

NOÇÕES BÁSICAS DE IRRIGAÇÃO

José Monteiro Soares*

1. Importância da Irrigação

A característica básica da produção é o fator econômico, assim subtede-se - por produção econômica - produzir o máximo, o melhor, na menor área, no menor espaço de tempo e pelo mínimo custo.

Para se obter uma produção econômica, além da utilização de boa semente e práticas agrícolas adequadas, torna-se essencial satisfazer a fisiologia da planta quanto a sua necessidade de água.

Quando uma planta sofre deficiência hídrica, os estômatos tendem a fechar, condicionando a redução da transpiração, e conseqüentemente da fotossíntese, devido a diminuição da perda de água e da entrada de gás carbônico através dos estômatos, em decorrência tem-se a redução da síntese de produtos orgânicos. Estes dois fenômenos, um físico e outro químico se processam simultaneamente na planta.

Para minimizar os efeitos da deficiência hídrica nas plantas cultivadas, lança-se mão a técnica da irrigação. Esta técnica proporciona o fornecimento de água aos cultivos de forma complementar, suprimindo a deficiência de água ocasionada pela irregularidade de distribuição das chuvas ou total na ausência completa de chuva.

Somente a irrigação pode condicionar o aproveitamento do potencial de produção agrícola das regiões áridas e semi-áridas, devido a peculiaridade das condições climáticas dessas regiões.

Portanto, o aproveitamento integrado dessas regiões sob condições de irrigação, apresenta-se como uma das condições essenciais para a produção de sementes básicas.

*Engº Agrº M.S. em Irrigação - CPATSA/EMBRAPA.

2. Vantagens

- Produção garantida (independente da ocorrência de chuva e de geada);
- Obtenção de sementes de boa qualidade;
- Maior produção por unidade de área;
- Obtenção de mais de uma colheita por ano;
- Obtenção de colheitas fora da época normal (na entressafra).

3. Quantidade de água necessária

Teoricamente, a quantidade de água necessária à planta só depende do clima e da espécie vegetal. Todavia, ao se aplicar água ao solo, tem-se as perdas por evaporação, percolação e por escoamento superficial. Perdas essas que são inevitáveis, mas que podem ser amenizadas, dependendo da escolha do método de irrigação, bem como do manejo da irrigação. Algumas vezes, há necessidade da aplicação de maiores volumes de água por irrigação, devido a necessidade de lixiviação de sais nocivos da profundidade efetiva das raízes. Assim, todos esses fatores devem ser levados em consideração por ocasião do dimensionamento de um sistema de irrigação.

A quantidade de água necessária a irrigação ou dotação de rega, pode ser expressa das seguintes maneiras:

- a) Quantidade de água necessária por ciclo de cultivo ou por ano, é dada em "m³/ha" ou em "mm" (1 mm = 10 m³/ha).
- b) Quantidade de água necessária por irrigação, também é dada em m³/ha ou em mm. Neste caso, deve-se dizer o intervalo de irrigação e o número total de irrigações feitas num ciclo de cultivo.
- c) Quantidade de água necessária em forma de vazão contínua, dada em l/s x ha.

Um dos parâmetros utilizados para corrigir a quantidade de água necessária é a eficiência de irrigação, que é defi

nida pela relação entre o volume de água aplicado e o volume retirado da fonte de suprimento. Para a avaliação do manejo da irrigação, deve-se utilizar a eficiência de aplicação que relaciona o volume de água retido na zona radicular e o volume de água aplicado na parcela.

De um modo geral, a eficiência de aplicação depende de uma série de fatores, como segue:

- a) Da natureza do solo: a eficiência é menor nos solos muito permeáveis, onde há predomínio das perdas por percolação;
- b) Da espécie vegetal: deve-se considerar principalmente a profundidade e a distribuição do sistema radicular das culturas. Maiores eficiências são alcançadas com culturas menos espaçadas e de sistema radicular mais profundo;
- c) Do sistema de irrigação e preparo do solo: os métodos de irrigação por sulcos, que geralmente exigem um bom preparo do terreno, permite a obtenção de eficiência relativamente altas, podendo ir até 80%. Mas este valor poderá baixar para 40% ou menos, em condições de solos muito permeáveis, terreno mal preparado e manejo deficiente de água;
- d) Da habilidade do agricultor: que constitui peça fundamental, pois uma grande parte das perdas pode ser evitada se o agricultor ou o irrigante souber manejar a água e aplicá-la de conformidade com as exigências das plantas, tipo de solo, preparo do terreno, sistema de irrigação, vazão, lâmina e tempo de aplicação.

A seguir apresenta-se um exemplo referente a expressão da quantidade total de água necessária a irrigação de uma dada cultura. Para o feijão caupi cultivado no período de setembro a novembro, na região do Submédio São Francisco, necessita-se de uma lâmina média de irrigação de 25 mm por irrigação, com turno de rega de oito dias, durante oitenta dias. Caso seja adotado o método de irrigação por sulco, com uma eficiência de irrigação de 50%, a lâmina de

25 mm corresponde a $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ por irrigação; $5.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ por ciclo de cultivo ou $0,72 \text{ l/s} \times \text{ha}$.

4. Clima e quantidade de água necessária

O clima influe diretamente na evapotranspiração da cultura, e constitui-se como um dos elementos mais importantes para a determinação da quantidade de água necessária à irrigação. Portanto, o clima, a espécie do vegetal e as perdas de água, são os elementos básicos a determinação da irrigação. A obtenção desse parâmetro pode ser feita através de dados climatológicos, lisímetros e de pequenas áreas experimentais.

A análise dos dados climatológicos é feita através de fórmulas empíricas. Neste caso, deve-se eleger a fórmula mais adequada à condição climática da região escolhida. Vários trabalhos têm mostrado que existe uma correlação acentuada entre o consumo de água pela planta e a evaporação do tanque classe A.

A correlação evapotranspiração/evaporação (k_c), além de uma série de fatores depende também, do estágio de desenvolvimento da planta, conforme Fig. 1. A determinação da quantidade de água necessária para o dimensionamento de um sistema de irrigação pode ser obtida através da seguinte expressão: $ET_c = 0,7 \cdot k_c \cdot E_t$. em que: ET_c - evapotranspiração média diária do cultivo, referente ao período de desenvolvimento vegetativo mais crítico (mm); k_c - coeficiente de cultivo do estágio de desenvolvimento mais crítico, e E_t - evaporação do tanque classe A (mm). Isto porque o sistema de irrigação necessita atender o requerimento de água da cultura durante as fases de maior desenvolvimento vegetativo, floração e início de maturação. Enquanto para o manejo da irrigação, utiliza-se na expressão acima, o valor do k_c referente ao estágio de desenvolvimento considerado e a evaporação total do intervalo de irrigação considerado. Mas para que essa lâmina calculada seja colocada a disposição da planta, é necessário corrigi-la em função do método de irrigação escolhido.

