

CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO

Antonio Evaldo Klar

Dep. Eng. Rural - FCA - UNESP18603-970 - Botucatu - SP

Fone: (0xx14) 6820-7165; Fax: 6 820-7194 - E'mail: klar@fca.unesp.br

1 RESUMO

As águas nas diferentes regiões da terra dificilmente estão disponíveis nas melhores condições de aproveitamento agrícola. Por ser um bem finito, sua utilização está cada vez mais comprometida, não só pelo acréscimo incontrolável da população como pelo aumento da poluição das águas, decorrente desse acréscimo. Os países adotam providências constantes, como: legislações específicas para uso controlado das águas; águas servidas são reaproveitadas, mormente nas zonas áridas e semi-áridas, etc.

Muitos estudos foram dirigidos envolvendo a resistência à seca das plantas, visando a manutenção da produtividade com maior economia de água.

Transposição de bacias tornaram viáveis aumentos extraordinários na produção de alimentos. Um exemplo típico é a Califórnia, cuja agricultura, antes da década de trinta, era tão incipiente que assemelhava-se ao Nordeste brasileiro. Não havia água para as diferentes atividades. Atualmente, se aquele Estado americano um país fosse, seria o quinto maior produtor de alimentos do mundo. O segredo? Tecnologia aplicada, capitaneada pela transposição de bacias desde o Norte para o Sul em mais de 3.000 km de canais revestidos. A medida em que se distancia da fonte, a água vai ficando mais cara e os métodos de irrigação tornando-se mais eficientes: enquanto no Norte todos os métodos de irrigação são usados e todas as culturas são cultivadas, no Sul, o preço obriga ao uso dos métodos mais eficientes, como a irrigação por gotejamento, e culturas mais rentáveis são cultivadas, como o morango e o abacate.

Israel aumentou sua área irrigada de 180.000 para 450.000 ha com a transposição das águas do Lago Tiberíades. A produtividade das culturas e a eficiência de uso de água também aumentaram significativamente, com a tecnologia aplicada, incluindo a eliminação da irrigação por superfície.

A escolha correta do método de irrigação é um dos parâmetros mais difíceis com que se defronta um técnico, pois vários são os fatores intervenientes: a cultura com suas peculiaridades, o solo com suas propriedades inerentes, o clima com suas constantes e variabilidades, os parâmetros econômico-financeiros, o homem com suas características locais, educacionais, etc.

No Brasil, a área irrigada não atinge os 3 milhões de km², enquanto nos USA, irriga-se uma área dez vezes maior com tendência ao aumento do uso da irrigação localizada, muito mais eficiente. A área irrigada na Índia e na China é, ainda maior que nos USA. Em todos estes países, a transposição de bacias é uma constante. Há projetos

de irrigação em que os rios quase não chegam a desembocar no Mar, suas águas são todas aproveitadas, principalmente na agricultura.

O presente estudo visa avaliar quais as melhores condições para a melhor aplicação dos métodos de irrigação existentes, envolvendo todos os fatores intervenientes.

UNITERMOS: irrigação localizada, superficial e aspersão.

KLAR, A E. CRITERIA FOR IRRIGATION METHOD CHOICE

2 SUMMARY

Water is a finite resource and its use is being more and more complicated. Several factors actuate in order to affect this important resource, mainly the high and uncontrollable earth population increase, which also increases water pollution. All countries are producing legislation and norms for different water use, mainly in arid and semiarid areas.

Many studies were and are developed for better knowing plant drought resistance, in order to increase crop yields with water economy.

Basin transposition was an important tool for the agricultural development and food increase in many countries, mainly in developed ones. In the USA, specifically in California, before basin transposition, the State had an incipient agriculture, and nowadays, if an independent country, it was the fifth agricultural country of the world. The secret? Basin transposition and technology application. The USA have ten times more irrigation areas than Brazil, mainly in arid and semi-arid zones. Israel increased the agricultural areas from 180,000 to 450,000 ha through water transposition from Tiberiades Lake, and nowadays exports agricultural products.

The correct irrigation method selection is very difficult. Several factors must be considered: the particularities of the different crops; the peculiarities and characteristics of the different soils; the constants and variabilities of the climate; the economic and financial parameters; the man and its local characteristics, instruction and education degrees.

The irrigation area in Brazil does not reach 3 million ha, too low for the country area, the available water and the population food needs. Lately, the country has imported bean, rice, maize, wheat, etc., which is not conceivable for the high available agricultural area. The irrigation area is increasing slowly, mainly the center pivot and drip irrigation, the most efficient methods for water economy. The tendency is to decrease the water amount going to the oceans, mainly in developed countries.

