de armazenamento: 3 bilhões de m³) ou eventualmente a futura barragem de Mapai (já planificado mais que 40 anos) no rio Limpopo (distrito de Chicualecuale).

As barragens c/ armazenamento intra-anual são tipicamente construídos em rios efémeros, quer dizer que tem grande caudal no tempo de chuvas, mas onde corre pouco ou nenhum água no tempo seco. Estas barragens podem ser classificados conforme a sua dimensão. A maioria deste tipo de barragens eh de media e pequena dimensão.

No contexto deste manual tratamos somente pequenas barragens de terra em pequenos rios com uma capacidade ate 1 milhão de m³ de água e uma altura de aterro ate 5-10 metros.

10.2 Dimensionamento de pequenas barragens em terra

* *Componentes duma Barragem*

Uma barragem tem 3 componentes que devem ser dimensionadas:

- Aterro. O nível (cota) de aterro eh um dos elementos que determina o volume de armazenamento
- Descarregador de cheias. Eh o componente de segurança para não galgar a barragem. Tem que ter uma capacidade suficiente
- Tomada de água. Não eh necessário quando se extrai água com bombagem. Em principio o nível da água na albufeira possibilita a rega por gravidade a jusante da barragem. Neste caso a barragem tem que ser equipado com uma tomada de água.

Manual de Dimensionamento de Regadios

** Elementos/ Aspectos de dimensionamento*

O dimensionamento duma barragem tem os seguintes aspectos:

- Situacional
- Estrutural
- Hidráulico

** Dimensionamento Situacional*

Os 2 aspectos principais para tomar em conta na localização da barragem são:

- a- A distancia entre a barragem e a área para regar. Eh claro que uma distancia mais curto eh menos custoso
- b- O rendimento de armazenagem. Eh importante de escolher locais que tem um alto rendimento de armazenagem (m³ armazenada/m³ de construção)

** Dimensionamento Estrutural*

Os aspectos mais importantes são:

- a- As condições de fundação e a ligação com o aterro
- b- A estrutura, volume, compactação e taludes de aterro
- c- A ligação da descarregadora de cheias com o aterro
- d- A canal de saída da descarregadora e sua protecção
- e- Os elementos da toma de agua (tubo, comporta etc) e a sua ligação com o aterro

*** Dimensionamento Hidráulica**

O dimensionamento hidráulico duma barragem consiste na determinação de 2 elementos fundamentais que são os seguintes:

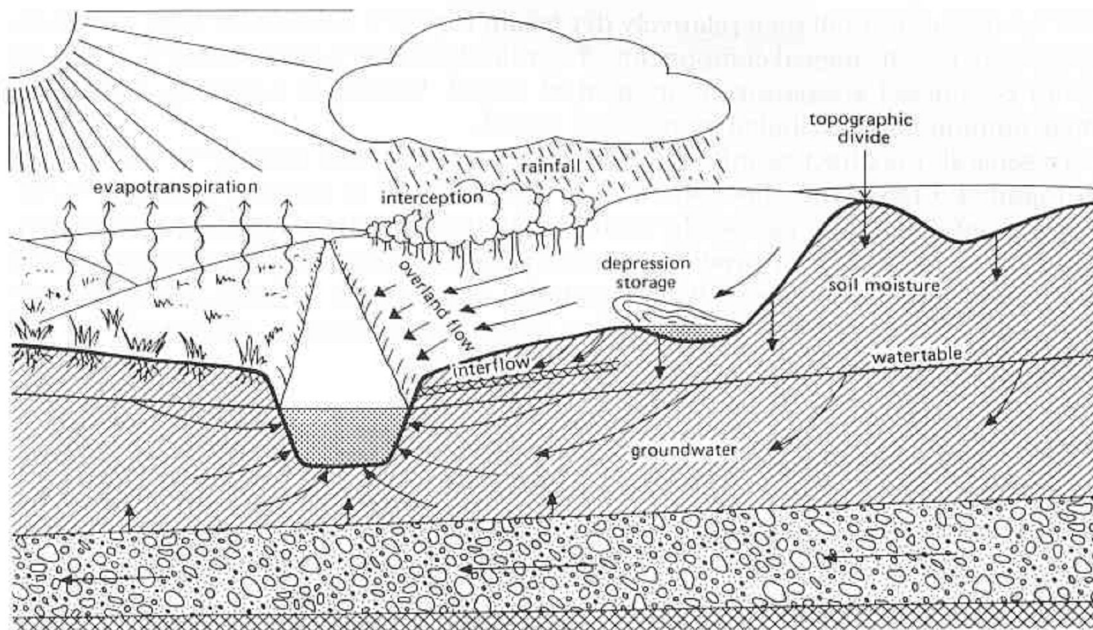
- 1- *O volume de agua armazenada no albufeira. Isto determina a altura de barragem*
- 2- *O caudal de cheias. Determina o dimensionamento da descarregadora*

Em princípio, estes elementos podiam ser determinados a partir dum análise das ocorrências e frequências do caudal (escoamento) dum rio em função de tempo.

Contudo, para a maioria dos rios pequenos em Moçambique e outros países não existem medições de caudal. Neste caso foram desenvolvidos outros métodos e modelos de análise para estimar estes elementos. Há muitos destes métodos e modelos, dos mais simples ate os mais complicados. Todos são baseados no ciclo hidrológico (balança hídrica) duma bacia hidrográfica que consiste de processos muito complexos para quantificar (veja FIGURA 10.1).

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 10.1 CICLO HIDROLOGICO



Neste manual somente vamos tratar os métodos mais simples para determinar/ estimar estes elementos (um exemplo de aplicação destes métodos se encontra no EXERCÍCIO 34).

1- O volume de água armazenada no albufeira

Depende de 2 factores :

- Necessidades brutas de rega (quantidades mensais)
- Disponibilidade de água (água armazenada). Este água armazenada depende do escoamento/escorrimento na bacia do rio (drenagem) e a altura de barragem.

Tem que se fazer um balanço hídrico para equilibrar as necessidades brutas de rega (determinação área de rega) e a disponibilidade de água (água armazenada). Não vale a pena de fazer um grande barragem quando o escoamento eh pouco. Desta maneira a albufeira nunca se enche.

A quantidade potencial de água que pode ser armazenada depende do escoamento anual do rio.

O método mais simples para estimar o escoamento/escorrimento anual do rio eh dado pela seguinte equação:

$$V_{\text{anual}} = C * A * P_{\text{anual}}$$

Em que:

Manual de Dimensionamento de Regadios

- V_{anual} : Escoamento anual [m³]

- C : coeficiente de escoamento [-]. Indica a parte da precipitação anual que escoo para o rio. Por exemplo, um valor de 0.1 quer dizer que 10 % da precipitação anual escoo para o rio. O valor de C depende do tipo de terreno (Veja TABELA 10.1)

- A : Área da Bacia de drenagem [m²], pode ser medida num mapa com curvas de nível. Para a delimitação da bacia se deve imaginar em que sentida vai uma gota de água.

- P_{anual} : precipitação anual [m], tem que ter dados de estações de precipitação na área da bacia ou perto da bacia

Por causa de variabilidade de precipitação anual o escoamento anual também varia de ano por ano. Para fins de dimensionamento temos que tomar conta das condições num ano seco. Como valor de P_{anual} toma-se a precipitação mínimo anual que ocorre em 80% dos anos (4 em 5 anos) ou 90 % dos anos (9 em 10 anos)

Então, para o dimensionamento duma barragem a equação muda em:

$$V_{\text{anual } 80\%} = C * A * P_{\text{anual } 80\%}$$

TABELA 10.1 Coeficiente C na estimativa de escoamento anual
($V_{\text{anual}}=C*A*P_{\text{anual}}$)

- Bacia com topografia quebrada com vegetação pobre:	0.1
- Bacia muito inclinada com vegetação pobre:	0.2
- Bacia rochosa com infiltração baixa:	0.5

ATENCAO

Não sobre-estime o valor de C porque os valores da tabela eh só uma indicação. De facto o valor de C eh variável: num ano seco o valor de C eh mais baixa que num ano com muita precipitação.

Depois de determinar o valor de escoamento anual para dimensionar a barragem se pode determinar a área de albufeira que corresponde com este volume. O valor desta superfície eh necessário para fazer a balança hídrica da albufeira e para estimar qual área eh possível de regar com o volume armazenado (para o método da balança hídrica, veja ANEXO 2 e EXERCICIO 34).

O volume armazenado de água que deve ser armazenado na albufeira eh o resultado da balança hídrica e a determinação da área de rega. Este valor do volume corresponde com uma certa cota da barragem. Esta cota eh igual à cota da cresta de descarregadora de cheia. Para determinar a cota da cresta da barragem eh necessário conhecer o caudal de cheia que determina as dimensões de descarregadora de cheia e a altura de água em cima da sua cresta.

2- O caudal de cheia

Manual de Dimensionamento de Regadios

Uma estimativa do caudal de cheia é necessário para dimensionar o descarregadora. há muitos métodos e modelos, de mais simples até os mais sofisticados.

Neste manual vamos usar um método muito simplificado dum processo complexo que é o método racional. A utilização deste método é justificado para pequenas bacias hidrográficas (< 13 km²).

O Método racional é baseado na equação:

$$Q_{\text{cheia}} = C * i * A$$

em que:

- Q_{cheia} : Caudal de cheia para dimensionar a descarregadora [m³/hora]
- C: coeficiente do escoamento superficial de cheia [-]
- i: intensidade de precipitação durante um período igual ao *tempo de concentração* [m/hora]
- A: superfície da bacia de drenagem no sítio de barragem [m²]

* O *tempo de concentração* é definido como o intervalo de tempo entre o começo de precipitação e o momento quando toda a área a montante da barragem contribua para o escoamento

Há várias fórmulas empíricas para determinar o tempo de concentração (em Moçambique se usa muito a fórmula de Gigantonnes). Nesta manual se usa a fórmula de Kirpich (esta resulta em tempos menores de concentração que Giannotti, então resulta em caudais maiores de cheia)

O tempo de concentração calculado conforme Kirpich:

$$T_c = 0.0195 * K^{0.77}$$

em que:

- $K = L/\sqrt{S}$ e $S = H/L$
- L: comprimento máximo de transporte
- H: diferença em cota entre o ponto mais remoto e a barragem

Em baixo há duas tabelas para calcular o Q_{cheia} :

- uma tabela (b) com valores de C
- uma tabela (a) que relaciona as precipitações mínimas de diferentes durações com seus respectivos anos de retorno (o inverso da probabilidade de ocorrência). Para usar esta tabela precisa-se um análise estatística da precipitação máxima diária de pelo menos 10 anos numa estação de precipitação localizada na bacia ou perto da bacia.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Depois de determinar Q_{cheia} se pode dimensionar a descarregadora de cheias utilizando a equação de caudal sobre um vertedor: $Q = 1.6 * b * h^{1.5}$ que resulta na altura de água sobre a cresta da descarregadora.