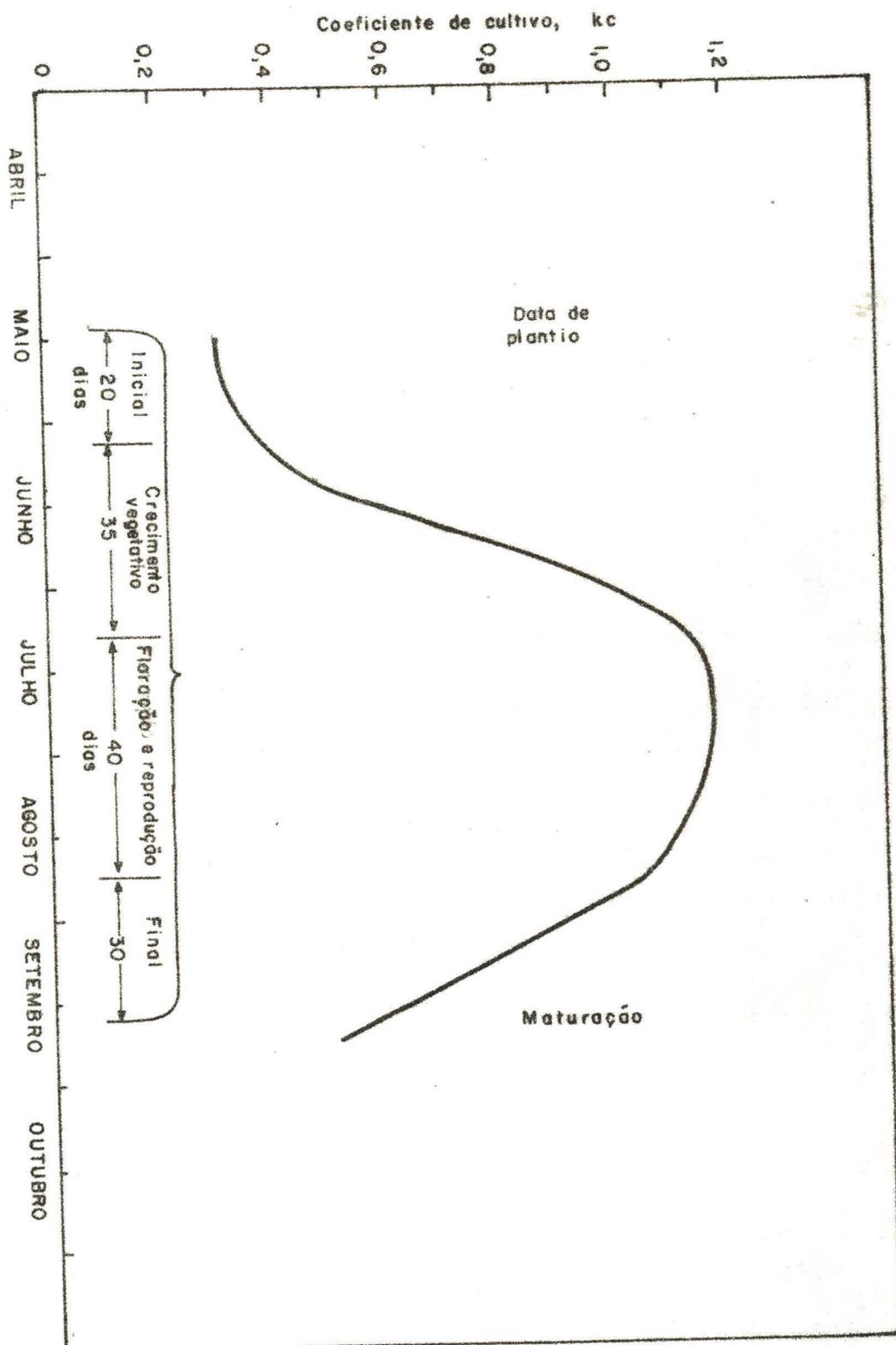


Fig. 1 Curva de coeficiente de cultivo para a cultura do milho

5. Água no solo

Uma vez conhecida a quantidade de água requerida pela cultura, torna-se necessário quantificar a água que o solo reter, em disponibilidade, na profundidade do sistema radicular da planta. Daí, determina-se o volume de água a ser aplicado em cada irrigação, e conseqüentemente, o intervalo de irrigação e o volume total durante o ciclo da cultura.

A determinação da capacidade de infiltração da água no solo é imprescindível tanto para a escolha do método de irrigação quanto para a aplicação da quantidade de água a ser aplicada por irrigação. Os terrenos de textura arenosa condicionam a escolha do método de irrigação por aspersão enquanto os de textura argilosa indica o método de irrigação por sulco como o mais adequado. Enquanto para o manejo da irrigação, a infiltração determina o tempo em que o sistema de irrigação deve funcionar para aplicar a lâmina de irrigação desejada.

O perfil de umidade no solo mostra a distribuição d'água no solo após uma irrigação. Mas, a distribuição da umidade no solo depende da quantidade de água aplicada, bem como da textura, e espessura e do teor de umidade residual das camadas do solo. A distribuição da água no solo também é função do método de irrigação escolhido. Figs. 2 e 3.

A ascensão capilar da água no solo proveniente do lençol freático pode trazer problemas de deficiência de aeração na zona radicular, assim como a acumulação de sais na camada superficial do solo. A ocorrência de área nessas condições, necessita da instalação de um sistema de drenagem, para o escoamento do excesso de água.

6. Importância prática da relação água - solo - planta

A quantidade total de água no solo, para o crescimento das plantas, é a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura considerada. Os níveis de água na capacidade de campo e no ponto de murcha, correspondem a 100 e 0%,

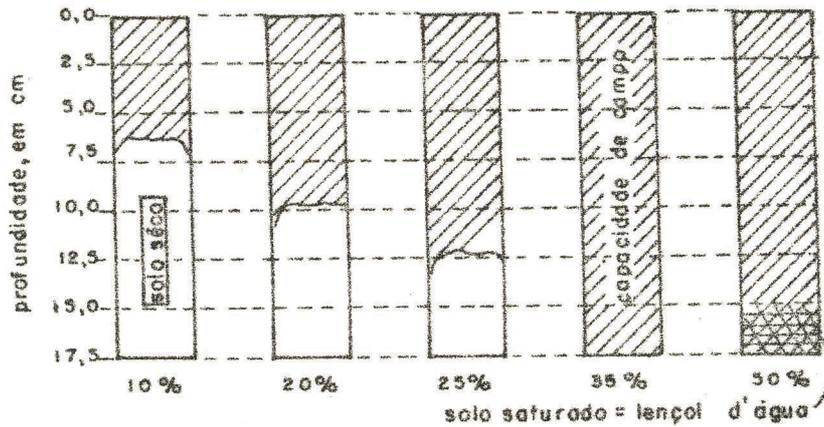


Fig. 2 - Perfil de umidade de um solo, com 35% de umidade na capacidade de campo, quando determinadas quantidades de água são aplicadas à superfície.

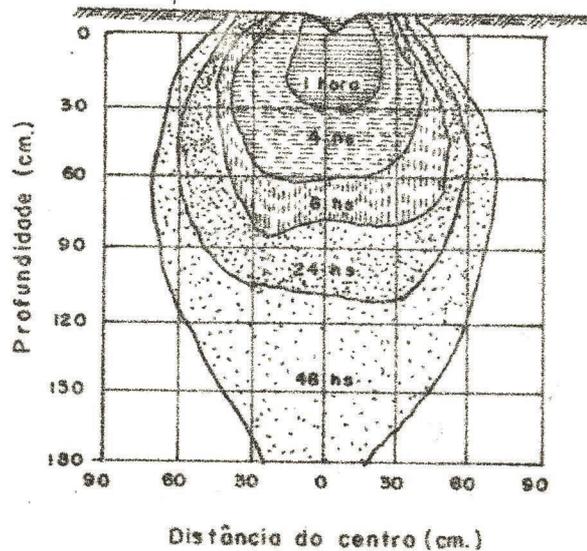


Fig. 3 - Tempo de aplicação da água e perfil molhado provável em um solo de textura média e perfil uniforme

respectivamente. A quantidade de água disponível nos terrenos argilosos é bastante superior a dos terrenos arenosos, Fig. 4.

Após uma irrigação as plantas reiniciam a absorção de água do solo através de suas raízes. O esforço desenvolvido pelas raízes, para extrair água do solo, tende a aumentar de forma exponencial com a redução do teor de umidade do solo, como consequência tem-se a redução da produtividade da cultura.

Mas a quantidade de água absorvida do solo na profundidade efetiva da raiz, não é feita de modo uniforme ao longo do perfil do solo. Ou seja, a quantidade de água extraída é função da distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Isto significa que não deve-se esperar que o nível de água no solo, na camada de maior densidade radicular, alcance o ponto de murcha. Ou seja, deve-se reiniciar as irrigações quando o nível de água disponível nesta camada, alcance um valor que não comprometa economicamente a produtividade da cultura. De um modo geral, as irrigações devem ser reiniciadas quando 40 a 50% da água disponível na camada de maior densidade radicular, seja consumida.

A quantidade total de água necessária por irrigação depende de uma série de fatores, como segue:

$$QTM = 10 \frac{Ua - PMP}{100} \times da \times K \times Pr \times \frac{1}{E_i}$$

em que: QTM - Quantidade total de água necessária (mm)

Ua - Umidade no solo antes da irrigação (%)

PMP - Ponto de murcha permanente (%)

da - Densidade aparente (g/cm^3)

K - Nível de água disponível no solo (%)

Pr - Profundidade efetiva da raiz (cm)

E_i - Eficiência de irrigação (%)

A quantidade de água a ser aplicada no solo obtida através da equação acima, associada com a infiltração do solo, tem-se o tempo em que o sistema de irrigação deve funcionar para aplicar-se a lâmina de irrigação desejada.