KEYWORDS: drip, sprinkler and superficial irrigation methods.

3 INTRODUÇÃO

Já é fato sobejamente conhecido que a água é um bem finito que está se tornando cada vez mais escasso, principalmente pelo aumento incontrolável da população. Países disputam este bem precioso e legislam sobre sua utilização. A organização e legislação do uso e da aplicação da água já ocorre em vários Estados brasileiros, incluindo São Paulo, cujos rios principais estão cada vez mais devastados pela poluição, pelo não tratamento das águas servidas e pela cultura arraigada de que tudo que a natureza oferece pode ser utilizado impunemente sem quaisquer cuidados. A reciclagem e o reaproveitamento das águas é comum nos países desenvolvidos, mormente naqueles com zonas áridas e semi-áridas, principalmente para aplicação em agricultura. Outros estudos visam desenvolver e detectar plantas resistentes à seca (Klar et al., 1978; Klar et al., 1985; Klar e Martinez-Carrasco, 1986; Klar e Denadai, 1996) e, recentemente, um cientista da Universidade da Califórnia, J. Schroeder*, conseguiu identificar os genes que controlam o ácido abscísico, entre eles, o "Era I". O ácido abscísico tem sua produção aumentada quando a planta entra em estresse hídrico, afetando o mecanismo de fechamento dos estômatos e, por conseqüência, atua decisivamente na perda de água pelas plantas. Por outro lado, este fechamento faz decrescer, substancialmente, a entrada do gás carbônico pelos ostíolos, o que acarreta queda intensa no processos fisiológicos de crescimento e de outros que ocorrem nos vegetais. As plantas sem o Era I são muito sensíveis ao hormônio e cerram os estômatos em potenciais de água das folhas mais elevados.

As águas, nas diferentes regiões da terra, não estão dispostas em termos de melhor aproveitamento agrícola, daí a transposição de bacias ser uma das práticas mais importantes para ampliação das zonas agricultáveis. Mormente nos países desenvolvidos, como os Estados Unidos da América, cuja produção de grãos é cerca de dez vezes maior que a do Brasil, a transposição de bacias é responsável por grande parte dos quase 30 milhões de hectares irrigados, valor este também dez vezes maior que o do Brasil. Outros países desenvolvidos mostraram quão importante é a transposição de bacias: Israel o fez com as águas do Lago Tiberíades. O grande problema da seca do Nordeste Brasileiro pode ser bastante amenizado com a transposição de parte das águas do Rio São Francisco. Inclua-se também, embora mais dispendiosa, a do Tocantins para a do próprio São Francisco, como um segundo passo. Levando-se em consideração apenas a agricultura, a água é o insumo primeiro para o aumento da produtividade das culturas, pois afeta o transporte de nutrientes e as várias reações bioquímicas e fisiológicas. A escolha do método mais adequado para aplicação racional de água torna-se um dos fatores mais importantes para economia da água em relação a outros aspectos envolventes. Transparece que os métodos pressurizados estão, paulatinamente, substituindo os de gravidade ou superficiais. Surgem diferentes fatores que interferem decisivamente para a escolha do método mais adequado, como: a topografia, a forma e o tamanho do terreno, o tipo de solo, o clima (ventos, quantidade e freqüência das chuvas, evapotranspiração,

* J. Schoeder. FAPESP Pesquisa. Dez, 1999. P27

etc.), a quantidade e a qualidade da água disponível, os fatores de ordem econômica (investimento inicial, manutenção e eficiência do sistema, mão de obra disponível), além das características pessoais do agricultor.

O propósito deste trabalho é rever e analisar as condições necessárias para a aplicação de cada método de irrigação, a fim de permitir uma opção criteriosa e eficiente, face aos diferentes fatores intervenientes. Às vezes, a escolha torna-se difícil, exigindo ensaios e observações mais acuradas. Aqui serão expostos apenas os fatores mais importantes que afetam decisivamente as opções existentes.

4 OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Os métodos de irrigação podem ser classificados em:

- GRAVIDADE OU DE SUPERFÍCIE que podem ser: sulcos, inundação por tabuleiros e por faixas com a água sendo distribuída pela ação da gravidade;

- PRESSURIZADOS: há necessidade de aplicar pressão à água, havendo dois grupos de métodos: Irrigação por Aspersão e Localizada.

A Aspersão utiliza o impacto da velocidade da água contra o ar, para pulverizar o jato em gotas. Pode ser classificada em: portátil ou convencional, permanente e mecanizada.