Cota da coroa da barragem = Cota de cresta de descarregadora + altura de água sobre a cresta + folga

O volume de aterro da barragem pode ser estimado numa primeira aproximação pela seguinte equação:

$$V = 0.22h * L(2C + H * S) \quad (\text{veja FIGURA 10.2})$$

Manual de Dimensionamento de Regadios

TABELA 10.2 Valores de C e valores para o cálculo de i (Método Racional:
 $Q_{cheia} = C * i * A$)

- Tabelas p/ cálculo de Q cheia

Tabela (a)

Ratio of rainfall depth to 2-year 1-hour rainfall depth for different durations and return periods

Rainfall duration	Return period in years (<i>período de Retorno</i>)				
	2	5	10	25	50
5 min	0.28	0.39	0.48	0.57	0.65
10 min	0.43	0.61	0.73	0.88	1.01
15 min	0.54	0.76	0.91	1.11	1.25
30 min	0.78	1.05	1.35	1.57	1.79
1 h	1	1.35	1.65	2.00	2.25
2 h	1.40	1.89	2.34	2.80	3.15
3 h	1.50	2.02	2.47	3.00	3.37
4 h	1.60	2.16	2.64	3.20	3.60
6 h	1.65	2.25	2.70	3.30	3.70
24 h	2.40	3.25	3.95	4.80	5.40

Tabela (b)

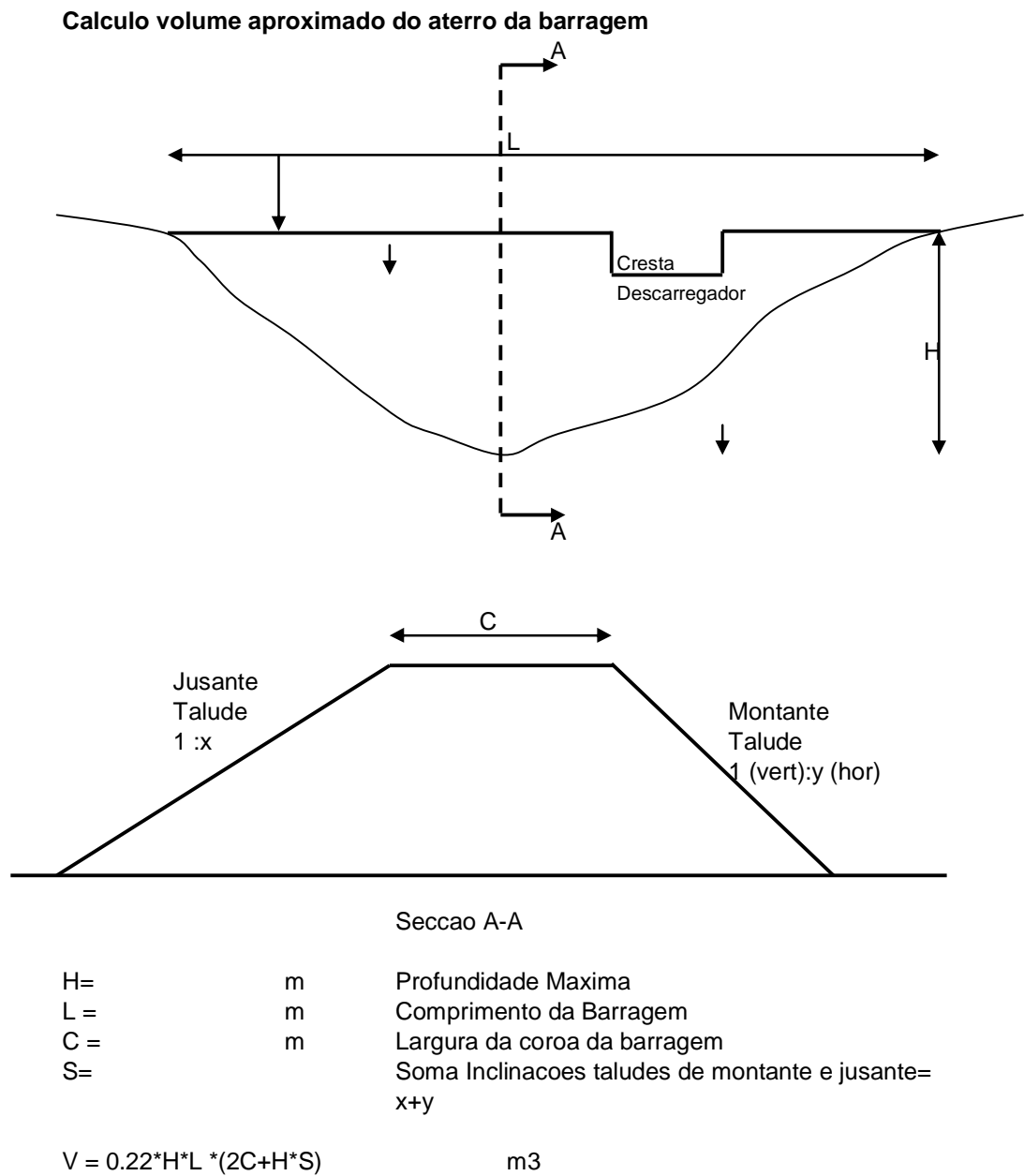
Values for the runoff coefficient C in $Q = CiA$

Valores de C

			Sandy loam	Clay, silt loam	Dense clay
Forest	Slope (%)	0-5	0.10	0.30	0.40
		5-10	0.25	0.35	0.50
		10-30	0.30	0.50	0.60
Pastures	Slope (%)	0-5	0.10	0.30	0.40
		5-10	0.15	0.35	0.55
		10-30	0.20	0.40	0.60
Arable land	Slope (%)	0-5	0.30	0.50	0.60
		5-10	0.40	0.60	0.70
		10-30	0.50	0.70	0.80

Manual de Dimensionamento de Regadios

FIGURA 10.2 Cálculo aproximado do volume do aterro de Barragem



11. CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Na construção de sistemas de irrigação há quatro aspectos cruciais inter-relacionados:

1. A Tradução do projecto dimensionado em exigências construtivas.
2. A Modalidade da construção e execução
3. A Supervisão da construção e o controlo de qualidade
4. Os Custos de construção

Nas seguintes secções estes aspectos são discutidos em detalhe.

11.1 A tradução do projecto dimensionado em exigências construtivas. Ligando o dimensionamento e a construção de sistemas de irrigação

Depois de finalizar o dimensionamento do sistema de regadio é necessário de traduzir o dimensionamento em exigências construtivas que prescrevem exactamente o que têm que ser construídos e como. Esta é uma exigência absolutamente necessária para a construção da qualidade (veja a CAIXA 11.1). Implica a preparação de um documento que contém uma descrição do trabalho detalhado, especificações técnicas (construção, equipamento), desenhos e um mapa de quantidades ('bill of quantities'). Este documento (caderno de encargo) serve como a parte específica dos documentos de concurso em caso dum concurso público de obras de regadio. Este documento específico de concurso constitui a base para uma construção com a qualidade desejada.

Na descrição detalhada do trabalho, nas especificações e nos desenhos técnicos são definidos o que tem que ser construída com os seus dimensões e níveis, são definidos critérios de qualidade referentes à construção das obras de terraplenagem (canais) e obras de construção civil e o equipamento (unidades de bombagem) a ser instalado. Neste documento é indicado também que testes e ensaios têm que ser executados para controlar a qualidade. Na construção de regadios pequenos, testes e ensaios são normalmente limitados a um controle da compactação dos aterros (comparados à densidade de Proctor), da força da compressão do betão (cubos de teste), da perda de água na tubagem enterrada e do controlo do equipamento. No projecto de SSIP algumas dúvidas surgiram sobre a qualidade do equipamento mas não foi possível de remover estas dúvidas porque esta reivindicação não foi mencionada nos documentos de concurso. Por isso, para o equipamento instalado, é necessário reivindicar um certificado original do fabricante que assegura que o equipamento fornecido (número da fábrica, ano da manufactura etc.) é mesmo feito para este fabricante e que a qualidade deste equipamento foi controlada.

Manual de Dimensionamento de Regadios

O mapa de quantidades é a base para a estimação dos custos para o contratante e o proprietário do regadio ou da organização do projecto de regadio. Na declaração introdutória (preâmbulo) da mapa de quantidades deve ser descrito sem nenhuma ambiguidade como o volume de actividades e de trabalhos da construção são medidos.

CAIXA 11.1 Caderno de Encargos: instrumento básico para construção

Caderno de Encargos: instrumento básico para construção

Diversos projectos de irrigação de algumas instituições pertencentes ao Ministério da Agricultura tiveram um mau começo, logo desde o início. A viabilidade destes projectos não foi avaliada, as vezes, as ideias sobre que precisa ser feito são vagos e incompletos, nenhum dimensionamento técnico foi feito, e não se usou procedimentos claros de concurso e de adjudicação. Na fase de construção, problemas de qualidade e outros problemas emergiram e as vezes terminaram em conflitos entre o dono do projecto e o empreiteiro. Uma das principais causas foi a ausência dum Caderno de encargo ou a presença dum caderno de encargo mal elaborada. Sem uma descrição clara de trabalho e especificações técnicas, o empreiteiro constrói como ele entende, normalmente, em seu benefício, sem qualquer garantia de qualidade. Por outro lado, sem boas especificações técnicas, a fiscalização é muito difícil, se não impossível. Se as obrigações contratuais não estão bem definidas, práticas de corrupção podiam ser provocados. Um Caderno de encargo bem elaborado é um requisito básico para uma boa prática de construção. Admitindo que, mesmo com um caderno de encargo bem elaborado, problemas na interpretação da construção podem surgir, não é difícil de imaginar quais problemas podem surgir sem este documento.

Exemplos de cadernos de encargo com especificações técnicas (construção de aterros, obras de regadio, equipamento), desenhos e medições se encontram nas REFERENCIAS 70, 71 e 72 que podem servir como guias padronizadas para cadernos de encargo para a construção de projectos similares.

11.2 Modalidades da implementação e da construção

Nos projectos de rega (p.e SSIP), a construção de sistemas de irrigação é sujeita a um concurso público e o acesso a este concurso é limitado exclusivamente a empreiteiros, muitas vezes imposto por os financiadores. Contudo, a experiência do projecto de SSIP mostra que a modalidade de execução mediante concurso público para construção de pequenos regadios e obras de irrigação poderia seriamente ser questionado. A suposição em que o procedimento de concurso público é justificado, a saber que essa competição entre contratantes conduzirá automaticamente a mais qualidade e custos mais baixos, poderia ser seriamente ser questionado e desafiado no caso de Moçambique, pelo menos para construção de pequenos regadios, dispersos no campo.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Como razões principais podem ser mencionadas:

- Neste momento quase não há empreiteiros que são especializados na construção de sistemas de irrigação nem existe um mercado com perspectivas estáveis para este tipo dos trabalhos. Além disso, os empreiteiros grandes não são interessados para construir estas obras relativamente pequenas e os pequenos empreiteiros locais não são qualificados ou não podem cumprir as exigências (financeiras e administrativas) dos procedimentos de concurso público. Os procedimentos rígidos da aquisição e os pagamentos frequentemente atrasados atraem somente um grupo restrito de empreiteiros;
- Na experiência de SSIP, muitas vezes os empreiteiros mostraram no processo de construção uma ineficiência gritante.
- A dispersão dos sistemas de rega e a distância grande das áreas urbanas conduzem a custos elevados de transporte e de mobilização para os empreiteiros. Estes custos numa base de hectares aumentam ainda mais quando os esquemas são de menor dimensão.
- Em seus preços os contratantes incluem o risco dum pagamento atrasado ou o não pagamento do VAT pelo governo.