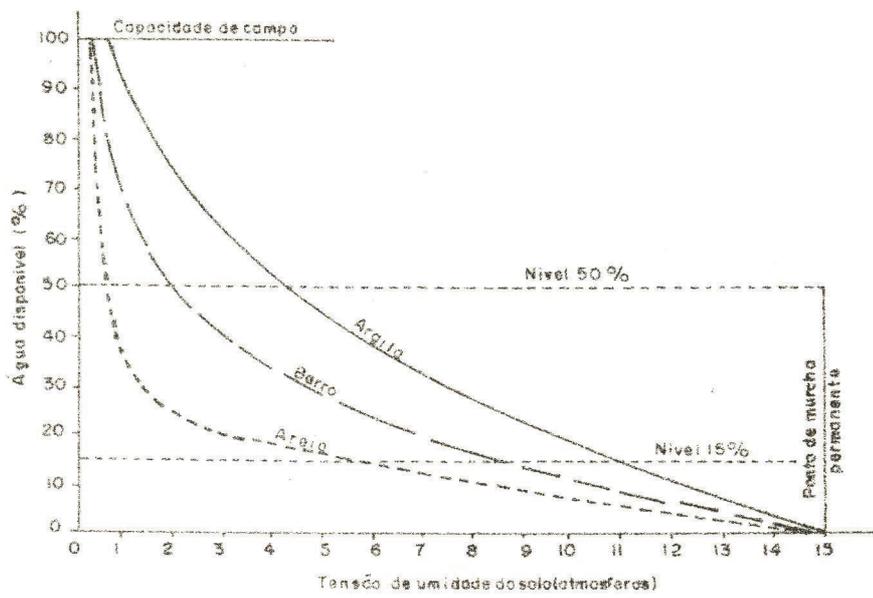


Fig. 4 - Exemplo da variação da percentagem de água disponível com a tensão, para solos de diferentes texturas.

7. Manejo de água nas culturas

O manejo de água no solo é um dos fatores de extrema importância para a obtenção de uma produção econômica. Pois as aplicações de água devem ser feitas de modo a manter o solo com um adequado suprimento, uma vez que a deficiência ou o excesso de água no solo, pode concorrer para a redução da produtividade da cultura.

A deficiência de água no solo condiciona a redução da hidratação do protoplasma, e conseqüentemente, o fechamento total ou parcial dos estômatos, reduzindo assim a sua capacidade de troca gasosa, e a fotossíntese. Por outro lado, tem-se a redução do crescimento da raiz e da absorção de nutrientes. A associação desses fatores resultam na redução do crescimento da planta, e assim da produtividade final da cultura.

O excesso de água no solo condicionado por irrigações demasiadamente prolongada ou por lençol freático elevado, proporciona uma redução brusca da aeração do solo, na profundidade efetiva da raiz. Essa deficiência de aeração no solo resulta na redução da respiração da raiz, e conseqüentemente, na redução do crescimento e da absorção de água e minerais pela raiz.

As fases fenológicas de floração e frutificação, são consideradas as fases mais críticas tanto a escassez quanto ao excesso de água. Pois a deficiência prolongada provoca a queda ou o abortamento das flores, enquanto o excesso pode causar a hipertrofia e degenerescência dos órgãos florais.

A Fig. 5, mostra o comportamento da produtividade da cultura do milho em relação a escassez de água no solo.

8. Escolha do método de irrigação

A escolha do método de irrigação é de extrema importância para a obtenção de produções rentáveis. Dentre os fatores levados em consideração, destacam-se os parâmetros climáticos, edáficos, hídricos, topográficos, agronômicos e econômicos.

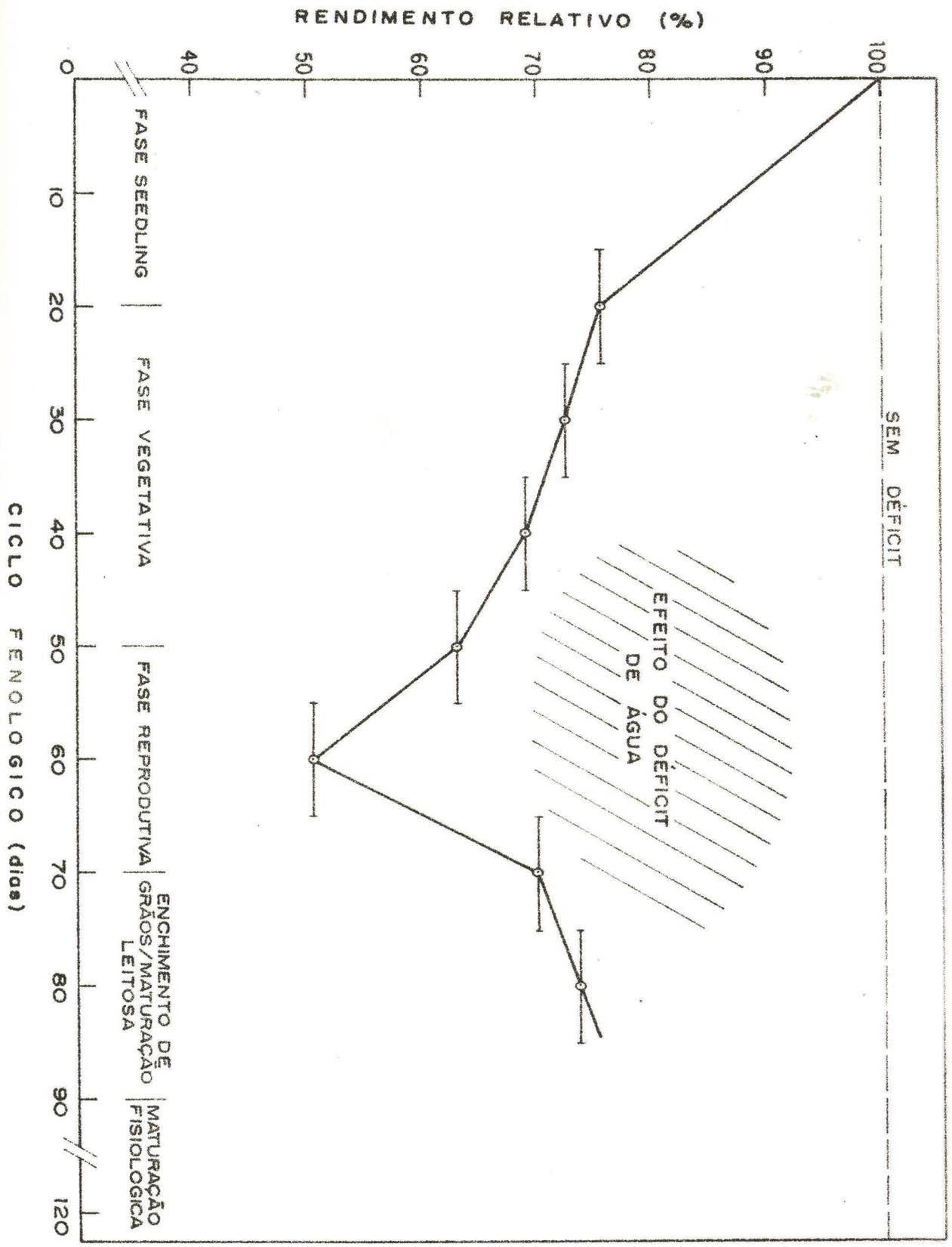


Fig. 5 - Rendimento relativo da cultura do milho em função do déficit hídrico ao longo do ciclo fenológico.

Dentre os elementos climáticos, apenas a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, são levados em consideração para a escolha do método de irrigação. Ou seja, a velocidade do vento superior a 4 m/s e a umidade relativa do ar inferior a 50%, limitam a utilização do método de irrigação por aspersão, devido ao transporte de água pelo vento e a evaporação da água no ar, o que concorre para a redução brusca da eficiência de irrigação.

O tipo de solo, capacidade de retenção de água, velocidade de infiltração e profundidade efetiva do solo são fatores que devem ser considerados na relação do método de irrigação. Por exemplo, um solo arenoso, com alta velocidade de infiltração, requer métodos de irrigação que possuem como características o controle da taxa de aplicação de água ao solo, como é o caso dos métodos de irrigação por aspersão e gotejamento. A capacidade de retenção de água no solo, influencia no tamanho dos conjuntos de irrigação bem como na frequência de irrigação.

Os pontos que mais se destacam em relação à fonte de água são: quantidade total de água disponível durante o ciclo da cultura, como é o caso de água armazenada em reservatórios de acumulação; vazão disponível na época mais seca do ano e que pode ser aproveitada continuamente; qualidade da água, que inclui tipos de sais dissolvidos na água de irrigação e tempo em que a água está disponível, nos casos em que cada usuário só pode dispor da água para irrigação em apenas parte do dia.