A Localizada coloca a água no "pé" da planta em pequenas vazões e altas frequências. Há dois tipos principais: gotejamento e microaspersão.

- SUBIRRIGAÇÃO: neste método, a água pode ser aplicada através da elevação do lençol freático sempre abaixo da superfície do solo.

- IRRIGAÇÃO SUBTERRÂNEA: atualmente, está sendo utilizado o gotejamento subterrâneo com resultados bastante animadores.

A descrição destes métodos pode ser encontrada em vários compêndios especializados (Olitta, 1978; Bernardo, 1981; Benami e Offen, 1984; Abreu e Regalado, 1987; Keller e Bliesner, 1990; Gomes, 1994; Martin-Benito, 1999 e outros).

4.1 Irrigação por Gravidade ou por Superfície

Pode ser dividida em: SULCOS E INUNDAÇÃO

4.1.1 Sulcos

A água se escoia por sulcos pela superfície do solo. O sistema é indicado para culturas em linha como milho, cana, algodão, batata, frutíferas e oleaginosas. A vazão varia de 0,2 a 2 l/s em cada sulco, com declive de 0 a 2%. No sentido perpendicular ao

fluxo, o declive pode atingir até 5%, com medidas contra erosão. O comprimento varia de 50 a 300 m ou mais, dependendo do teste de infiltração.

A irrigação por sulcos pode ser constituída por sulcos retos ou em declive.

4.1.1.1 Sulcos Retos

Sulcos retos em nível

Vantagens:

- aproveitamento quase total da água, pois não há perdas no final do sulco;
- permitem boa distribuição de água;
- aplicáveis preferencialmente em solos com baixa velocidade de infiltração;
- têm boa distribuição de água.

Sulcos retos em declive

- a estrutura não precisa ser mudada a cada cultivo;
- investimento inicial relativamente baixo, desde que não necessite de grande sistematização.

Desvantagens:

- montagem da infra-estrutura de controle da aplicação e distribuição da água no sulco;
- exige adequada uniformização do terreno;
- possibilidade de maior salinização do terreno em relação aos outros métodos, mormente em zonas áridas e semi-áridas.

Sulcos em Contorno

Os sulcos acompanham as curvas de nível. As vazões devem ser baixas em terrenos declivosos, para evitar transbordamento, provocando erosão nos sulcos.

Vantagens:

- usados em terrenos com acentuado declive;
- indicados para superfícies irregulares sem necessidade de sistematização;

Desvantagens:

- maior emprego de mão de obra que nos sulcos retos;
- podem impedir a passagem de máquinas agrícolas.

Sulcos em Zigue Zague

Usados principalmente em fruteiras e plantas perenes em geral.

Vantagens:

- são indicados para solos de baixa capacidade de infiltração, com declive moderado, pois aumentando o comprimento do sulco pode-se diminuir o declive médio e a velocidade da água.

Desvantagens:

- exigem sistematização do terreno com mais despesas que os sulcos retos.

Sulcos denteados

Usados também para plantas perenes, com as mesmas vantagens e desvantagens dos em zigue zague.

4.1.2 Inundação por Tabuleiros

Inundação total da superfície do solo, com acumulação da água, como nos tabuleiros de arroz. Declive próximo a 0% em ambos os lados, compreendidos em diques paralelos.

Convém usar solos com o lençol d'água próximo da superfície para a cultura do arroz, havendo, então, economia de água pois haverá pouca perda por percolação.

O tamanho de cada tabuleiro pode ir até 5 ha em solos planos e argilosos.

Vantagens:

- pouca perda por escoamento superficial;
- uso em solos com baixa infiltração;
- controle de ervas daninhas;
- aproveitamento da água das chuvas;
- lixiviação do excesso de sais solúveis;
- erosão praticamente nula;
- permite a deposição de limo e argila;
- permite a piscicultura

Desvantagens:

- necessidade de uniformização da área;
- perda de área de cultivo e dificuldade de uso de máquinas agrícolas devido aos camalhões em tabuleiros menores;
- problemas com insalubridade, como o aumento da incidência de mosquitos;
- inadaptabilidade aos solos com alta infiltração.
- exige grandes vazões;
- baixa eficiência de irrigação;
- reduz a permeabilidade do solo;
- impede a aeração do solo;
- modifica o equilíbrio do nitrogênio do solo;
- dificuldades quando a área apresenta variações do tipo de solo.