Uma discussão profunda é preciso se este modelo da execução e da construção de sistemas de irrigação pequenos por empreiteiros for o mais apropriado e/ou que circunstâncias tenham que ser criadas para que este modelo pode funcionar bem.

Outras maneiras da execução e da construção de pequenas obras da irrigação necessitam ser considerados e discutidos seriamente. Pode-se pensar, por exemplo, sobre as seguintes alternativas para a execução de trabalhos da construção:

- Administração directa por uma organização do projecto (reforçado pela assistência técnica) e produtores locais utilizando métodos de construção em base de uso intensivo de mão de obra. Esta era já uma prática sabida quando nos anos 1980-90s existiram unidades autónomas do desenvolvimento de irrigação (Núcleo provincial de Hidráulica Agrícola), integradas nas Direcções Provinciais da Agricultura. Após a identificação, dimensionamento e arranjar recursos financeiros, estes núcleos orientaram e executaram as obras da irrigação directamente alugando equipamento e empregando populações locais. Mas os Núcleos Provinciais de Hidráulica Agrícola foram liquidados gradualmente durante os últimos 15 anos.
- Construção por empreiteiros locais ou por grupos locais da construção (por exemplo, no distrito de Malema existe um grupo de camponeses que sabe construir açudes, mas este grupo não tem acesso aos concursos públicos porque não tem alvará) que serão treinados em fazer propostas, procedimentos e questões técnicas (principalmente construção e compactação de canais etc.) e determinação de preços reais baseado em recursos usados. Ao mesmo tempo o acesso aos concursos públicos deve ser facilitado removendo os obstáculos burocráticos e financeiros.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- Contratação de serviços ('outsourcing') que envolvem todos componentes (projecto, construção, organização social, O&M, treinamento, ensaios dos pacotes tecnológicos mais apropriados etc.) dum projecto, localizado numa região específica a um fornecedor de serviços que consiste num consorcio de empresas que permanecerão durante um período longo nesta região e têm a capacidade de executar um plano integrada do desenvolvimento de irrigação nesta área. O fornecedor de serviço/organização implementadora será seleccionado mediante concurso. Na execução das obras (sistemas de irrigação, estradas terciárias, etc.) se usa intensivamente a mão de obra existente na área (escavação e construção de canais da irrigação, reabilitação e construção de estradas terciárias etc.). O fornecedor de serviço necessita constituir uma brigada técnico (com algum equipamento de construção) que dirige a construção. Empreiteiros serão seleccionados somente para os trabalhos específicos que não podem ser executados pela brigada técnica. O dono do projecto (instituição do governo) organiza a fiscalização. A vantagem grande deste modelo da execução é que o processo do desenvolvimento é integral. A perspectiva ao longo prazo dá a oportunidade de desenvolver métodos da construção de baixo custo.

11.3 Fiscalização & Controlo de qualidade

No processo da construção, particularmente aquele envolvendo empreiteiros, a fiscalização e o controlo de qualidade são cruciais. A função da fiscalização é garantir que o contratante constrói o trabalho de acordo com as exigências do 'proprietário' do sistema de irrigação.

A base para a fiscalização é o caderno de encargo (descrição do trabalho, especificações técnicas e desenhos). Nas pequenas obras de irrigação, os seguintes elementos merecem uma atenção especial da parte da fiscalização:

- Construção dos canais da irrigação (particularmente a compactação de aterros)
- A qualidade do betão nas estruturas da irrigação
- As dimensões e os níveis/ as cotas requeridos das obras da irrigação

A qualidade e exactidão destes elementos necessitam de ser controlados por testes e ensaios (compactação de aterros e resistência de betão) e por medição.

O 'proprietário' do sistema de irrigação necessita de atribuir autoridade e meios suficientes aos fiscais para fazer o seu trabalho.

Particularmente os seguintes pontos da atenção podem ser mencionados:

- A falta de meios financeiros para fazer testes alternativos independentes em caso que surgem dúvidas sobre os resultados dos testes que são dados pelo empreiteiro. Em alguns projectos do SSIP tinha havido dúvidas sobre a imparcialidade da organização que fez o controlo da compactação de aterros dos canais.
- Os períodos muito longos da construção, muitas vezes duas ou três vezes mais do que no contrato. Isto aumenta também muito os custos da fiscalização.

Manual de Dimensionamento de Regadios

A REFERENCIA no. 69 é um manual muito prático para cada técnico envolvido na adjudicação, construção e fiscalização de obras.

11.4 Os Custos da Construção

Um princípio principal do dimensionamento é que o sistema de irrigação necessita ser dimensionado de tal maneira que pode ser construído a baixo custo, tomando em conta os recursos locais disponíveis e os métodos disponíveis da construção.

No projecto de SSIP este princípio era muito problemático de implementar para as razões já mencionadas, ligadas a imposição que as obras necessitam ser executados e construídas por empreiteiros através de concurso público. Talvez esta modalidade de construção funcione bem em obras especializados e concentrados com elevado valor (represas, estradas etc.), mas o projecto SSIP mostrou claramente que este não é funcional na construção de pequenas obras dispersos da irrigação, tomando também em conta o sector subdesenvolvido de construção em Moçambique. Esta imposição representa tipicamente um procedimento inapto que seja comparável a adaptar o pé à sapata em vez da sapata ao pé.

Naturalmente a pergunta levanta-se como a construção de trabalhos ('small-scale') da irrigação poderia ser menos custosa e/ou melhorada.

As seguintes ideias e sugestões podiam ser mencionadas e discutidas:

- Outras formas da execução.

Em vez de limitar-se a uma modalidade da execução (concurso público e empreiteiros) se poderia pensar em outras formas da execução, mencionados já em secção 11.2.

- Concentração dos trabalhos.

Um dos problemas é a dispersão dos trabalhos pequenos que conduzem aos custos elevados de mobilização. Se pode talvez melhor pensar sobre uma concentração de trabalhos na mesma região.

- Estimação de custos na base de recursos usados.

A estimativa dos custos em base de recursos usados são a referência para a determinação dum limite ou dum tecto dos custos da construção. Este tecto podia ser mencionado nos documentos de concurso. Isto supõe a disponibilidade dum base de dados c/ custos de diversos trabalhos e componentes de obra. Em sistemas de canais, a construção dos aterros para canais é o item mais caro.

Por outro lado deve ser reservado um orçamento amplo (10% de custos da construção) para contingências porque é impossível definir em detalhe todas as actividades e saber todas as (mudanças de) circunstâncias de antemão, por exemplo, a mudança dum leite do rio (que num caso foi a causa para a mudança dum lugar de bombagem), a inundação inesperado de uma estação de bombagem etc.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- Compartilhar o custo de investimento entre fundos públicos e os recursos da associação de regantes

Embora foi previsto no projecto de SSIP que as associações de regantes tiveram que fazer uma contribuição (pequena) aos custos da construção, na realidade isto quase não aconteceu por razões diferentes. A razão mais importante era erros na fase da identificação com pressão 'política no meio de construir isto ou aquilo, mas não baseado num pedido genuíno dos camponeses e num compromisso dos camponeses na contribuição aos custos na construção e na operação dos sistemas.

Uma excepção notável foram as associações dos regantes em Lioma. Excepto o fornecimento de motobombas e de tubos por SSIP, as associações fizeram próprios os seus sistemas com alguma assistência técnico do PIU de Zambézia.

Mas levanta também a questão fundamental da relação custo vs. qualidade neste tipo de pequenas obras de irrigação. No SSIP se quer uma qualidade elevada da construção que é logicamente mais custosa. Isto é reflectido em especificações técnicas detalhadas no caderno de encargo, incluindo a testagem da compactação e a resistência de betão no laboratório. Isto é acompanhado para uma fiscalização apertada.

Por outro lado, o exemplo das associações de camponeses em Lioma mostra que se pode construir canais funcionais, que a construção é muito menos custosa, mas também tem menos qualidade, por exemplo, os canais não são dados um perfil certo, a compactação é deficiente etc. Tomando em consideração todos os estrangulamentos e problemas no desenvolvimento de pequenos sistemas de irrigação, talvez a qualidade da construção é um problema menor, principalmente quando as associações de regantes próprios constroem. Além disso, com alguma assistência técnica (topografia) e ferramentas (principalmente para a compactação), a qualidade de construção pode ser melhorado.

- Melhorias específicas no processo da construção por empreiteiros.

- . Melhorando documentos de concurso, por exemplo, introduzir um artigo que reivindica um certificado original do fabricante do equipamento fornecido.
- . Necessidade duma definição clara de períodos de construção e de multas a aplicar quando ultrapassar estes períodos. Isto diminuirá também os custos da fiscalização.
- . Melhorando a fiscalização e aumentando os recursos, p.e. para fazer testes alternativos independentes em caso de duvidas.

Manual de Dimensionamento de Regadios

PARTE 4 EXPLORACAO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO, RELACAO COM DIMENSIONAMENTO

12. EXPLORACAO de SISTEMAS de IRRIGACAO

12.1 Relação entre o dimensionamento e a exploração de sistemas de rega

Como discutido no capítulo 3, existe uma relação estreita entre o dimensionamento e a Operação e Manutenção (O&M) dum sistema. No contexto da irrigação de pequena escala com recursos financeiros limitados e uma habilidade da gestão limitada para operar e manter sistemas, formulou-se a tese que o dimensionamento de sistemas de regadio deve partir dos seguintes princípios:

- Custos baixos de exploração (O&M)
- Uma distribuição transparente da água
- Modo simples de compartilhar os custos

Estes princípios do projecto devem ser reflectidos na exploração do sistema.

Condições reais de operação vs. Condições de dimensionamento

Um sistema de irrigação é dimensionado para fornecer água suficiente a um padrão intensivo de cultivo sob condições (severas) da seca. Isso implica que as condições operacionais reais são normalmente diferentes das condições na base de dimensionamento por causa dos padrões altamente variáveis de precipitação. Por exemplo, o sistema de irrigação do arroz de Mandruzi Gappo em Sofala não estava funcionando durante os anos 2005-2006, principalmente por causa de padrões favoráveis de precipitação. Mas mais importante, há outros três factores inter-relacionadas e inseguras em jogo que fazem que as condições operacionais reais poderiam ser muito diferentes das condições na base de dimensionamento do sistema.

Estes factores são:

- Intensidade da produção (área irrigada real e padrão de cultivo)
- Horas de bombagem: depende muito da intensidade da produção
- Eficiências da irrigação: se forem mais elevadas do que a eficiência suposta, menos horas de bombagem são necessárias para a mesma quantidade líquida da água da irrigação, se forem mais baixas é o oposto.