Restrições na seleção de método de irrigação devido a topografia, incluem nível de lençol freático, localização e diferença de nível de fonte de água em relação a área a ser irrigada, limites e forma da área. A declividade da área é muito importante. Alguns tipos de sistemas de irrigação por aspersão podem operar em declividade até 20%, contudo, a irrigação por sulcos está usualmente limitada a um máximo declive em torno de 2 a 6%. Já o gotejamento pode ser usado em declives de até 60%.

O método de irrigação deve ser compatível com outras operações existentes na propriedade agrícola tais como, pre

paração do solo, cultivo e colheita. Por exemplo, o uso mais eficiente de máquinas agrícolas de grande porte requer áreas contínuas maiores ou seja menor número possível de canais e drenos que constituem obstáculos à movimentação das máquinas.

Os fatores mais importantes relacionados com a cultura e que devem ser realizados para seleção de um sistema de irrigação são os seguintes: tolerância de sais, tanto no que diz respeito à concentração total como tipos de íons tóxicos existentes na água de irrigação; tolerância ao encharcamento; hábitos de crescimento - o tipo de desenvolvimento vegetativo da cultura geralmente condiciona o método de irrigação; etc.

O tipo de irrigação selecionado é também uma decisão econômica. Alguns sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento exigem grandes investimentos por unidade de área, limitando-se assim à culturas de alta rentabilidade. Outros sistemas custam menos para ser implantados mas possuem custos operacionais mais elevados. A vida útil do sistema usado, custos fixos, custos de operação anual (energia, água, depreciação, preparo de solo, manutenção, mão-de-obra, etc) devem ser considerados na análise econômica para orientar a decisão sobre a escolha do sistema de irrigação.

9. Métodos de irrigação

Normalmente não se faz distinção entre os termos "métodos de irrigação" e "sistemas de irrigação". Mas, na realidade, são expressões distintas.

Método de irrigação significa a modalidade de aplicação de água ao solo, e sistema de irrigação refere-se à maneira de condução de água, da fonte hídrica até a área agrícola.

Os métodos de irrigação convencionais são divididos em quatro grandes grupos: 1) Superficial; 2) Arpersão; 3) Gotejamento e 4) Sub-superficial.

1. Método de irrigação superficial

O método de irrigação superficial compreende dois grupos distintos, dependendo da maneira como a água é aplicada na superfície do solo:

1.1- Irrigação por inundação

Este método é caracterizado pela inundação total da superfície do solo. É o mais simples, em princípio, de todos os métodos de irrigação e, portanto, um dos mais usados em todo o mundo. No Brasil é largamente empregado no cultivo de arroz.

O manejo de irrigação por inundação normalmente requer vazões maiores do que os demais métodos, não devendo ser empregado quando a vazão disponível do sistema de irrigação é bastante reduzida. Requer solos pesados e culturas capazes de extrair, através das raízes, o oxigênio dissolvido na água. Quanto mais permeável o solo maior é a dificuldade de manter-se uma lâmina de água permanente, o que implica na redução da área cultivada, bem como implica no emprego do manejo intermitente de água. A irrigação por faixa utilizada em pastagens, fruteiras e alfafa é uma modalidade de irrigação por inundação intermitente, ou seja, depende de uma frequência de irrigação. A declividade do terreno não pode ser zero, podendo ir de 0,2 a 7%. Em tabuleiros as faixas podem variar de 100 a 800 m. Este método é viável para solos de textura média.

1.2- Irrigação por sulcos

Este método consiste na aplicação de água no solo, através de pequenos canais ou sulcos, e se caracteriza pela inundação parcial e temporária da superfície do solo.

O método de irrigação por sulcos destaca-se como o mais conhecido e mais usado em todo o mundo, prestando-se para a irrigação de quase todas as culturas, especialmente para plantios em linhas, e adapta-se a diferentes tipos de solo. Apresenta boa capacidade de infiltração e baixa erodibilidade. Está subdividido nas seguintes formas:

a) Irrigação por sulcos com declividade

O método tradicional de irrigação por sulcos consiste em se aplicar uma vazão predeterminada no início do sulco, esperar o tempo para a água atingir o final do sulco, e continuar a aplicação de água até que seja aplicada, no final do sulco, a lâmina de água necessária para umedecer a profundidade efetiva do sistema radicular, quando então a irrigação é interrompida.

O manejo clássico da irrigação por sulcos utiliza uma vazão constante durante todo o tempo de irrigação. Entretanto, com a finalidade de minimizar as perdas de água por escoamento superficial no final dos sulcos, pode-se adotar vazões diferentes durante a irrigação. A redução da vazão inicial pode ser feita manualmente em sulcos individuais, ou mesmo automático ou semi-automáticamente por meio de "spiles". A água que se perde no final do sulco por escoamento superficial, pode ser reutilizada na irrigação.

Normalmente os limites de declividade para a irrigação por sulcos situam-se entre 0,2 e 1,5%. Porém, a declividade ideal deveria oscilar em torno de 0,3%.

b) Irrigação por sulcos em nível

Trata-se de uma modalidade do método de irrigação por sulcos, em que a declividade dos sulcos é nula ou em alguns casos muito reduzida, com a característica de serem fechados nas duas extremidades. O manejo da irrigação é praticamente semelhante ao de sulcos com declividade. Normalmente, estes sulcos são de pequeno comprimento, podendo variar de 30 a 90 m.

c) Irrigação por corrugação

Esta modalidade de irrigação utiliza sulcos rasos, denominados "corrugações", que são normalmente orientadas no sentido da maior declividade do terreno e são de pequeno comprimento. São utilizados em culturas de cereais, pastagem com alta densidade de plantio.

Apresenta as vantagens de reduzir ao mínimo a sistematisação do terreno e pode ser utilizado em terrenos com de-

clive de até 10%.

d) Irrigação por sulcos em ziguezague

Em terrenos com declividade muito acentuada, algumas vezes são utilizados sulcos em ziguezague, para aumentar o seu comprimento, o que concorre para a redução da declividade média, bem como da velocidade da água nos sulcos. Normalmente são utilizados em árvores frutíferas.

Os custos iniciais de implantação e de operação, normalmente, são mais elevados.

2. Método de irrigação por aspersão

Este método de irrigação se caracteriza pela aplicação de água ao solo em forma de chuva produzida mediante a passagem de água, sob pressão, por pequenos orifícios ou bocais. A pressão necessária é obtida por meio de bomba centrífuga ou do aproveitamento da pressão, devido à diferença de nível existente entre a fonte de água e a área a ser irrigada.

O método de irrigação por aspersão é empregado numa grande variedade de culturas e é adaptável a quase todos os tipos de solo. Existem sistemas de aspersores que se distinguem pela diversidade de vazões, que combinadas em diferentes espaçamentos permitem regular a intensidade de aplicação de água, tornando o sistema altamente versátil e adaptável a solos de diferentes velocidades de infiltração.

Dentro do método de irrigação por aspersão existe uma série de sistemas que são classificados como segue:

2.1- Sistemas móveis

Os sistemas móveis são divididos em duas modalidades:

a) Sistemas com movimentação manual

- Sistema portátil
- Sistema semi-portátil
- Canhão hidráulico
- Sistemas com mangueiras e aspersores terminais
- Sistema com tubulação perfurada

b) Sistemas com movimentação mecânica

- Sistema sobre rodas com movimentação longitudinal
- Sistema sobre rodas com movimentação lateral
- Pivô Central
- Autopropulsor com movimentação lateral
- Autopropulsor com canhão hidráulico
- Máquinas irrigadoras.

2.2- Sistemas fixos

- Sistema fixo portátil para culturas temporárias
- Sistema fixo permanente para culturas permanentes

Os sistemas com movimentação manual são as modalidades mais comuns no Brasil. Nesses sistemas de aspersores, as linhas com aspersores ou toda a tubulação são móveis dentro da área cultivada. Por isso, apresentam um menor custo inicial de investimentos e um maior custo de operação e manutenção.

Alguns dos sistemas com movimentação mecânica já são bastante comuns no Brasil, com utilização em pomares, pastagens, cana-de-açúcar, etc. Os sistemas do tipo pivô central e autopropulsor com canhão hidráulico ainda encontram-se numa fase inicial de implantação no Brasil, porém com um rápido desenvolvimento. Esses sistemas deslocam-se automaticamente durante o processo da irrigação. Portanto, apresentam um menor custo de investimento inicial, bem como, menores custos de operação e de manutenção.

Alguns desses sistemas podem ser empregados desde áreas pequenas até áreas relativamente grandes. Os sistemas com mangueiras e com tubulação perfuradas são características de pequenas áreas irrigadas, como por exemplo, culturas de flores e de hortaliças.