4.1.2 Faixas em Declive

A água é aplicada em faixas de terreno separadas por camalhões paralelos. O declive entre dois diques (largura) aproxima-se de 0% e no sentido longitudinal de até 2%. Podem medir de 50 a 500 m de comprimento e de 4 a 20 m de largura.

Usados para plantas forrageiras, pastagens e algumas culturas em fileiras de pequeno espaçamento.

Vantagens:

- distribuição ao longo da faixa de modo uniforme;
- mão de obra reduzida, pois pode-se mecanizar;
- pode ser usada em terrenos pesados.

Desvantagens:

- maior dificuldade de uniformização;
- perda de área devido aos camalhões;
- os camalhões, tal como ocorre em todos os projetos de inundação, dificultam a mecanização.

VANTAGENS GERAIS DA IRRIGAÇÃO POR GRAVIDADE

1. Menores custos.
2. Simplicidade operacional.
3. Elevado potencial de aumento da eficiência de irrigação.
4. Menor consumo de energia.
5. Não interferem nos tratamentos fitossanitários.
6. Permitem o uso de águas com elevado teor de sólidos em suspensão, de algas, ou mesmo poluídas em determinadas situações. Não exigem filtração da água.
7. Maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais.
8. Não sofrem a influência dos ventos.
9. Independem de assistência técnica, comparando-se aos demais métodos.
10. Possibilidade de automação.

DESVANTAGENS GERAIS DA IRRIGAÇÃO POR GRAVIDADE

1. Acentuada dependência das condições topográficas. Exige sistematização quase sempre.
2. Inadequada para solos altamente permeáveis.
3. Envolve ensaios de campo no seu dimensionamento.
4. Exige reavaliações freqüentes.
5. O sistema não pode ser deslocado para outras áreas.
6. A cultura deve-se adaptar ao método.
7. Medidas de controle da erosão devem ser efetivadas constantemente.
8. Não existe interesse comercial envolvido por firmas especializadas, que pode ser um dos motivos da falta de estudos para o aumento de sua eficiência, que é baixa.
9. Pode trazer problemas em solos sujeitos à salinização.

4.2 Irrigação Pressurizada

4.2.1 Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão caracteriza-se por aplicar a água acima da superfície do solo, através de dispositivos, chamados aspersores. A água, saindo dos aspersores, com velocidade elevada, encontrando a resistência do ar, se desfaz em gotas, caindo sob a forma de chuva.

Os aspersores podem ser divididos, quanto à **pressão de trabalho**, em:

- **pressão muito baixa** (4 a 20 mca e pequeno raio de ação de 1 a 3 m): destinados a pomares e jardins, como os microaspersores;

- **pressão baixa** (10 a 20 mca e raio de ação de 6 a 12 m): rotativos, para pequenas áreas e irrigação sob copa;

- **pressão média** (20 a 40 mca e raio de ação de 12 a 36 m): adaptam-se a quase todos os tipos de solo e cultura;

- **alta pressão** (40 a 100 mca e alcance de 30 a 80 m): usados em cana de açúcar, pomares e pastagens na forma de montagem direta e autopropelidos

A Irrigação por Aspersão também pode ser dividida em convencional e mecanizada.

4.2.1.1 Convencional ou Portátil

Todos os componentes (motobomba, tubulações principal, laterais e aspersores) são portáteis. Comparando-se com os outros sistemas de aspersão apresenta vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- mobilidade;
- menor investimento de capital;
- indicado para irrigação suplementar.

Desvantagens:

- maior custo de mão de obra treinada para o deslocamento das linhas laterais e do sistema;

4.2.1.2 Permanente

O sistema fica instalado todo o tempo com todos os seus componentes. Os aspersores são, em geral, de tamanho médio ou pequeno. Indicados para culturas de alto retorno por unidade de área e para as permanentes. As vantagens, em relação aos outros sistemas de aspersão são:

Vantagens

- menor custo de mão de obra;
- não interfere nas culturas pelo movimento de mudanças de linhas.

Desvantagens:

- alto investimento inicial;
- necessidade de culturas em linha e que facilitem a mecanização.

4.2.1.3 Tracionado ou Montagem Direta

É um sistema mecanizado que pode ser movimentado por um trator, que também pode acionar a bomba que está acoplada a um canhão hidráulico. O conjunto pode ser ligado a uma mangueira flexível com até 300 m de comprimento. O sistema pode ser acionado por um motor estacionário de combustão interna, e estacionado ao lado de um reservatório ou canal, captando a água por mangotes flexíveis.