Nesta época em Moçambique o problema mais proeminente dos sistemas de irrigação é a subutilização do potencial dos sistemas, que tem a sua expressão numa intensidade baixa da produção. O uso do sistema ou a intensidade da irrigação depende de muitos factores fora do sistema físico de irrigação e do seu código técnico (dimensionamento). Estes factores encontram-se normalmente no contexto em que a irrigação está funcionando, como os mercados, acesso ao crédito, na disponibilidade da força de trabalho, na disponibilidade do dinheiro liquido para comprar o combustível etc. Além disso, muitas associações de regantes nos sistemas de irrigação de SSIP estão em ‘statu nascendi’ e não

Manual de Dimensionamento de Regadios

consolidado. Para muitas associações de regantes, a irrigação em moldes colectivas é um fenómeno desconhecido, a organização e as regras da operação são 'em construção'.

Mas algumas perguntas básicas podiam já ser levantadas. Por exemplo, um membro quem tem uma parcela num sistema de irrigação mas não usa ou rega a sua parcela, ele tem que contribuir aos custos de exploração (há custos fixos, por exemplo manutenção, independentemente do uso do sistema de irrigação) ou não? O não uso do sistema de irrigação devia ser multado ou não?

A introdução da agricultura irrigada, como uma empresa, no sistema agrária camponesa requer algumas mudanças básicas na modalidade da produção. A agricultura irrigada envolve recursos em termos do trabalho e capital e uma parte maior da produção precisa de ser comercializada, pelo menos quando os recursos envolvidos têm custos monetários. Além disso, os rendimentos de culturas precisam ser mais elevados do que na agricultura de sequeiro para justificar os investimentos. Também mudanças na organização social são necessárias. A gestão, a operação e a manutenção dum sistema de irrigação requerem habilidades novas e outras maneiras da organização com formas novas de confiança, de relações e de mecanismos do controle.

12.2 Manual de Exploração

Um sistema de irrigação particular necessita o seu próprio manual específico de Exploração (O&M) porque cada sistema de irrigação é específico e diferente do outro por causa de circunstâncias naturais locais (disponibilidade de água, condições topográficas, solos etc.) e o contexto social de regantes em que a irrigação é encaixado. No seguinte é apresentado um esboço dum manual de Exploração.

1. Introdução: factores principais para melhorar o uso e o desempenho do sistema.
2. O dimensionamento do Sistema: o dimensionamento como um código técnico para o uso do sistema; descrição como o dimensionamento contribui para minimizar custos de exploração, uma distribuição transparente da água e um compartilho simples de custos
3. Operação de sistema: níveis da operação; descrição de operação de sistema mais apropriado e discussão de maneiras sub-optimais de operar o sistema
4. Maneiras de melhorar a eficiência da irrigação: configuração do campo e limitação de perdas de água
5. Manutenção do Sistema: actividades da manutenção e cuidadas no sistema
6. Organização social dos usuários da água: razões para a necessidade de um tipo novo de organização; descrição das tarefas e responsabilidades da organização do O&M; discussão de critérios para o estabelecimento da taxa de exploração
7. Estimação de custos de exploração: especificação de custos do O&M e uma estimativa da taxa de exploração

Manual de Dimensionamento de Regadios

8. Intervenções e relações (inter-) institucionais: objectivo e coordenação de intervenções institucionais, tarefas de cada instituição

Exemplos de Manuais de exploração de vários tipos de sistemas de irrigação se encontram em REFERENCIAS 75-79.

12.3 Assuntos e factores críticos na operação e manutenção de sistemas de irrigação de escala pequena

12.3.1 Tipo de sistema

Quando os sistemas de bombagem, particularmente os sistema de irrigação, tipo 1 (bomba + canais abertos+ métodos superficiais de irrigação, o tipo mais frequentemente encontrado) e tipo 2 (bomba + tubos + hidrantes + mangueiras) são comparados com os sistemas da gravidade, tipo 3 (açude de diversão + canais abertos + métodos superficiais de irrigação), há uma diferença clara na natureza de exigências do O&M o que é ligada directamente a mobilização dos recursos em comunidades de camponeses.

É uma característica geral de comunidades de camponeses - particularmente nas comunidades em que as relações comerciais são fracas ou secundárias- que o mobilização de recursos na forma do trabalho manual directo pelos camponeses é mais comum do que na forma de recursos financeiros. Os camponeses têm em geral menos problemas para limpar ou escavar uma vala ou um canal do que contribuir dinheiro para a manutenção duma bomba. Uma razão importante para esse fenómeno é que no trabalho colectivo cada pessoa monitora directamente a presença da outra e vice-versa, enquanto contribuições monetárias e a utilização destas não podem ser controladas directamente por cada uma. No último caso há necessidade de outras formas de controlo, mais indirectas (contabilidade, auditoria) que indicam que o dinheiro foi utilizado bem conforme os objectivos para que as contribuições são destinadas.

Essa diferença entre a mobilização dos recursos explica que o operação e manutenção (O&M) dum sistema de gravidade c/ açude (tipo 3) é geralmente menos problemática do que dum sistema de bombagem. A maior parte de actividades do O&M em sistemas da gravidade resume-se à limpeza (ervas daninhas e sedimentos) e a conservação dos canais da irrigação o que podem ser feitos pelo trabalho manual colectivo. A derivação e a distribuição da água quase não envolvem custos. Em resumo, num sistema da gravidade os custos monetários são mínimos.

Ao contrário, a irrigação com motobomba requer um nível de confiança mais elevado e diferente entre membros, requer dum novo tipo de organização e a aquisição de habilidades novas (contabilidade, operação da bomba e manutenção). Isto implica uma divisão de trabalho para tarefas diferentes, uma distribuição de água mais organizada (introdução dum calendário de rega), fazer registos, contabilidade, a determinação da taxa de exploração e a colecção das taxas. É importante de saber que as taxas necessárias para cobrir as despesas do O&M são muita mais alta e necessita um outro tipo de controlo do que as contribuições que os camponeses costumam pagar como taxa mensal para ser um membro duma associação (10-25 MTn/mês).

Manual de Dimensionamento de Regadios

12.3.2 Condições para utilização dum sistema c/bombagem

Para utilizar um sistema c/ bombagem da maneira mais eficaz e eficiente uma série de condições são requeridas, que são discutidas nesta secção (veja também CAPITULO 3):

Uso geral (individual e colectivo)

- Disponibilidade de Água

Os caudais extraídos para uma motobomba típica para sistemas ate 10 ha andam na ordem de 7-20 litros/seg. São muito maiores que o caudal dum bomba pedestal. Isto condicione o seu uso: precisa uma fonte de água que fornece este caudal. São fontes de água superficial (rio, lagoa); captações de água subterrânea (poços) normalmente não podem fornecer estes caudais.

- Configuração do terreno

A superfície que se pode regar com uma motobomba típica depende do caudal da bomba e as horas que a bomba funcione. Se pode calcular que uma bomba com um caudal de 8 litros/seg que trabalha 6 horas por dia pode regar uma superfície à volta de 3 há no período Maio-Junho. A configuração (adaptação do terreno a rega) dum terreno de 3 há é mais complexa que a adaptação duma parcela de 0.3 ha (normal para uma bomba pedestal). Estas diferenças incluem:

- . mais canais de campo,
- . canais de transporte que alimentam os canais de campo. Estes canais têm dimensões maiores porque transportam caudais maiores; os aterros são mais altos e volumosos; para evitar infiltrações excessivas devem ser bem compactadas.
- . obras simples (caixas de tranquilização/ divisão etc) para tranquilizar e dividir o caudal da bomba;
- . seria ideal de fazer um levantamento topográfico do terreno como apoio para definir a configuração melhor do terreno e determinas as alturas dos aterros etc

Se o terreno não é bem adaptado à rega, só se pode regar uma área menor e desta maneira a motobomba fica subutilizada.

- Selecção correcta de características técnicas e eficiência da motobomba

Esta condição é crítica para minimizar os custos de exploração, nomeadamente para um consumo de combustível mais alto que necessário (Veja CAPITULO 7).

- Necessidade de produzir p/ mercado

No uso duma motobomba não se pode somente produzir para as necessidades de alimentação. Obrigatoriamente se deve produzir para mercado, pelo menos para cobrir os custos monetários do processo de produção, principalmente os custos de combustível.

- Disponibilidade de dinheiro vivo

Para uma motobomba funcionar é preciso inevitavelmente dinheiro vivo na bolsa (quer de próprios recursos quer créditos ou empréstimos) para comprar combustível. Na prática esta condição é muito problemática, parece que dinheiro vivo é um recurso muito escasso. Por isso muitas vezes a motobomba funcione poucas horas, às vezes irregular (não em função das necessidades de rega mas quando há dinheiro) e conseqüentemente se rega superfícies muito menores que as potenciais.

- Conhecimentos de operação e manutenção da motobomba

É claramente uma condição crítica mas na prática os conhecimentos de muitos operadores são fracos. Trata-se também de condições para efectuar uma operação e manutenção correcta como bidões limpos, funis, ferramentas etc.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- Disponibilidade de peças sobressalentes e facilidades de reparação
Também é uma condição crítica que muitas vezes não existe no local.

- Maior volume de produção e riscos de mercado
Há necessidade de escalonar a produção e colheitas para escoar nas épocas favoráveis de mercado.

- Equilíbrio entre recursos usados no processo de produção
Os diferentes recursos têm que ser mutuamente ajustados. A área de rega deve ser adaptada a capacidade de motobomba (e disponibilidade de água no fonte) e a disponibilidade da força de trabalho. Se a área é pequena demais (que implica poucas horas de funcionamento de motobomba) uma outra tecnologia (p.e bomba pedestal) pode ser usado com menos custos. A rega com motobomba também implica também a necessidade de uso de mais força de trabalho para divisão e aplicação de água de irrigação .

- qualidade de amanhos culturais elementares
Para uma rentabilidade máxima da água de irrigação é preciso uma intensificação do uso de terra. Isto implica o uso de mais força de trabalho para os amanhos/ cuidados culturais como p.e uma boa preparação da terra e arrancar os ervas infestantes (p.e. chichirica) que competem com a cultura a água e os adubos. Isto é particularmente importante na rega c/ motobombas que tem custos de exploração altos.

Condições adicionais p/ uso colectivo

- Um nível mínimo de confiança entre membros (controle indirecto)
Controlo indirecto substitui o controlo directo que implica um nível maior de confiança entre os membros duma associação

- Organização + divisão de tarefas
O controlo indirecto implica um novo tipo de organização e divisão de tarefas de gestão, operação e manutenção (exploração)

- A capacidade de fazer registos (consumo de combustível, horas de rega etc), fazer contas e gerir a fundo de exploração.
Esta capacidade é necessária para a exploração da motobomba e área regada e cobrir os custos de exploração (calculado de taxas de rega, colecção de taxas etc).