Os sistemas fixos de aspersão apresentam como característica o não deslocamento de seus componentes. Nos sistemas fixos permanentes as tubulações são enterradas a uma determinada profundidade para não prejudicar as práticas culturais. Isto requer um custo inicial de investimento muito alto, e conseqüentemente menores custos de operação e manutenção. São geralmente usados em pomares e nas regi-

ões com alto risco de geada.

O método de irrigação por aspersão, especialmente comparado com o método de irrigação por sulcos, apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Quando bem dimensionado, apresenta alta eficiência de aplicação e de distribuição de água, mesmo quando o solo é muito permeável;
- Não exige a sistematização do terreno, o que é muito importante para manter a fertilidade dos solos pouco profundos;
- Apresenta bom controle das lâminas de água aplicada, principalmente de pequenas lâminas necessárias durante a germinação das sementes e estágios iniciais de desenvolvimento das plantas;
- Permite a aplicação de fertilizantes e defensivos solúveis diluídos na água de irrigação;
- Permite a irrigação também à noite, aumentando assim o tempo de irrigação por dia, e conseqüentemente uma melhor utilização do equipamento.

Desvantagens:

- A principal limitação da irrigação por aspersão é o seu alto custo inicial de investimento. E, por outro lado, apresenta uma vida útil curta dos equipamentos;
- Requer mão-de-obra qualificada para operação e manutenção dos sistemas;
- Exige motobomba mais potente para fornecer a pressão necessária para o funcionamento dos aspersores, o que concorre para um maior consumo de combustível;
- O vento pode distorcer completamente o modelo de distribuição de água no solo;
- Pode em determinadas situações propiciar perdas apreciáveis de água por evaporação, quando empregado em regiões quentes e secas sujeitas a ventos com velocidade maior ou igual a 4 m/s;

- Pode prejudicar a polinização, devido à queda de flores, além de formar crostas endurecidas na superfície do solo, ambos efeitos provocados pelo impacto da gota d'água.

3. Método de irrigação por gotejo

O grande interesse atual pelo método de irrigação por gotejo foi despertado principalmente pelos resultados da economia de água, aliados a um substancial aumento na produção das culturas. Deve-se salientar que este sistema de irrigação não é novo, sendo mesmo um velho processo de irrigar plantas. Desde 1800 usava-se este processo na Inglaterra para irrigar plantas ornamentais em estufas, e também pode ser comparado ao velho costume chinês de aplicar água com recipientes furados de modo a gotejar ao pé da planta.

Atualmente, a irrigação por gotejo tem se desenvolvido bastante, devido, principalmente, ao aperfeiçoamento do material utilizado e aos resultados das pesquisas relativas à eficiência dos diversos sistemas existentes.

No Brasil, a irrigação por gotejo apresenta-se ainda no estágio inicial de implantação, prevendo-se um significativo desenvolvimento, para os próximos anos.

A maior concentração da área irrigada por gotejo no Brasil situa-se atualmente em São Paulo, cujas perspectivas de um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis repousam neste método de irrigação. Calcula-se que existam aproximadamente 400 ha irrigados por gotejo nesse Estado, distribuídos em pequenas e médias empresas agrícolas, abrangendo principalmente árvores frutíferas, hortaliças e flores. Entretanto, existem áreas irrigadas por gotejo também no Sul e Nordeste brasileiro, sendo esta última região a que apresenta as melhores características para o sucesso do emprego deste método de irrigação.

Tecnicamente é um sistema de irrigação que utiliza água filtrada, muitas vezes com fertilizantes, aplicando-se na superfície ou dentro do solo, por meio de gotas ou pequeno filete de água.

As peças de saídas - gotejadores - têm a propriedade de dissiparem as pressões da água dentro da tubulação, através de pequenos (\emptyset peq) ou longos percursos de fluxo, diminuindo desta maneira a pressão, de modo a permitir pequenas vazões.

A irrigação por gotejo exige um sofisticado sistema de filtragem da água e de aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos, tendo sido idealizada para condições específicas de uma agricultura altamente intensiva. Alguns dos objetivos técnicos e agrônômicos na escolha do método de irrigação para tais condições são os seguintes:

- A possibilidade de obtenção de altos valores no conteúdo de umidade ou baixos valores de potencial da água no solo, sem problemas de aeração do solo;
- Flutuações mínimas no conteúdo de umidade do solo, durante o ciclo de irrigação;
- Fornecimento de água para somente aquelas partes do solo onde a absorção de água pelo sistema radicular das plantas é mais eficiente;
- Reduzir os problemas da salinidade nas plantas: a) translocando os sais para além do volume ocupado pelo sistema radicular; b) diminuindo a concentração dos sais por manter altos conteúdos de umidade no solo; c) evitando a queima de folhas devido a acumulação de sais em sua superfície, através do contacto com a água de irrigação;
- Suprir diretamente a parte mais eficiente do sistema radicular com nutrientes;
- Economizar água pela redução na evaporação, escoamento superficial e percolação profunda.

O sistema pode trabalhar com pressão relativamente baixa e com tubos de pequenos diâmetros para as canalizações, operando 24 horas por dia, com um mínimo de mão-de-obra.

4. Irrigação por mangueira

A produção de hortaliças para o abastecimento da cidade do Recife e cidades vizinhas, é feita em vários municípios da Zona da Mata e do Agreste do Estado de Pernambuco, tais como: Vitória de Santo Antão, Chã Grande, Brejo da Madre de Deus, Camucim de S. Félix, Bonito, etc. Essas explorações são feitas sob irrigação total ou complementar, dependendo do período do ano e da localização da área de cultivo. Esta exploração agrícola compreende uma gama de fatores bastante diversificados quanto ao tipo de cultura, solo, topografia, fonte e bombeamento de água, sistemas de irrigação, etc.

Dentre os sistemas de irrigação, pode-se destacar o sistema de irrigação por mangueira que caracteriza-se pela aplicação localizada da água em lâminas bastante reduzidas que implica em uma alta frequência de aplicação d'água. Condição esta que implica num custo bastante elevado do manejo da irrigação, mas que apresenta um custo de investimento inicial baixo, por ser um sistema artesanal.

A diversificação do sistema de irrigação por mangueira utilizado nessas áreas é função do tamanho da família, tamanho e localização da área, tipo de fonte e disponibilidade de água, disponibilidade de energia, poder aquisitivo e engenhosidade do produtor.

A associação do método específico de irrigação por mangueira com o sistema de adubação com o esterco de curral (um dos componentes de sistema de produção de hortaliças), permite a exploração dos diversos tipos de solos quanto a textura, profundidade e topografia.

Caracterização

O sistema de irrigação por mangueira, caracteriza-se pela condução de água através de tubulações, distribuição de água através de mangueira flexível, e pela aplicação localizada da água no solo. Esse sistema pode funcionar sob condições de baixa e média pressão, tendendo a aproveitar a existência, na propriedade, de pontos de tomada de água com energia gravitacional, com carga hidráulica superior a 1 m.

Vantagens e limitações

Dentre as principais vantagens que esse sistema de irrigação apresenta, pode-se destacar:

- A perda de água por condução é mínima;
- A aplicação localizada de água, concorre para redução das perdas de água por percolação e por escoamento superficial;
- A mobilidade do sistema de condução e de distribuição, condiciona a redução dos custos de investimentos com o sistema de irrigação;
- O sistema de irrigação pode ser utilizado em terrenos planos e/ou os mais íngremes possíveis, necessitando apenas de uma ligeira regularização do terreno e/ou plantio em curvas de nível, respectivamente.
- Aproveitamento da fonte de água com vazões pequenas;

Dentre as limitações que merecem destaque, podemos citar:

- Elevado tempo de irrigação por unidade de área;
- O custo do manejo da irrigação tende a ser elevado, dependendo da identificação da alternativa de bombeamento de água.

Classificação do sistema de irrigação por mangueira

Classificação quanto a mobilidade do sistema de condução

Sistema Portátil - sistema com tubulação totalmente móvel, constituída por tubos dotados de engates rápidos.

Sistema Semi-portátil - sistema em que a tubulação de condução, instalada dentro da área irrigada é móvel, enquanto que a tubulação entre o ponto de tomada de água e o início da área irrigada é fixa. Normalmente as tubulações fixas devem ser enterradas para maior durabilidade do material, principalmente, quando se trata de tubulações de PVC rígido.

Sistema Fixo - sistema em que toda tubulação de condução é fixa. Entretanto permite um deslocamento temporário da tubulação de condução instalada dentro da área irrigada

com fins a facilitar o preparo do solo na entressafra de culturas temporárias.