Vantagens:

- indicado para áreas de até 40 - 60 ha, irrigando cerca de 0,7 a 1,0 ha por posição, sendo muito usado para distribuição de vinhaça;
- investimento inicial relativamente baixo;
- pouca mão de obra para operação;
- os canais não precisam ser revestidos em solos argilosos.

Desvantagens

- baixa uniformidade de distribuição, principalmente em declives ou aclives e quando o canhão estiver mais distante da motobomba;
- perdas de área, se os canais tiverem espaçamentos muito estreitos;
- consumo maior de energia, pois os canhões são de alta pressão;
- necessidade de abertura dos canais para condução de água, principalmente em topografia irregular;
- perdas de água por percolação nos canais.

4.2.1.4 Mecanizados

Podem ser divididos em autopropelidos e sobre rodas

a) Autopropelidos

São divididos em convencional e enrolador.

a.1) Autopropelido Convencional

Os componentes envolvem a motobomba, o carrinho com unidade acionadora, o carretel enrolador da mangueira, a âncora hidrante e um aspersor canhão ou vários aspersores médios montados numa barra. Há, ainda, a tubulação adutora com os hidrantes

a cada 100 m, aproximadamente. A área irrigada por posição é em torno de 5 ha, usando-se mangueira flexível de 200 m, irrigando uma área de 400 m de comprimento por 130 m de largura por posição. Pode irrigar até 70 ha, trabalhando 24 h/dia. A velocidade de deslocamento gira em torno de 40 a 100 m/h. O carrinho caminha impulsionado pela pressão da água, com o carretel que enrola um cabo de aço de comprimento equivalente ao da faixa a ser irrigada, desligando-se automaticamente ao final do percurso. O carretel pode ser movido com o auxílio de um pistão, turbina ou torniquete hidráulico, dependendo do tamanho do equipamento. Com o auxílio de um pequeno trator, o conjunto se desloca para outra faixa. A vazão vai até cerca de 200 m³ por hora.

Vantagens:

- pode irrigar áreas com declive de até 20%;
- exige reduzida mão de obra;
- possui boa uniformidade de distribuição de água.

Desvantagens:

- requer trator e o respectivo operador;
- o jato é sujeito a ventos, como ocorre nos sistemas que usam a aspersão;
- a mangueira tem vida útil relativamente curta;
- requer mais energia devido à pressão de trabalho necessária que exige de 60 a 90 mca na bomba, pois além de ter de fazer funcionar o aspersor canhão, também é usada para movimentar o conjunto.
- devido às gotas serem maiores, limita as culturas pelo impacto que ocasiona;
- perde eficiência na distribuição de água devido às irregularidades e do segmento de mangueira a ser tracionado e que afetam a força motriz.
- o arrasto da mangueira pode destruir plantas.

a.2) Autopropelido Tipo Enrolador

Constitui-se de uma carreta, que fica estacionária, dotada de um tambor que enrola uma mangueira de comprimento de 250 a 500 m que, por sua vez, puxa um aspersor canhão montado sobre uma carreta de 3 rodas ligado na extremidade da mangueira.

Vantagens:

- dispensa o uso de cabo de aço;
- o tubo maleável de polipropileno pode atingir até 1000 m;
- dispensa o uso de carreadores para o deslocamento do carrinho com o aspersor;
- permite movimento de 360° a partir do motor sem transportar o equipamento;
- irriga áreas com até 15% de declive, desde que a mangueira se desloque em nível.

Desvantagens:

- exige maior pressão de água, inclusive maior que o autopropelido convencional;
- investimento mais elevado, inclusive comparando-se ao convencional;
- a durabilidade da mangueira dificilmente atinge os cinco anos;

- o equipamento é mais pesado que o convencional e exige trator de maior potência para o deslocamento equipamento.

b) Deslocamento Sobre Rodas

São divididos em deslocamento lateral e pivô central.

b.1) Deslocamento Lateral

As rodas que movimentam as laterais têm garras para evitar que patinem no terreno, ou são dotadas de pneus. As laterais são abastecidas por um sistema motobomba e uma tubulação adutora ou principal, dotada de tomadas de água, que se conecta às laterais com mangueiras flexíveis. Podem ser considerados dois tipos: Rolão e Linear Sobre Rodas

b.1.1.) Rolão: as linhas laterais servem como eixo das rodas cujo diâmetro varia de 1,90 a 2,50 m, e são distanciadas de 12 m. O sistema tem uma unidade propulsora, com motor de combustão interna de 3 a 6 CV, colocada no centro da lateral numa plataforma de aço montada sobre quatro rodas. O comprimento máximo da lateral é de 400 m, com vazão de até 160 m³/h, sendo indicado para áreas de até 60 ha.