- Conhecimentos de gestão colectiva de água
Uma distribuição de água eficiente implica a introdução (e aderência) dum calendário de rega. Na prática é muito comum que todos querem regar no mesmo tempo da maneira que o caudal de rega se divida em quantidades pequenas que causa perdas altas por infiltração. Esta prática altamente ineficiente (também para a produtividade de trabalho) deve ser substituída para a rotação do caudal de rega (concentração na aplicação) que implica a introdução dum calendário de rega.

Poder-se-ia prever que se estas questões não fossem resolvidas e estas condições não fossem criadas antes da construção, este tipo de sistemas trabalhará deficientemente.

12.3.3 Adaptação mútua do calendário da irrigação e do calendário agrária

Manual de Dimensionamento de Regadios

Em caso que água durante algum período do ano não é suficiente para a irrigação é necessário adaptar os planos da produção e o calendário de culturas a esta realidade. Na maioria de casos isto se resume a plantar mais cedo a fim de finalizar o desenvolvimento da cultura antes que a água termina na fonte.

12.3.4 Níveis da operação

Na gestão de sistemas de irrigação, vários níveis e maneiras da operação podem ser distinguidos.

Estes níveis são os seguintes:

- Uso da fonte de água

Já foi mencionada a adaptação do calendário agrícola e da área de cultivo à disponibilidade da água. É também possível que mais sistemas de irrigação usam a mesma fonte de água (por exemplo sistemas de Metuchira). No período de escassez da água há necessidade de criar um mecanismo de atribuição para dividir a água disponível sobre os sistemas de irrigação diferentes, por exemplo, de atribuir um certo número de dias por semana a cada sistema de irrigação. Em caso que a mesma fonte tem também outros usos (água de beber, lavagem, gado etc.) estes interesses precisam ser respeitados. Às vezes um fluxo mínimo é requerido para finalidades ecológicas (caudal ecológico).

- Equipamento comunal: unidade da bomba ou represa da diversão.

Uma coordenação estreita é preciso entre os grupos de regantes que usam canais diferentes da distribuição (sistema de irrigação: tipo1) ou hidrantes (tipo 2) na decisão sobre o número de horas diárias, semanais e mensais de bombagem. Normalmente nos sistemas de irrigação, tipo 1, há uma divisão automática de água bombeada através de vertedores numa caixa de distribuição. Nos sistemas de irrigação, tipo 2 a divisão do caudal da bomba é também automática (caudais de mangueira iguais dentro de um intervalo máximo de 10%) por intermédio duma pressão aproximadamente igual nos hidrantes (dentro de uma amplitude máxima de 20%, veja CAPITULO 9).

Isto implica que o padrão de cultivo e as partes irrigadas de diferentes blocos de irrigação necessitam de ser sincronizados aproximadamente. Os custos do O&M, incluído a limpeza periódica do local da fonte da água, devem ser suportados proporcionalmente pelos grupos de regantes nos diferentes blocos de irrigação.

- Facilidades de uso comum: linhas de transporte (canais ou tubos), caixas de distribuição, pontecas etc.

Os custos de manutenção destas facilidades necessitam de ser suportados proporcionalmente pelos grupos de regantes no nível dos canais da distribuição (tipo 1) ou no nível dos hidrantes (tipo 2).

- Canal da distribuição (tipo 1) ou linha de tubagem de distribuição c/ hidrantes (tipo 2).

As parcelas são regadas de acordo com a programação da irrigação. A distribuição da água dentro dum bloco da irrigação é independente dos outros blocos. Dentro de cada

Manual de Dimensionamento de Regadios

bloco da irrigação é possível de trocar turnos de irrigação ou usar os turnos de irrigação de outros regantes em arranjos entre dois regantes sem prejuízo para outros regantes.

- Parcelas

A irrigação de cada parcela é a responsabilidade de cada regante.

12.4 Organização da associação de regantes

Para criar e sustentar um sistema de irrigação funcional gerida pela associação de regantes é necessário:

A. Uma organização centrada nas actividades a ser executadas: a associação de regantes deve ser capaz de executar todas as tarefas e actividades necessárias para um funcionamento adequado do sistema de irrigação e garantir sua reprodução, particularmente no que diz respeito à determinação e da colecção de uma taxa do O&M.

B. A associação da regantes deve ser transparente a respeito da gestão do sistema de irrigação e os custos & benefícios para os seus membros.

Ad A.

Para um funcionamento adequado do sistema de irrigação é necessário que uma associação de regantes executa todas as tarefas e actividades relacionadas com a O&M do sistema, especialmente a operação e a manutenção da motobomba, a distribuição da água e a manutenção dos canais da irrigação. Além disso, é necessário determinar e cobrar a taxa do O&M para pagar os custos de exploração.

Para executar estas tarefas os seguintes elementos chaves organizacionais são necessários:

1. Operadores de motobombas que garantem um bom funcionamento da bomba & motor. Necessitam também de registrar horas de bombagem e consumo de combustível. Têm tarefas executivas da responsabilidade grande que justificam um salário.

2. Pequenos comités (1 a 2 membros) de cada bloco da irrigação servido por um canal da distribuição. São responsáveis para a execução da programação da água da distribuição e da irrigação em seus blocos da irrigação, incluída a troca de turnos, e que atendem os problemas que poderiam surgir. Estes comités avaliam a necessidade para a limpeza dos canais. Se relevante, poderiam ser carregados com registrar as horas que cada regante no bloco da irrigação recebe a água e a tempo de enchimento do canal de rega no início do dia. Têm poder de decisão no nível de seu bloco da irrigação. Para a legitimação de suas decisões é necessário que estes comités são eleitos cada ano pelos regantes do seu bloco.

3. Gerentes ou assistentes da gerência que executam todas as actividades de apoio (logística, administração, financeiro, contabilidade) que são necessárias para o funcionamento sem problemas do sistema de irrigação, por exemplo, a aquisição, o transporte e o fornecimento regular do combustível à motobomba de tal maneira que pode funcionar nas horas planificadas sem interrupções. Uma outra tarefa crucial é o

Manual de Dimensionamento de Regadios

registro e o cálculo dos custos do O&M em cada ano (para isso um sistema de contabilidade simples preciso ser organizado), e a taxa correspondente do O&M. São também responsáveis para a coleção das taxas do O&M dos regantes. Têm tarefas executivas de responsabilidade grande que justificam um salário. Necessitam algum conhecimento/ saber-fazer específico (contabilidade simples). Em sistemas pequenos, a sua função podia ser combinada com a tarefa do operador da bomba.

4. O comité de gestão do sistema de irrigação. Este comité tem a responsabilidade final sobre a gestão do sistema inteiro, tem poderes de decisão, do controle e de fazer regras (operacional e estratégico) e é legitimado por seus membros. Suas tarefas incluem o seguinte:

- as decisões sobre as questões que ultrapassam o nível do canal da distribuição, por exemplo, sobre as horas de bombagem por dia e por semana, dependente das condições da humidade das parcelas cultivadas.
- o controle sobre o trabalho dos gerentes do sistema e dos operadores da bomba.
- o controle sobre o registro e o cálculo de custos do O&M e taxa do O&M por cada ano.
- o controle sobre a coleção de taxas do O&M dos membros.
- fazer regras. Há muitas questões que necessitam de ser resolvidas, por exemplo, quando parcelas com infra-estrutura de rega instalada não são usadas ou somente incidentalmente. Os membros quem por uma ou outra razão (doença dos membros, falta do interesse, falta do dinheiro etc.) não regam as suas parcelas têm que contribuir aos custos do O&M (há custos fixos, por exemplo manutenção, independentemente do uso do sistema de irrigação) ou não? Não-uso do sistema de irrigação será multado ou não? Há também questões na esfera da distribuição da água: a flexibilidade da programação, por exemplo, que fazer se uma semana depois uma chuva todos os regantes querem água no mesmo momento? etc. etc..

A comité de gestão deve ser constituído em função das tarefas mencionadas. O comité deve incluir pelo menos uma representação dos pequenos comités no nível dos canais da distribuição. Também alguns membros necessitam de ser eleitos que terão tarefas específicas, por exemplo, o controlo de gestão financeira etc. Pelo menos uma vez por ano uma reunião com todos os membros necessita de ser organizada para apresentar contas anuais. Periodicamente devem ser organizadas eleições dos membros do comité.

Ad B.

Dois princípios críticos de dimensionamento institucional são condições básicas para o sustentabilidade dos sistemas de irrigação geridos por os seus próprios membros:

- Os limites do sistema de irrigação necessitam de ser definidos exactamente, não somente fisicamente mas também em termos de quem é regante, o seu status, suas obrigações (pagamento de taxa do O&M, não prejudicar outros regantes etc.) e as direitas (votar e ser votado). Isto implica que a direita ao uso da terra deve ser garantida e a propriedade de cada parcela é bem definida.
- Deve haver uma proporcionalidade entre custos (a taxa do O&M que cada regante tem que pagar) e benefícios (a água da irrigação que cada regante recebe no espaço e no tempo). Este princípio parece simples e lógica mas sua implementação não é assim

Manual de Dimensionamento de Regadios

simples. Há critérios diferentes de proporcionalidade, cada um com as suas próprias condições da aplicação e custos.

No seguinte dois critérios óbvios (mas há mais) são discutidos.

- a. O critério mais justo parece a determinação de uma taxa do O&M por m³ da água recebida ou uma taxa do O&M por ha por hora da irrigação, dado o fato que uma hora da irrigação representa uma quantidade mais ou menos fixa da água. Nesta maneira quem rega mais intensivamente a(s) sua(s) parcela(s) paga mais e vice-versa. Isto parece lógica, mas a implementação deste critério tem muitas implicações e complicações nas associações de camponeses em Moçambique.

Um registro exacto do momento e tempo de irrigação para cada parcela é necessário, este registro precisa de ser controlado e verificado, eventualmente corrigido para corresponder com as horas de bombagem. Também um registro exacto dos custos de O&M é requerido. Com estes dados uma taxa de O&M por hora por ha podia ser calculada e determinada. Nesta maneira a taxa do O&M é diferenciada por membro e parcela. A fim de que a associação de regantes possa executar estas actividades, alguns membros precisam ser treinados e acompanhados durante algum tempo. Para aplicar este critério, se necessita também recursos materiais tais como relógios, formulários e papel, esferográficas etc. Uma outra questão é a compensação (financeira) dos membros que são envolvidos nestas actividades. Serão pagas ou não? Se forem pagas, isto aumentará os custos do O&M e a taxa do O&M.

Em conclusão, embora este critério pareça o mais justo, é complexa para implementar e tem consideráveis custos (administrativo, organizacional etc). Para implementar este critério é realmente necessário criar, preparar e desenvolver um tipo novo de organização.