Classificação quanto ao método de aplicação de água

Aspersão - caracteriza-se pela aplicação de água em forma de chuva artificial em que a água é aspergida através de aspersores ou bicos de regadores fixados numa das extremidades da mangueira. Os aspersores permanecem fixos quando em funcionamento, enquanto os bicos de regadores são deslocados manualmente ao longo da parcela irrigada. Os sistemas que utilizam aspersores, podem apresentar um aspersor terminal e/ou aspersores intercalados ao longo da mangueira.

Sulcos - caracteriza-se pela aplicação de água numa das extremidades do sulco, apoiando-se a mangueira na superfície do solo e irrigando-se um sulco por vez/mangueira. Normalmente os sulcos são curtos, fechados e nivelados, com comprimentos que podem variar de 12 a 30 m, dependendo da topografia do terreno.

Inundação - caracteriza-se pela aplicação de água numa das extremidades da bacia ou quadra apoiando-se a mangueira na superfície do solo e irrigando-se uma bacia por vez/mangueira. De um modo geral, são niveladas e suas dimensões oscilam em torno de 2 m x 2 m, dependendo da topografia do terreno, essas bacias poderão alcançar maiores dimensões.

Microbacia - caracteriza-se pela aplicação de água numa das bordaduras da microbacia, apoiando-se a mangueira na superfície do solo, irrigando-se uma microbacia por vez/mangueira. As microbacias são geralmente circulares e individualizadas por planta.

Classificação quanto a necessidade de bombeamento de água

Sem bombeamento - essa alternativa implica na disponibilidade de um ponto de tomada de água com energia gravitacional suficiente para o funcionamento do sistema de irrigação para uma dada condição local.

Com bombeamento e sem reservatório - nessa condição, o bombeamento da água é feito através de conjunto motobomba, diretamente da fonte de água para a parcela irrigada.

Com bombeamento e com reservatório - nesse caso, a água é bombeada para um reservatório de água que deve ser localizado num ponto com cota superior ao da área a ser irrigada, com energia gravitacional suficiente para o funcionamento do sistema de irrigação projetado.

10. Manejo de sistema de irrigação por aspersão

Após a instalação de um sistema de irrigação por aspersão, devem-se realizar testes de campo, para conhecer o desempenho dos equipamentos, bem como a distribuição e lâmina de água aplicada, numa dada condição média de funcionamento, visando o ajustamento do sistema de irrigação para um manejo mais eficiente.

Fatores que influem no funcionamento dos aspersores

a) Bocal - o perfil de distribuição da água no solo varia em função das dimensões e formatos dos bocais. Os aspersores de baixa e média pressões são compostos por dois bocais, que proporciona um modelo de distribuição triangular, sob condições de pressão ótima e vento calmo. Os aspersores de tamanho pequeno são os mais recomendados para a irrigação em hortaliças.

b) Pressão - a vazão do aspersor é função da seção reta do bocal e da pressão. Assim, cada modelo de aspersor deve funcionar dentro dos intervalos de pressões especificados pelo fabricante, para assegurar uma ótima distribuição de precipitação e tamanho de gota. Uma pressão excessiva acarretará uma redução da vida útil dos aspersores, excessiva pulverização do jato d'água, redução do alcance e uma elevada precipitação nas imediações do aspersor. Por outro lado, baixas pressões implicará numa divisão inadequada do jato d'água e conseqüentemente uma desuniformidade de distribuição proporcionando uma maior deposição de água na ex

tremidade da área molhada. O alcance do aspersor aumenta com o incremento da pressão até um ponto ótimo, quando então passa a decrescer. Figura 6.

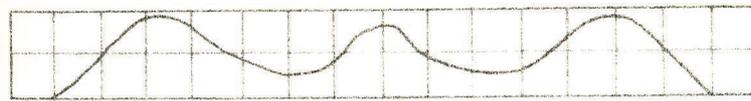
A diferença de pressão entre o primeiro e o último aspersor de uma linha lateral, não deve ultrapassar 20%, para que a diferença de vazão entre esses aspersores, não seja maior que 10%.

As quedas de pressão é função do diâmetro da tubulação lateral, vazão dos aspersores, número de aspersores por linha lateral e topografia do solo.

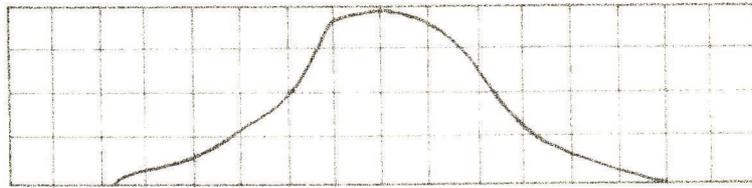
A combinação correta entre pressão e diâmetro do bocal do aspersor, resultará numa correta distribuição de água, dentro de um tamanho adequado de gotas, em relação ao tipo de solo, planta e alcance do jato. Quando as gotas são maiores que 4 mm de diâmetro tende a prejudicar as folhas das plantas delicadas e formar incrustações na superfície dos solos argilosos. A compactação da camada superficial do solo pela irrigação, é um fator de extrema importância para as culturas de bulbos, como a cebola. Os solos compactados prejudicam sensivelmente a produtividade e formato do bulbo, tornando-os alongados e de baixa aceitação comercial.

c) Superposição e espaçamento dos aspersores - o movimento giratório dos aspersores, condiciona uma distribuição de água em modelo circular. Para assegurar uma distribuição de precipitação que esteja dentro dos limites de aceitação, é necessário que haja superposição dos círculos molhados, tanto na linha de aspersores, quanto entre eles. O espaçamento demasiado entre aspersores ou entre ramais provocarão áreas secas, em que a deficiência de umidade no solo afetará negativamente, o desenvolvimento vegetativo das plantas, especialmente a cultura bastante sensível ao teor de água disponível no solo, em todas as suas fases fenológicas. Fig. 7.

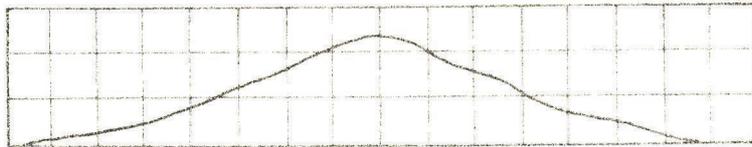
Assim, o espaçamento entre aspersores deve ser de 60 a 65% do diâmetro molhado do mesmo aspersor, sob as condições de vento fraco. Para que se tenha uma boa uniformida-



PRESSÃO MUITO BAIXA



PRESSÃO MUITO ALTA



PRESSÃO SATISFATÓRIA

Figura 6 - VARIACÃO NA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DO ASPERSOR COM A PRESSÃO.

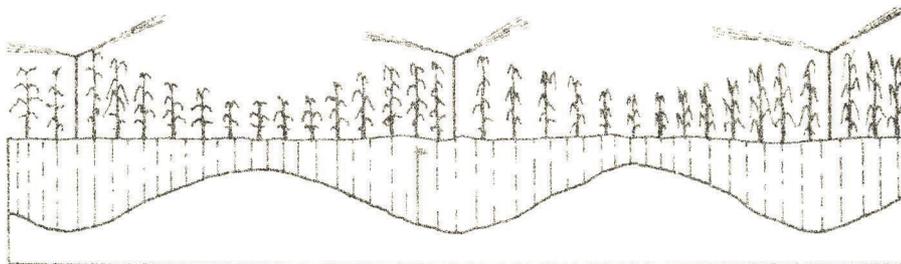


Figura 7 - ESPAÇAMENTO EXAGERADO DETERMINA UMA DEFICIENTE UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO

de de distribuição, é aconselhável adotar os espaçamentos com 64 a 65% do diâmetro do círculo molhado, sob a condição de vento fraco. No caso de vento mais forte, a distância entre aspersores deve ser menor. Fig. 8.

Este espaçamento deve ser determinado em ensaio de campo sob diferentes condições de pressão e vento pelo teste uniformidade de distribuição de água.

d) Vento - elemento que tem grande influência para o método de irrigação por aspersão. Pois deforma o alcance do aspersor e o modelo de aplicação, ocasiona a formação de áreas super-umedecidas e de áreas secas. As áreas com excesso de umidade acarretarão ao desenvolvimento de doenças.