Este sistema funciona com a lateral estacionada numa posição até que a lâmina de água calculada seja aplicada. O sistema é desligado e a água da tubulação é drenada automaticamente. Com o auxílio da unidade propulsora, o sistema é deslocado para a próxima posição e assim por diante. Cada aspersor possui uma válvula para drenar a água após a irrigação em cada posição.

Vantagens:

- menor gasto de energia devido ao uso de aspersores de baixa e média pressão;
- boa distribuição de água;
- redução de mão de obra;
- fácil manutenção e manejo;
- não há áreas mortas como no pivô central.

Desvantagens:

- só pode ser empregado em áreas de topografia plana;
- não pode ser usado em culturas de grande porte (cana de açúcar, milho, citrus, etc.);
- é pouco eficiente em áreas irregulares, pois foi projetado para áreas retangulares;
- obriga a ter um sistema de abastecimento que acompanha a lateral no campo;
- obriga a voltar ao ponto inicial depois de cada irrigação.

b.1.2) Sistema Linear Sobre Rodas: a linha lateral é instalada no topo de torres suportadas por rodas com pneus. O espaçamento também pode ser de 12 m entre aspersores, como no rolão. O água é fornecida por mangotes flexíveis de até 400 m que fazem a ligação da linha lateral com a linha de adução ou principal.

O equipamento tem um movimento contínuo feito através de uma turbina hidráulica que transmite um movimento de rotação a uma bobina que, por sua vez, é enrolada num cabo de aço estendido e preso a uma âncora fincada no começo do campo irrigado.

Vantagens:

- irriga continuamente, não necessitando de transporte de uma posição para outra;
- apresenta economia de mão de obra;
- pode irrigar culturas de porte elevado, exceto pomares e árvores;
- boa distribuição de água;

Desvantagens:

- investimento inicial mais elevado que o rolão;
- só indicado para terrenos regulares e topografia plana ou com pequeno declive.

c) Pivô Central

É um sistema automatizado de irrigação que opera em círculo, girando a uma velocidade constante e pré-fixada. É indicado para grandes superfícies. É constituído por uma base no centro do círculo irrigado, denominada Pivô Central, pela adutora com conexão à fonte de água, pela linha de distribuição de água com os aspersores e o sistema de automatização.

A tubulação de distribuição, dotada de aspersores rotativos ou de difusores, mantém-se a uma distância de 2,70 - 3,70 m do solo, suspensos por torres equipadas com rodas pneumáticas do tipo trator. Estas torres são dotadas de um sistema de propulsão elétrica, composto por um moto-redutor com 1/2, 3/4, ou 1,0 CV, que transmite o movimento às rodas, através de um eixo cardan aos redutores do tipo rosca sem fim. As torres são distanciadas de 24,4 a 76,2 metros uma das outras, e a tubulação de distribuição pode variar de 61 a 792 metros de comprimento, chegando a 195 ha de área. Na última torre pode haver um "booster", ou seja, uma pequena motobomba que aciona um aspersor de impacto, normalmente um aspersor canhão, aumentando assim a área irrigada.

A velocidade das torres é regulada através de um painel de controle, localizado na base central. Através de um relê percentual há o comando da velocidade da última torre de acionamento. Cada torre possui microinterruptores que mantém a velocidade e o alinhamento do sistema numa só linha. O movimento da última torre se propaga numa reação de avanço em cadeia a partir do anel externo do pivô, progredindo para o centro do círculo.

O conjunto motobomba é acionado eletricamente, com tensão de 480 V, trifásico, e 60 Hz, o que torna necessário adquirir um transformador, ou então, acionado por motor de combustão interna. Neste caso haverá necessidade de um gerador de eletricidade para acionamento dos motores de propulsão das torres.

De acordo com as condições locais (local da tomada d'água, topografia e as conveniências operacionais), uma só adutora poderá alimentar mais de uma unidade de pivô, inclusive simultaneamente.