- b. Um outro critério de proporcionalidade podia ser a determinação de uma taxa uniforme do O&M por hectare. Neste caso todas as parcelas do mesmo tamanho pagam a mesma taxa do O&M, independentemente das horas da irrigação que uma parcela recebe. Este critério tem as seguintes vantagens:
 - uma simplificação dos processos do registro, do controle e do cálculo.
 - menos custos administrativos e organizacionais
 - necessita menos treinamento dos membros da associação
 - um critério mais simples de compreender para os membros da associação

Mas para que este critério responda ao seu objectivo (proporcionalidade entre custos e benefícios), há uma implicação importante: todas as parcelas do mesmo tamanho necessitam se beneficiar mais ou menos igual, isto significa que necessitam de receber mais ou menos a mesma quantidade da água. Este princípio de relação igual de custos e de benefícios pode ser encontrado mundialmente em muitos sistemas de irrigação geridos por regantes.

Manual de Dimensionamento de Regadios

Na base das considerações mencionadas acima pode ser concluído que o critério (b) é o mais apropriado para as associações de regantes, mas supõe o uso mais ou menos intensivo da área irrigada por todos os membros. Contudo, actualmente, a realidade na maioria de associações de regantes é diferente: somente alguns membros regam. Neste caso o critério (a) é o mais apropriado. Na prática, em muitas associações os membros não estão pagando taxa nenhuma, se alguém quiser regar, ele mete o seu próprio combustível na motobomba.

Mas esta modalidade rudimentar da organização - que representa um uso suboptimal do sistema de irrigação- poderia também levantar problemas. Surgem questões como: quem olha para a manutenção da motobomba e quem pagará pelas despesas? A mesma pergunta vem acima quando a motobomba necessita de reparação.

12.5 Custos de O&M e Taxa de Exploração

Em geral os custos da operação da bomba, particularmente os custos de combustível são a parte maior dos custos do O&M do sistema. Na maioria de lugares a única fonte de energia para as bombas é um motor diesel. No princípio a possibilidade existe para obter diesel subsidiado (50% do preço normal) se as associações tiverem um número fiscal (NUIT). Até agora esta possibilidade quase não é explorado pelas associações de regantes.

Os custos do O&M de bombas equipadas com motores eléctricos são muito mais baratos. É recomendável de tomar a presença da energia eléctrica como um critério de selecção explícito na fase da identificação.

Um outro aspecto crucial é a necessidade de dinheiro líquido para comprar combustível e cobrir outras despesas. A falta de dinheiro vivo explica para uma grande parte a subutilização dos sistemas.

O&M da motobomba

A motobomba é ao mesmo tempo o coração mas também o calcanhar de Aquiles de maioria de sistemas de irrigação. O O&M da motobomba é o elemento mais crítico do sistema (CAIXA ...).

Num sistema de SSIP (Niuice, na zona de Lioma) a unidade da bomba funcionou bem no período seco de 2005, mas no período seco de 2006 quando todos as parcelas já tinham sido plantadas, a unidade da bomba estava tão danificado (neste caso pelo negligencia pura) que os membros da associação de Niuice perderam todas suas colheitas.

É indispensável que os operadores da bomba são muito bem treinados em todos os aspectos práticos da operação e a manutenção da motobomba e são capaz de resolver os problemas normais que surgem. Necessitam também ferramentas apropriadas para executar suas tarefas.

Manual de Dimensionamento de Regadios

12.6 Distribuição da água

Nos sistemas de irrigação, tipo 1 e 2 se pode distinguir canais da irrigação com funções de transporte e de distribuição. Um canal da distribuição serve a um bloco da irrigação dividido em parcelas. Estas parcelas recebem o caudal do canal (que deve ser um caudal manejável) em rotação de acordo com uma programação. A duração duma rotação completa corresponde a um intervalo da irrigação.

A distribuição da água dentro de um bloco da irrigação é independente dos outros blocos. Dentro de cada bloco da irrigação é possível de trocar turnos de rega ou usar os turnos de rega de outros regantes em arranjos entre dois regantes sem prejuízo para os outros regantes.

A distribuição da água dentro de um bloco da irrigação pela rotação do caudal no canal da distribuição tem muitas vantagens na gestão do sistema. Num bloco da irrigação somente um regante (+ ajudantes) esta a regar num certo momento. Ele rega por um certo tempo de acordo com uma programação fixa. Isto faz o controle da rega fácil e diminui conflitos porque todos os regantes podem ver quem esta a regar naquele momento (controle debito).

Para cada canal da distribuição é necessário de fazer uma programação de rega no intervalo de rega. A implementação desta programação da distribuição supõe que todos as parcelas estão cultivados e precisam da água da irrigação. Nesta programação precisa-se de tomar em conta os tempos de enchimento do canal no início de cada dia. Em caso de canais não-revestidos o tempo de enchimento podia ser considerável. Consequentemente recomenda-se de regar o número máximo das horas por dia.

Na programação mais simples da distribuição, o caudal do canal faz uma rotação sempre na mesma sequência através do bloco da irrigação, preferencialmente dentro de um intervalo de rega que tem uma duração de uma semana. É recomendável de começar a rotação de jusante para montante, principalmente quando os canais não são revestidos. A programação da distribuição descrita acima é a mais simples, a mais transparente e com menos perdas de infiltração nos canais, mas é também a mais rígida.

Para flexibilizar a programação da distribuição, as seguintes adaptações poderiam ser feitas:

- Manter a mesma programação, mas mudar a sequência da rega das parcelas Isto pode acontecer quando se decide dar a prioridade as parcelas que estão secos (arroz!) e mais tarde aos outros que já estão húmidos. Esta opção tem também algumas desvantagens: os tempos de transporte de água poderiam aumentar por causa dos 'saltos' na programação que aumentam as perdas da infiltração no canal.

- Diferenciação de tempos da aplicação por unidade da área.

Em caso de canais não revestidos isto poderia ser justificado porque as parcelas no começo (a montante) do canal de distribuição têm vantagens com relação as parcelas no fim (a jusante) do canal de distribuição. As parcelas a montante recebem sempre a água de infiltração no canal e o canal precisa menos tempo de enchimento.

Manual de Dimensionamento de Regadios

- Regar até a parcela inteira recebeu água 'suficiente'.

Esta opção podia ser particularmente relevante para a primeira irrigação do arroz a fim de satisfazer as exigências especiais como a saturação e o estabelecimento duma camada da água. Isto tem vantagens para os primeiros regantes mas os últimos poderiam esperar um tempo longo antes que a água chegue nas suas parcelas da irrigação, particularmente, em caso que as parcelas não são bem niveladas e as partes mais elevadas estarão cobertas também com água.

12.7 Rega do campo

Há três aspectos importantes na irrigação do campo:

1. Preparação das parcelas

Em sua configuração ('lay-out') e gestão, um sistema de irrigação é estruturado em dois níveis:

- a. Nível de sistema (infra-estrutura da irrigação): da motobomba até a tomada/entrada da parcela.
- b. Nível de parcela: da tomada até os limites da parcela.

Para limitar os custos de investimento iniciais, o dimensionamento e a construção dum sistema de irrigação para camponeses/pequenos produtores é limitado ao primeiro nível (nível a), mas deve garantir que o nível de água nos canais e nas tomadas das parcelas é suficientemente elevado para poder cobrir toda área de parcelas regadas.

Geralmente as parcelas têm algumas irregularidades (micro relevo) porque não são niveladas. Isto significa que as parcelas necessitam de ser preparados a fim de poder regar a parcela inteira. Os regantes - a fim de regar eficientemente - necessitam de dividir suas parcelas em unidades de rega do campo (bacias, sulcos curtos etc.), construir canais do campo e fazer nivelamento no nível de unidades de rega no campo. Este processo poderia ser melhorado gradualmente com a experiência que os regantes estão a ganhar em tempo. A adaptação de parcelas a rega se elabora mais no Anexo 6 de REFERENCIA 75.

Além dos canais do campo, a rega pode ser facilitada usando outros dispositivos para a condução da água dentro do campo, particularmente:

- tubos que são ligados à tomada de campo
- sifões que podem tomar água do canal da distribuição em outros lugares que a tomada do campo.

Deve-se enfatizar que estes devem ser investimentos individuais ou colectivos dos regantes.

2. Parâmetros de programação

Manual de Dimensionamento de Regadios

Práticas boas de rega do campo requerem em aplicar a quantidade correcta da água de rega no momento certo. Isso significa que dentro de um intervalo apropriado da irrigação a parcela deve receber um caudal que possa ser manejado pelo regante durante um tempo certo da aplicação que representa uma quantidade suficiente da água (profundidade da aplicação). O regante tem que dividir esta quantidade da água sobre seu lote em função das culturas que está cultivando.

A avaliação de práticas da irrigação do campo é crucial para melhorá-las. Esta avaliação pode ser simples e dentro do alcance de técnicos da irrigação com ferramentas simples. No EXERCÍCIO 17 se pode praticar este tipo de avaliação.

3. Práticas boas de Cultivo

Frequentemente se pode ver parcelas regadas cheias com ervas daninhas (vulgo capim) quando cada um sabe que não tem nenhum sentido de gastar água e fertilizantes para crescer ervas daninhas. Isso parece trivial mas esta regra básica é frequentemente ignorada. Não tem nenhum sentido de propagar uma agricultura de alta tecnologia usando muitos insumos industriais quando as práticas/cuidados básicas de agronomia (rotação de culturas, uso de culturas leguminosas e de adubação verde, remover ervas daninhas, lavoura, etc.) ainda não forem executadas ou são executadas deficientemente.

12.8 Treinamento de O&M

Treinamento em exploração de regadios é necessário em dois níveis:

1. No nível de regantes: como regar e gerir um sistema de irrigação
2. No nível de técnicos agrícolas no nível de Distrito e província, técnicos agrícolas de ONGs: Como identificar condições e recursos para o desenvolvimento da irrigação; como monitorar e apoiar o desenvolvimento de sistemas de irrigação geridos por associações de regantes

Ad 1:

Para muitos camponeses a rega é uma actividade nova, particularmente num sistema que deve ser gerido colectivamente. Por isso treinamento será muito necessário. Quatro pontos críticos podem ser distinguidos no treinamento:

- Distribuição da água (rotação do caudal da distribuição, programação da irrigação)
- preparação do campo (divisão da parcela em bacias e sulcos, construção dos canais do campo etc, veja Anexo 6 da REFERENCIA 75)
- operação e manutenção da motobomba
- gestão do sistema (a organização da associação de regantes centrado em actividades e tarefas, determinação e colecção da taxa do O&M, fazer regras)

O melhor método de treinamento será o treinamento no trabalho. No projecto de SSIP se pode claramente distinguir os produtores que já têm experiência na rega e os produtores/camponeses que não têm nenhuma experiência. Se pode utilizar esta distinção

Manual de Dimensionamento de Regadios

organizando o treinamento de camponeses por camponeses, especialmente na preparação do campo para rega.

Ad 2:

Também para a maioria de técnicos agrícolas dos distritos e províncias a irrigação é uma novidade. Necessitam também treinamento relacionado com os pontos já mencionados mas num outro nível porque necessitam também de ser capaz de desenvolver actividades de treinamentos nas associações de regantes.

As necessidades de treinamento de técnicos agrícolas no nível do distrito e na província compreendem principalmente a fase da identificação e a fase da exploração. Para o dimensionamento técnico, a tradução do projecto dimensionada em especificações de construção, os desenhos, a conta de quantidades etc., a construção e a sua supervisão, há uma necessidade para técnicos mais especializadas.