No planejamento de um projeto deve-se levar em consideração a velocidade e direção dos ventos predominantes. No caso de ventos fortes, se obtém uma melhor uniformidade de distribuição, quando se dispõem a linha principal e laterais num ângulo de 45°, em relação a direção dos ventos predominantes. Às vezes é preferível colocar as laterais perpendicular à direção dos ventos predominantes, Fig. 9. Porém, é necessário encurtar a distância entre aspersores, para se obter uma melhor distribuição.

e) Declividade do solo - este fator é de suma importância para uma boa uniformidade de distribuição. Para isto, deve-se colocar as laterais no sentido normal a máxima declividade, de maneira que o primeiro e o último aspersor de uma mesma lateral estejam em nível. Isto é necessário, para que se tenha uma pressão mais ou menos semelhante, em todos os aspersores de uma mesma lateral, para que a variação de vazão entre eles seja aceitável.

A irrigação por aspersão permite o cultivo dos terrenos inclinados, ajustando a intensidade de aplicação, com a infiltração do solo e declividade do terreno.

f) Rotação dos aspersores - a velocidade de rotação dos aspersores depende do mecanismo de suas peças acessórias e da pressão de serviço. A variabilidade de rotação entre os

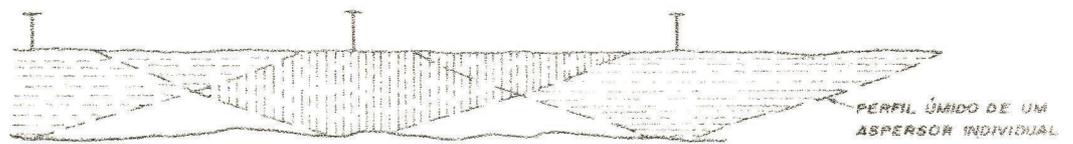


Figura 8 - APLICAÇÃO ACUMULADA COMO RESULTADO DE UMA CORRETA SUPER POSIÇÃO.

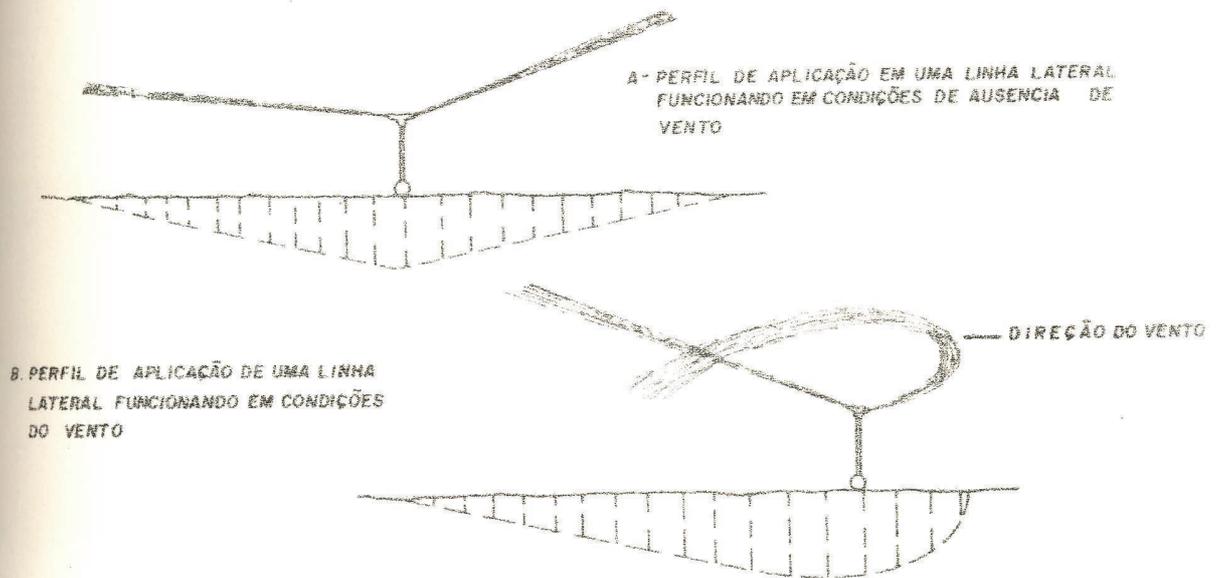


Figura 9 - MODELO DE APLICAÇÃO EM CONDIÇÃO DE VENTO VARIÁVEL.

aspersores de um mesmo campo, trás como consequência a desuniformidade de distribuição de umidade. Essa variação de velocidade é ocasionada por peças estragadas, aspersores novos com peças apertadas ou frouxas. Pode-se observar que o alcance de um aspersor estático é maior que quando em rotação. O diâmetro da área molhada é inversamente proporcional a velocidade de rotação dos aspersores, e isto implicará na ocorrência de áreas secas, prejudicial ao desenvolvimento das culturas.

g) Disposição dos aspersores - os aspersores podem ser *dispostos num espaçamento quadrangular e triangular*. Sendo a última disposição de uso mais raro devido a dificuldade de manejo que apresenta para a maioria dos agricultores. Nas regiões, onde os ventos são dominantes, deve-se adotar a disposição retangular, em que as linhas laterais são perpendiculares a direção dos ventos.

Avaliação do sistema de irrigação por aspersão

O coeficiente de uniformidade de distribuição é um processo estatístico, comumente utilizado, para a avaliação do sistema de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção, o valor de 80% é o mínimo aceitável para um desempenho normal do sistema.

Dentre os procedimentos de campo, podemos destacar a escolha da posição de funcionamento da linha lateral e da posição dos aspersores na linha lateral. Portanto, deve-se selecionar uma linha lateral instalada numa posição de funcionamento intermediário. Enquanto os aspersores selecionados devem estar próximo do $1/3$ do comprimento da linha lateral. Devem-se instalar um mínimo de 24 recipientes (latas) numa quadrícula não excedendo 3 m x 3 m de espaçamento. Os recipientes devem estar localizados entre 2 ou 3 aspersores, de modo a cobrir toda a largura em que a água vai ser aplicada. A Fig. 10, mostra duas disposições distintas dos recipientes em relação aos aspersores.

Para se determinar a evaporação durante o teste, deve-se utilizar um recipiente com uma quantidade de água pre-

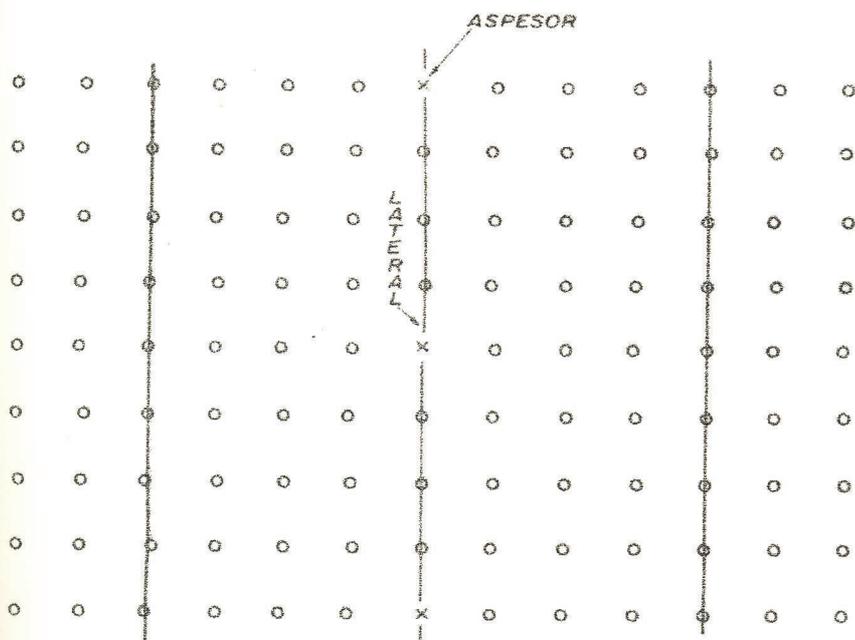
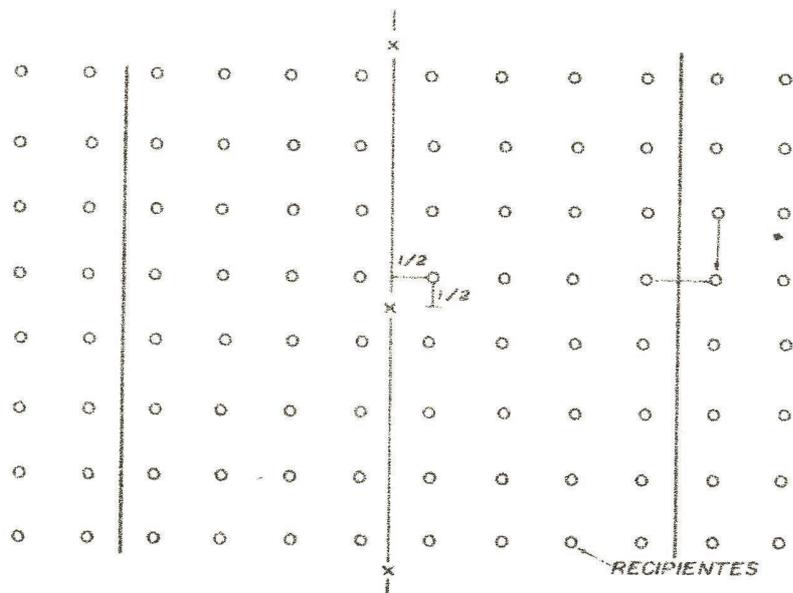


Figura 10 - Disposição dos recipientes para a realização do teste.

viamente conhecida e por medição no final do teste obtém-se a lâmina de água evaporada. A duração do teste deve variar de 40 a 60 minutos.