Existem diversas configurações de pivô, de acordo com o tipo e a quantidade de aspersores. Por exemplo:

a) *aspersores de impacto* com bocais simples ou duplos. Podem ter espaçamentos progressivos e decrescentes a partir da torre central para a extremidade da lateral. Estes aspersores, normalmente têm alcance de 27 a 34 metros. Este esquema apresenta as vantagens de terem gotas maiores, portanto com menor interferência dos ventos. Pode ser aplicado em terrenos com declive acentuado e em qualquer tipo de solo.

b) *difusores com alta pressão* (14 mca): são difusores fixos, espaçados uniformemente ao longo da tubulação. Gotas menores, porém com alta precipitação instantânea. Aplicáveis em terrenos de inclinação moderada e, principalmente em solos de textura mais arenosa. Apresenta a vantagem da economia na motobomba e no consumo de energia, quando comparados aos aspersores que exigem maior pressão de serviço e a desvantagem da maior influência do vento.

c) *difusores com baixa pressão* (7 mca): têm pressão de operação ultra-reduzida e área de alcance pequena. Aplicável em terrenos com solos de textura grosseira ou leves, planos e com capacidade de infiltração elevada. Tal como ocorre com o anterior, apresenta menor custo da motobomba e de energia, com a desvantagem de maior influência do vento.

Para diminuir a interferência dos ventos com a aplicação de difusores, colocam-se **bengalas** em cada difusor, para que este se aproxime mais do solo. Porém, para plantas de porte alto, há problemas com o seu uso, pois são um impedimento ao caminhamento do pivô.

O sistema pivô central opera em terrenos de até 30% de declive, devido às juntas flexíveis multidirecionais presentes em cada dois lances. No entanto, não se recomenda o seu uso em declives elevados.

As taxas de aplicação por metro linear de tubulação são baixas perto do pivô, devendo ser aumentadas a medida em que se aproxima da extremidade externa. Para satisfazer esta exigência, os aspersores podem ter espaçamento regular (distâncias iguais entre eles, mas com maiores vazões a medida que se distanciam do pivô) ou irregular (o espaçamento decresce a medida que se distancia do centro).

Vantagens:

- grande economia de mão de obra;
- maior uniformidade de irrigação;
- com poço profundo, pode prescindir da tubulação principal;
- irriga várias culturas ao mesmo tempo, pois a área é grande;
- irriga 24 horas por dia em grandes áreas. Quanto maior a área, maior a economia do projeto;
- pode-se fazer quimigação (aplicação de fertilizantes e defensivos via água de irrigação);
- adapta-se a declives elevados;
- o sistema se adapta a várias situações de plantas.

Desvantagens:

- elevado investimento inicial;
- perda de área nos "cantos do quadrado" (20% da área total);
- nos pivôs de baixa pressão, a intensidade de irrigação é relativamente alta;

- não é recomendável para solos de baixa capacidade de infiltração, como os argilosos;
- a manutenção deve ser sistemática;
- obstáculos como casas, posteamentos, canais, etc. podem ser obstáculos à sua plena utilização;
- o canhão com o “booster” tem intensidade de irrigação elevada, às vezes até 50 mm/h, que pode afetar a eficiência de irrigação do projeto;
- a estrutura da base central exige reforço especial, devido aos esforços de tração recebidos.

4.2.2 Irrigação Localizada

Tem o nome de localizada por se colocar a água no “pé” da planta com pequenas vazões, mas com elevada frequência, de maneira a manter o teor de umidade do solo próximo à capacidade de campo. O sistema utiliza baixas pressões.

A irrigação localizada pode ser dividida em três processos diferentes: gotejamento, microaspersão e por difusores.

4.2.2.1 Gotejamento

Os emissores são chamados de gotejadores. Eles são pequenos orifícios, distribuídos ao longo da linha lateral. Aplicam a água continuamente na forma de gotas com vazões em torno de 4 l/h (0,5 a 10 l/h) e pressão que varia de 2 a 10 mca. Os gotejadores podem ser localizados “in line”(o labirinto é embutido paralelamente ao comprimento do tubo), “on line”(o emissor é inserido na tubulação formando um ângulo de 90^o), ou em prolongamento por microtubos.

Há diversos tipos:

- longo percurso de saída (microtubo, espiral, labirinto, múltipla saída, vazão regulável, etc.);
- orifício de saída (orifício simples, saída dupla, membrana com orifícios, etc.
- câmara de vórtice (câmara simples e câmara dupla)
- autocompensantes (sistema em que a vazão é mantida mesmo com a variação da pressão)

4.2.2.2 Microaspersão

A microaspersão usa pequenos aspersores ou difusores, diferenciando-se dos gotejadores por aplicar vazões maiores e pressões de trabalho também maiores. Enquanto no gotejamento a água é aplicada por gotas, na microaspersão é feita borrifando-se ou aspergindo como se fosse um pequeno “spray”. Trabalham com vazões de 70 a 120 l/h e a área irrigada atinge de 4 a 6 m de diâmetro.

Este sistema tem a vantagem de sofrer menos entupimentos que o gotejamento.