Durante o projecto SSIP foram identificadas as seguintes necessidades de treinamento para os técnicos agrícolas no nível de distrito e província, inclusivamente os técnicos extensionistas:

- identificar condições e recursos para o desenvolvimento da irrigação, inclusivamente o levantamento topográfico elementar (uso de GPS de mão e nível topográfico) e o estimativa de caudal e da disponibilidade de água com métodos simples;
- compreender que a irrigação é um instrumento socio-técnico e não um objectivo em si ou um assunto puramente técnico .
- compreender que um interesse real dos produtores na irrigação implica que eles devem contribuir à construção do seu sistema. Isto deve ser materializado num contrato entre o grupo dos regantes e a organização do projecto; isto é particularmente válido para sistemas de bombagem
- compreender a relação entre o dimensionamento do sistema e a operação como é descrito num manual de exploração;
- Traduzir um manual de exploração em regulamentos e regras da associação de regantes.
- Assistir na instalação duma organização funcional de regantes que possa executar todas as tarefas do O&M, determinar uma taxa realista do O&M e colectar taxas do O&M de seus membros;
- Assistir na armação/configuração interna de parcelas de rega (construção de canais do campo, divisão em unidades de rega do campo);
- Avaliar práticas da irrigação dos produtores (principalmente em caso de irrigação de bombagem) e aconselhar para melhorar estas práticas;
- no caso de irrigação de bombagem, conhecimentos práticos como operar e manter uma motobomba

Manual de Dimensionamento de Regadios

LISTA de LITERATURA e PROGRAMAS RELEVANTES

REFERENCIAS

GERAL

1. DFID (1997). Smallholder Irrigation: Ways forward; guidelines for achieving appropriate scheme design; Volume 1: Guidelines
Disponível no CD ou pode ser 'downloaded' do Internet

2. CDP (2007). Guidelines for Small-Scale Irrigation Development
Disponível no CD e ex-DNHA e SSIP
Estudo e consulta deste documento é muito recomendado. Os directrizes foram formulados na base duma sistematização da experiência do Projecto de rega na pequena escala (SSIP).

3. FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 1: Irrigation Development: a multifaceted process
Todos os 14 módulos de "FAO Irrigation Manuals" são gravados no CD e os técnicos de antiga DNHA e SSIP também tem exemplares em forma impressa.
A característica destes 'irrigation manuals' é o caractere enciclopédico, não fornece uma metodologia clara de dimensionamento, pelo menos de sistemas de rega por redes de canais. É muito útil para busca e consulta de dados e para aprofundar certos aspectos.

4. Acesso à informação sobre Irrigação no INTERNET

www.microirrigationforum.com/new/onthenet

www.dfid-kar-water.net/projects/files/R5830.html

5. Documento: Webresources Irrigation
Disponível no CD-Rom

IRRIGACAO em MOCAMBIQUE

6. Inventario de Regadios em Moçambique
Actualizado ate 2003

7. R. M. Westerink (1996). Evaluation of monthly precipitation data of Mozambique. INIA, serie Terra e Água, Nota Técnica no. 69a
Disponível no INIA, DNHA e SSIP

Manual de Dimensionamento de Regadios

Publicação muito útil: contem os dados de ETo e P75 (precipitação mensal mínimo com uma probabilidade de 75%) de muitos lugares em Moçambique que podem ser utilizados directamente no dimensionamento de regadios.

RECURSOS E CONDICÕES p/ DESENVOLVIMENTO de IRRIGACAO

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

8. Module 2: Natural resources assessment

9. Module 11: Financial and Economic appraisal of Irrigation projects

10. DFID-ICID (1998). Checklist to assist preparation of Small-scale Irrigation projects in Sub-Saharan Africa

Disponível no CD

CALCULOS BASICOS e CONVERSOES

FAO Irrigation Water Management Training manual

11. FAO training manual no 1. Introduction to Irrigation, 1985

Todos os “FAO irrigation Management Training Manuals” são gravados no CD ou podem ser ‘downloaded’ do Internet site:

<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/training.stm> ou
www.fao.org/ag/agl/aglw/oldocsw.jsp)

FAO (1987). Projecto GCP/MOZ/031/SPA.

Notas para o curso de Irrigação

12. Volume VIII: Caderno de calculo

Todos os volumes das ‘Notas para o curso de irrigação são traduções em Português dos respectivos “FAO irrigation water Management Training Manuals” e são disponíveis na biblioteca de antiga DNHA (Rua de Resistência) e na biblioteca de FAO.

13. Programa de Computador: CONVERT

Disponível no CD

Programa simples de conversões de unidades de vários parâmetros

CONHECIMENTOS ELEMENTARES DE TOPOGRAFIA

FAO Irrigation Water Management Training manual

14. FAO training manual no.2. Elements of topographic surveying

Manual de Dimensionamento de Regadios

15. Agrodok 6 (2000), Jan H. Loedeman, Levantamentos topográficos simples aplicados às áreas rurais.

Disponível no SSIP ou pode ser sem custos encomendado na www.cta.nl

16. M. Kuski (1987), Apontamentos de Topografia.

Disponível na biblioteca de antiga DNHA

17. Programa GOOGLE EARTH

‘Download’ gratuito no www.google.com

Programa muito útil para identificação e cartografia de sistemas de regadio, delimitação de bacias de rio etc. Pode substituir em grande medida o uso de fotografias aéreas.

18. Usando GPS com Mapas impressos.

Disponível no www.gpsglobal.com.br/artigos/MapImpr/M100.html

Documento que trata claramente as possibilidades e limitações do uso de GPS

19. Manuais de utilização de GPS

Cada tipo e modelo de GPS tem um manual de utilização. São disponíveis em várias línguas no Internet e pode-se fazer um ‘download’.

CONHECIMENTOS BASICOS de HIDRAULICA

20. ILRI Publication 20, Discharge Measurement structures (1978)

Disponível na biblioteca do ex-DNHA

Trata em pormenor todo tipo de vertedores e as suas propriedades hidráulicas

21. A. Lencastre (1983), Hidráulica Geral

Disponível na biblioteca do ex-DNHA

Obra de Referencia que trata toda teoria de hidráulica

AS RELACOES DO COMPLEXO ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO

22. Adri van den Dries e Gerben Gerbrandy (2006). Irrigation and Water Management; Part 2: Plant-Water-Soil-Atmosphere Relationships

Disponível no CD.

É apto para auto-estudo com uma ligação clara com o dimensionamento de sistemas de irrigação.

FAO Irrigation Water Management Training manuals

23. FAO training manual no 3. Irrigation Water Needs, 1986

24. FAO training manual no 4. Irrigation Scheduling, 1989

25. FAO training manual no 6. Scheme irrigation water needs and supply, 1992

Manual de Dimensionamento de Regadios

FAO (1987).Projecto GCP/MOZ/031/SPA.

Notas para o curso de Irrigação

26. Volume I: Agua, Clima e Planta

27. Volume II: A Agua no Solo

28. Volume III: Necessidades de Agua de Irrigação

29. Volume IV: Programação de Irrigação

FAO Irrigation and Drainage Papers

30. FAO nr 24: Crop water requirements

30a. FAO nr 29 (rev.1, 1989), Water quality for Agriculture, disponível no

www.fao.org/DOCREP

tambem disponível em Espanhol: Estudios FAO: Riego y Drenaje 29, Calidad del agua para la Agricultura

30b FAO nr 25, Effective Rainfall in Irrigated Agriculture, disponível no

www.fao.org/DOCREP

31. FAO nr 33: Yield response to water.

Também disponível em Português na biblioteca de FAO (Maputo)

32. Estudos FAO Irrigação e Drenagem 33, Efeito da agua no rendimento das culturas

33. FAO nr 46: CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management

34. FAO nr. 56. Crop Evapotranspiration.

Disponível no CD

FAO, Irrigation Manual (Harare, 2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

35. Module 3: Agronomic aspects of irrigated crop production

36. Module 4: Crop water requirements and irrigation scheduling

37. FAO, Programa de Computador CROPWAT 8.0 Beta c/ Arquivos de Data climatológicos de Moçambique (2001)

Disponível no CD

Programa Windows simples para calculo de Necessidades de água de rega em vários níveis, calendários de rega e opções de distribuição. Modulo de arroz ('Rice') ainda não esta apto. FAO irrigation and drainage paper nr. 46 é um manual que demonstra muito claramente como se pode utilizar esta programa

DISTRIBUICAO DE AGUA DE REGA

FAO Irrigation Water Management Training manuals

38. FAO training manual nr 5. Irrigation Methods, 1988

Disponível no CD

Os métodos tratados de irrigação não são muito práticos na agricultura de pequenos produtores: falta focus no método de bacia pequena e sulcos curtos

FAO (1987). Projecto GCP/MOZ/031/SPA.

Notas para o curso de Irrigação

Manual de Dimensionamento de Regadios

39. Volume VI: Métodos de Irrigação

Este publicação é uma tradução do texto em Inglês

DIMENSIONAMENTO de SISTEMAS de IRRIGACAO por GRAVIDADE

40. T. Meijer (1991), Design of smallholders' irrigation systems. Wageningen Agricultural University

Disponível no SSIP

É uma referencia muito útil para consultar e estudar. Oferece uma abordagem e metodologia muito clara do dimensionamento e tem muitos pormenores sobre os aspectos hidráulicos de canais e obras de regadio

FAO Irrigation Water Management Training manuals

41. FAO training manual nr 7: Canals

42. FAO training manual nr.8: Structures for water control

Disponível no CD

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

43. Module 7: Surface irrigation systems: planning, design, operation and maintenance

Não oferece uma metodologia clara, é mais enciclopédica. Pode ser útil para consultar pormenores de obras de rega como caixas de tranquilizacao associados a quedas.

44. Programa de Computador HCanales

Disponível no CD

Programa em Espanhol. Programa de Calculo de canais e curves de regolfo.

45. Programa de Computador PROFILE

Disponível no CD

Programa em Inglês. Programa de calculo de canais trapezoidais

46. Programa de Computador FLOWMASTER I

Disponível no CD

Programa em Inglês. Programa de calculo de vários tipos de canais

OBRAS de REGA

FAO Irrigation and Drainage papers

47. FAO 26/1: Small hydraulic Structures

48. FAO 26/2: Small hydraulic structures

Disponivel para 'download' no Internet site of FAO

Muito enciclopédica. Não oferece um método claro para a escolha de tipo de obras

Manual de Dimensionamento de Regadios

49. SOGETHA, Techniques Rurales em Afrique no.4: Lês ouvrages d'un petit reseau d'irrigation

Copias disponível no SSIP

Só para pessoas que sabem ler Francês. É um livro bastante útil e metódico com desenhos muito claros

50. US Department of the Interior, Bureau of reclamation (1978), Design of Small canal Structures

Disponível para 'download' no Internet

Dimensionamento hidráulica e estrutural de obras de rega, escrito a partir de condições e perspectivas Americanas

50a . M.G. Bos (ed.), 1989, Discharge Measurement Structures

Descricao, equacoes de caudal e (limites de) applicacao de muitos tipos de vertedores e estruturas de distribuicao

DIMENSIONAMENTO E SELECCAO DE UNIDADES DE BOMBAGEM

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

51. Module 5: Irrigation pumping plant

Gravado no CD.