Após a realização do teste, os dados deverão ser convertidos em lâmina de água aplicada. Para isto, divide-se o volume de água coletada nos recipientes pela área do recipiente.

Os parâmetros para a avaliação do sistema de irrigação por aspersão são os seguintes:

a) Uniformidade de Distribuição (UD)

$$UD = \frac{\text{lâm. mín. coletada}}{\text{lâm. méd. coletada}} \times 100$$

Obs. A lâm. mín. coletada é obtida através da média de 1/4 dos valores mínimos observados.

b) Coeficiente de Uniformidade (CU)

$$CU = \left(1 - \frac{\Sigma d}{\text{lâm. méd. coletada}} \right) \times 100$$

Em que: Σd = somatório dos desvios em relação a média em valor absoluto (mm).

c) Eficiência de Irrigação (Ei)

$$Ei = \frac{\text{lâm. mín. coletada}}{\text{lâm. méd. aplicada}} \times 100$$

$$\text{lâm. méd. aplicada} = \frac{1000 \times \text{vazão do aspersor (m}^3/\text{h)}}{Ei (m) \times E_2 (m)}$$

11. Manejo de água no método de irrigação por sulco

A análise detalhada dos elementos básicos de um sistema de irrigação proporciona a obtenção de informações que permitem a avaliação de seu desempenho, assim como possíveis

modificações que possam corrigí-lo.

A avaliação do sistema de irrigação por sulcos é feita em condições de campo, mediante as seguintes observações: vazão máxima não erosiva; avanço da água no sulco; infiltração; perdas de água por percolação; perdas de água por escoamento superficial no final do sulco; eficiência de aplicação e de distribuição; redução de vazão.

A vazão aplicada por sulco é um dos fatores mais importantes para a obtenção de uma irrigação eficiente. A vazão máxima não erosiva que um sulco pode consuzir, depende de muitos fatores, destacando se entre eles a declividade e a erodibilidade do solo.

No sistema de irrigação por sulco, a velocidade da frente de avanço d'água é de extrema importância, pois é através da curva de avanço que se determina o comprimento ideal dos sulcos e a vazão máxima não erosiva, que são os parâmetros que exercem marcantes influências na eficiência de irrigação.

Declividades desuniformes geralmente resultam em aplicações de lâminas de irrigação desiguais ao longo do sulco, podendo causar erosão nos trechos mais inclinados e deposição de solo nos trechos com depreções. Isto trás sérios prejuízos para as culturas, como o transporte de fertilizantes pela erosão ou devido à lixiviação de nutrientes para baixo da zona radicular, e do prolongamento do encharcamento do solo pela acumulação excessiva de água.

Do ponto de vista prático e econômico, os sulcos poderiam ser tão longo quanto possível. Porém, o comprimento máximo dos sulcos dependerá essencialmente da velocidade de infiltração e da vazão máxima não erosiva, a qual está subordinada à declividade e ao grau de erodibilidade do solo.

A determinação do comprimento de sulcos se baseia na análise da curva de avanço obtidas com vazões de diferentes tamanhos. O comprimento máximo permitido aos sulcos seria aquele no qual a vazão máxima não erosiva tivesse pouca influência na distribuição de água na zona radicular ao lon-

go do sulco e que minimizasse as perdas de água por percolação profunda e por "runoff".

Os grandes investimentos aplicados nos projetos de irrigação exigem um critério eficiente na utilização da água. A eficiência de uso da água nos projetos de irrigação onde a água é abundante, ou de baixo custo, torna-se um fator secundário. Porém, quando este recurso é escasso, seu uso eficiente passa a apresentar maior interesse.

O Serviço de Conservação do Solo dos E.U.A. define o manejo eficiente da água de irrigação, como sendo uma situação em que a lâmina d'água aplicada em cada irrigação é determinada em função da capacidade de retenção do solo e da necessidade da cultura, e que a taxa de aplicação possibilite o uso eficiente pela cultura, de modo que a erosão do solo seja insignificante.

Da água aplicada nas parcelas somente parte é utilizada pelas culturas, sendo o restante perdido por evaporação, por percolação e por "runoff".

As perdas de água por percolação e por "runoff" não se destacam, apenas como um desperdício de água, mas também de energia, principalmente quando as estações de bombeamento estão localizadas a grandes diferenças de nível e/ou a grandes distâncias em relação à área irrigada. Causa também problemas de drenagem e de salinização nas áreas abaixo daquela sob irrigação.

Destacam-se ainda, a lixiviação de nutrientes hidrossolúveis para as camadas abaixo da zona radicular e/ou transporte de nutrientes, pesticidas e partículas de solo pela água de "runoff", apresentando-se como uma fonte de potencial de poluição dos recursos hídricos. A avaliação de "runoff" normalmente não excederá a $2/3$ da vazão inicial. Ela aumenta com o tempo e tende a estabilizar-se no final do tempo de irrigação. O tempo de "runoff" igual à metade do tempo de aplicação, com uma vazão máxima de "runoff" igual a $2/3$ da vazão inicial, resulta num volume de "runoff" de aproximadamente 25% do volume de água aplicado. Uma vez que, muitas variáveis podem influenciar a velocidade de in

filtração durante a irrigação, e a vazão de aplicação, usualmente não é bem controlada, o volume de "runoff" pode variar consideravelmente. Afirma ainda que, um volume de "runoff" projetado que seja o dobro do volume previsto terá normalmente uma probabilidade de ser excedido de apenas 10% dos casos. Portanto, o volume d'água aplicado em solos de permeabilidade baixa a moderada, sendo esse limite de 60% para solos mais permeáveis, onde se utiliza maiores vazões para diminuir o tempo de avanço e reduzir a percolação profunda.

Os solos arenosos normalmente apresentam as mais baixas capacidades de retenção de umidade, o que implica em irrigações mais frequentes e, em razão da sua elevada velocidade de infiltração, em perdas excessivas por percolação profunda. Por outro lado, os solos argilosos que apresentam uma alta capacidade de retenção de umidade e baixa velocidade de infiltração, tendem a apresentar perdas acentuadas por "runoff".

Os fatores abaixo discriminados, conduzem à obtenção de baixas eficiências de irrigação:

a) Superfícies irregulares: o mal preparo de terreno provoca o estancamento de água nas depressões, o que dificulta muito a uniformidade de distribuição de água;

b) Métodos inadequados para distribuição e aplicação de água

c) Vazão e tempo de aplicação inadequados: o uso de grandes vazões em sulcos curtos e com solos de baixa permeabilidade, produz apreciável escoamento superficial, e o uso de pequenas vazões em sulcos longos e com solo muito permeável, ocasiona grandes perdas por percolação no trecho inicial do sulco;

d) Aplicação de volume excessivo de água em cada irrigação: o que supera a capacidade de armazenamento de água pelo solo na profundidade efetiva do sistema radicular das culturas, implicando em perdas por percolação profunda;

e) Reinício das irrigações quando o teor de umidade do solo se encontra acima do nível pré-estabelecido.

A ocorrência de baixas eficiências de distribuição no sistema de irrigação por sulcos, deve-se ao uso de pequenas vazões que concorrem para uma infiltração excessiva no trecho inicial do sulco e de uma infiltração deficiente no trecho final, o que concorre para a obtenção de uma produção desuniforme ao longo do sulco.

Estudando-se o manejo de água a nível de parcela no projeto piloto de irrigação de Bebedouro, Petrolina-PE, constatou que a eficiência de aplicação variou de 26 a 39%, enquanto a eficiência de distribuição oscilou de 45 a 53%.

Alguns aspectos de fertilidade do solo relacionados com a prática de adubação:

Clementino Marcos Batista de Faria^{1/}

^{1/} Pesquisador do CPATSA-EMBRAPA - C.P. 23 - Petrolina-PE.