Um texto claro sobre o funcionamento e a selecção de bombas e motores.

52. FAO Irrigation and Drainage paper nr. 43 (1986), Water Lifting Devices.

Gravado no CD.

O valor deste livro é a atenção para outros tipos de bombas além da bomba centrífuga. Tem uma outra abordagem (bastante confuso na minha maneira de ver) de eficiências no processo de bombagem. Nesta abordagem a eficiência não é referida a eficiência da bomba (que se encontra nas curvas características da bomba), mas inclui uma mistura de componentes de perdas de água no sistema, hidráulicos, mecânicos e energéticos. A eficiência é relacionada com a altura geométrica e o conteúdo de energia no combustível. As curvas características de bombas centrífugas (essencial para compreender o funcionamento duma bomba) quase não são tratados neste livro

FAO (1987).Projecto GCP/MOZ/031/SPA.

Notas para o curso de Irrigação

53. Volume V: Condução e Elevação de Agua

O valor desta publicação eh que eh escrita em Português.

CUIDADO: As secções 3.5 (rendimento das bombas) e 3.6 (calculo da potencia de uma bomba) são muito erradas porque entra a eficiência dum motor de combustão. A eficiência do motor não entra na equação $P_d = 1.2 * (Q * H_{man}) / (C * \eta)$ (veja Capitulo 7). A eficiencia do motor tem uma relação com o conteúdo de energia no combustível mas não com a eficiência duma bomba.

Manual de Dimensionamento de Regadios

*** DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO POR TUBAGEM***

54. FAO (2000), Technical handbook on pressurized irrigation techniques
Gravado no CD

55. Robert van Bentum and Ian K. Smout (1994). Buried pipelines for Surface Irrigation.
Intermediate Technology Publication

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of
Irrigated Agriculture with Farmer Participation

56. Module 8: Sprinkler irrigation systems: planning, design, operation and maintenance

57. Module 9: localized irrigation systems: planning, design, operation and maintenance

58. Module 10: Irrigation equipment for pressurized systems

Gravados no CD

FAO (1987).Projecto GCP/MOZ/031/SPA.

Notas para o curso de Irrigação

59. Volume VII: Irrigação por aspersão

DRENAGEM AGRICOLA

60. ILRI (1994), Drainage Principles and Applications

Disponível na biblioteca de antiga DNHA

Livro Standard que trata todos aspectos e pormenores de drenagem e o
dimensionamento de sistemas de drenagem

FAO Irrigation Water Management Training manuals

61. FAO training manual nr. 9: Drainage of irrigated lands

Disponível no CD

DIMENSIONAMENTO DE REPRESAS

62. F. Molle e E. Cadier (1992). Manual do Pequeno Açude

Ha uma copia deste livro no DEH/DNSA

63. Tim Stephens (1991). Handbook on Small Earth Dams and Weirs, a guide to
siting, design and construction

Ha copias deste livro no DEH/DNSA e no SSIP

Muito recomendada para consulto e estudo

64. FAO, 2001, Small dams and weirs in earth and gabion materials

Gravado no CD

Manual de Dimensionamento de Regadios

65. Victor Kazanov (1997). Manual de Projecção e Construção das Pequenas Barragens (Draft). DNA-Projecto MOZ/95/016- WATCO “Water Resources- Sectorial Coordination Pré-Programme”

Disponível na Biblioteca da Direcção Nacional de Águas

66. Regulamento de pequenas barragens de terra

Publicado no Boletim Oficial de Moçambique, 03-02-1969, I Serie-Numero 4 (Suplemento). Disponível no SSIP

*** CONSTRUÇÃO de SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO***

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

67. Module 12: Guidelines for the preparation of tender documents

68. Module 13: Construction of irrigation schemes

Disponíveis no CD

69. H. Karsten (2007). Manual Prática de Fiscalização

Disponível no CD

Publicação muito útil e muito prática para cada técnico envolvida na adjudicação, construção e fiscalização de obras.

EXEMPLOS Cadernos de Encargo de construção de vários tipos de Sistemas de Irrigação.

70. - CdE Sistema de Irrigação c/ canais e métodos de rega superficiais

71. - CdE Sistema de Irrigação c/ tubos e métodos de rega superficiais

72. - CdE Sistema de Irrigação c/ tubos e mangueiras

Disponíveis no CD. O programa AUTOCAD 2002 é juntado para possibilitar a leitura de Desenhos.

São exemplos que podem servir como guias padronizadas para cadernos de Encargo de construção de projectos similares.

EXPLORAÇÃO de SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

FAO Irrigation Water Management Training manuals

73. FAO training manual nr 10. Irrigation scheme operation and maintenance

Disponível no CD

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

74. Module 14: Monitoring the technical and economical performance of an irrigation scheme

Disponível no CD

EXEMPLOS Guias de exploração de vários tipos de Sistemas de Irrigação.

75.- G de Expl Sistema de Irrigação c/ bomba, canais e métodos de rega superficiais

Manual de Dimensionamento de Regadios

76.- G de Expl Sistema de Irrigação c/ tubos e métodos de rega superficiais

77.- G de Expl Sistema de Irrigação c/ tubos e mangueiras

78.- G de Expl Sistema de Irrigação de Gravidade

79.- G de Expl Sistema de Irrigação de Arroz

Disponíveis no CD

São exemplos que podem servir como guias padronizadas para exploração de regadios similares.

DIVERSOS

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

80. Module 6: Guidelines for the preparation of technical drawings

Disponível no CD

FAO Irrigation and Drainage Papers

81. Estudos FAO Irrigação e Drenagem 29 rev.1, A qualidade da água na Agricultura.

Disponível na biblioteca de FAO

82. FAO nr 40: Organisation. Operation and maintenance of irrigation schemes, principalmente Annex II, Irrigation Scheduling is recommended (can be downloaded from the FAO internet site)

Manual de Dimensionamento de Regadios

CONTEUDO do CD

GERAL

DFID (1997). Smallholder Irrigation: Ways forward; guidelines for achieving appropriate scheme design; Volume 1: Guidelines

* CDP (2007). Guidelines for Small-Scale Irrigation Development

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 1: Irrigation Development: a multifaceted process

* Document: Webresources Irrigation
Disponível no CD-Rom

* 'Links' diversos

IRRIGACAO em MOCAMBIQUE

* Inventario de Regadios em Moçambique

RECURSOS E CONDICOES p/ DESENVOLVIMENTO de IRRIGACAO

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 2: Natural resources assessment
Module 11: Financial and Economic appraisal of Irrigation projects

*DFID-ICID (1998). Checklist to assist preparation of Small-scale Irrigation projects in Sub-Saharan Africa

CALCULOS BASICOS e CONVERSOES

* FAO Irrigation Water Management Training manual
no 1. Introduction to Irrigation, 1985

* Programa de Computador: CONVERT

CONHECIMENTOS ELEMENTARES DE TOPOGRAFIA

* FAO Irrigation Water Management Training manual
no.2. Elements of topographic surveying

Adriaan van den Dries, Eng^o Hidraulico

259

Manual de Dimensionamento de Regadios

AS RELACOES DO COMPLEXO ATMOSFERA-AGUA-PLANTA-SOLO

* Adri van den Dries e Gerben Gerbrandy (2006). Irrigation and Water Management; Part 2: Plant-Water-Soil-Atmosphere Relationships

* FAO Irrigation Water Management Training manuals
no 3. Irrigation Water Needs, 1986
no 4. Irrigation Scheduling, 1989
no 6. Scheme irrigation water needs and supply, 1992

* FAO Irrigation and Drainage paper (2000)
nr. 56. Crop Evapotranspiration.

* FAO, Irrigation Manual (Harare, 2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 3: Agronomic aspects of irrigated crop production
Module 4: Crop water requirements and irrigation scheduling

* Programa de Computador CROPWAT 8.0 Beta c/ Arquivos de Data climatológicos de Mozambique (2001)

DISTRIBUICAO DE AGUA DE REGA

* FAO Irrigation Water Management Training manuals
nr 5. Irrigation Methods, 1988

DIMENSIONAMENTO de SISTEMAS de IRRIGACAO por GRAVIDADE

* FAO Irrigation Water Management Training manuals
7. Canals
8. Structures for water control

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 7: Surface irrigation systems: planning, design, operation and maintenance

* Programa de Computador HCanales

* Programa de Computador PROFILE

* Programa de Computador FLOWMASTER I

Manual de Dimensionamento de Regadios

DIMENSIONAMENTO E SELECCAO DE UNIDADES DE BOMBAGEM

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 5: Irrigation pumping plant

* FAO Irrigation and Drainage paper (1986)
nr. 43. Water Lifting Devices.

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE IRRIGACAO POR TUBAGEM

*FAO (2000), Technical handbook on pressurized irrigation techniques

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 8: Sprinkler irrigation systems: planning, design, operation and maintenance
Module 9: localized irrigation systems: planning, design, operation and maintenance
Module 10: Irrigation equipment for pressurized systems

DRENAGEM AGRICOLA

* FAO Irrigation Water Management Training manuals
9. Drainage of irrigated lands

DIMENSIONAMENTO DE REPRESAS

FAO, 2001, Small dams and weirs in earth and gabion materials

CONSTRUCAO de SISTEMAS DE IRRIGACAO

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation
Module 12: Guidelines for the preparation of tender documents
Module 13: Construction of irrigation schemes

* H. Karsten (2007). Manual Pratica de Fiscalizacao

* EXEMPLOS Cadernos de Encargo de construção de vários tipos de Sistemas de Irrigação.
- CdE Sistema de Irrigação c/ canais e métodos de rega superficiais
- CdE Sistema de Irrigação c/ tubos e métodos de rega superficiais

Manual de Dimensionamento de Regadios

- CdE Sistema de Irrigação c/ tubos e mangueiras
- O programa AUTOCAD 2002 eh juntado para possibilitar a leitura de Desenhos nos CdEs.

EXPLORACAO de SISTEMAS DE IRRIGACAO

* FAO Irrigation Water Management Training manuals

10. Irrigation scheme operation and maintenance

* FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

Module 14: Monitoring the technical and technical performance of an irrigation scheme

* EXEMPLOS Guia de exploração de vários tipos de Sistemas de Irrigação.

- G de Expl Sistema de Irrigação c/ bomba, canais e métodos de rega superficiais
- G de Expl Sistema de Irrigação c/ tubos e métodos de rega superficiais
- G de Expl Sistema de Irrigação c/ tubos e mangueiras
- G de Expl Sistema de Irrigação de Gravidade
- G de Expl Sistema de Irrigação de Arroz

DIVERSOS

FAO, Irrigation Manual (2001); Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation

Module 6: Guidelines for the preparation of technical drawings