Os microaspersores são pequenos aspersores de plástico conectados diretamente a tubulações de polietileno de pequeno diâmetro ou a esta ligados por microtubos.

Sistema de Filtragem

Ambos necessitam sistemas eficientes de filtragem. São usados filtros de areia para reter materiais orgânicos e algas, de tela ou de discos para pequenas partículas sólidas. Com a finalidade de separar os sólidos, pode-se usar o hidrociclone, aproveitando a força centrífuga da água.

Injetor de Fertilizantes

Este sistema é normal na irrigação localizada e inclusive no sistema de pivô central.

Vantagens:

- controle rigoroso da quantidade de água a ser aplicada nas plantas através de válvulas volumétricas;
- baixo consumo de energia;
- como aplica pequenas vazões, pode-se irrigar 24 horas por dia e automatizar o sistema para que as parcelas sejam irrigadas consecutivamente, sem interromper o processo;
- elevada eficiência de irrigação;
- manutenção de elevados potenciais de água no solo;
- diminuição de plantas daninhas, uma vez que a área entre plantas não é molhada;
- facilidade de se promover a fertirrigação;
- as aplicações freqüentes favorecem o uso do método em áreas onde pode haver salinidade elevada na água de irrigação e no solo;
- pouca necessidade de mão de obra;
- não é afetado pelos ventos;
- pode ser aplicado em grandes declives.

Desvantagens:

- entupimento dos gotejadores;
- acumulação de sais na periferia do bulbo úmido, que com chuvas podem atingir a zona radicular;
- alto custo inicial, daí ser somente recomendado para culturas com alto retorno, principalmente fruteiras (pêssego, nectarina, etc.), flores e plantas olerícolas. A microaspersão é indicada para viveiros de mudas em geral. Quanto maior for o espaçamento, menores os custos;
- permanece fixo no campo, sem possibilidade de mudanças, mormente porque o sistema é relativamente frágil;
- deve-se cuidar para que não se danifique as tubulações durante os tratos culturais, principalmente as capinas.

4.2.3 Subirrigação

A água é aplicada abaixo da superfície do solo em áreas que permitem que o lençol freático possa ser controlado em sua profundidade.

Este processo é muito especial, pois exige terreno plano ou quase plano, água em abundância e de boa qualidade.

Vantagens:

- custo inicial baixo, relativamente;
- operação do sistema também de custo baixo;
- normalmente não necessita de bombeamento;
- adaptável a todas as taxas de infiltração;
- não é afetado pelos ventos.

Desvantagens:

- pode produzir salinização do solo, se mal conduzido;
- só pode ser aplicado em área planas com camada impermeável logo abaixo da superfície;
- requer um sistema de drenagem, principalmente na estação das chuvas.

4.4 Irrigação Subsuperficial

A Irrigação Subsuperficial nada mais é do que colocar o sistema de gotejamento abaixo da superfície do solo. Oferece as vantagens do gotejamento, incluindo aqui aquela referente a menores perdas por evapotranspiração e a desvantagem de maiores possibilidades de entupimentos. Neste caso, há produtos que são acoplados aos gotejadores, com o intuito de evitar que raízes penetrem e entupam os orifícios. Este sistema é bastante utilizado em Israel, onde o custo da água é elevado, além de escassa.

Oliveira e Klar, 1999, desenvolveram um estudo fazendo a comparação da irrigação por gotejamento enterrada (irrigação subsuperficial) com a superficial, também por gotejamento. Usaram duas culturas: pepino e feijão vagem em condições de casa de vegetação e mantendo as aplicações de lâminas de água idênticas, bem como as mesmas doses de fertilizantes. Os resultados foram significativos em favor da irrigação subsuperficial, com valores de 42 e 9 por cento, respectivamente, para ambas as culturas.

5 ANÁLISE DOS FATORES NECESSÁRIOS PARA A OPÇÃO DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO

Depois de se conhecer os diferentes métodos com suas vantagens intrínsecas, pode-se avaliar os fatores locais, para se escolher o método mais adequado. Os fatores serão analisados separadamente, de sorte que a análise conjunta poderá ser configurada ao se compor todos os fatores atuantes na escolha. São os fatores relacionados à cultura (sistema radicular; os coeficientes da cultura em relação à evapotranspiração de referência, etc.), ao solo (características hídricas, como infiltração, curva característica de água, massa específica, etc.), ao local ou campo a ser usado (topografia do terreno, meios de comunicação, energia elétrica), ao clima, (chuvas, evapotranspiração, ventos,

temperatura e umidade relativa do ar, etc.), a parte econômico-financeira (capacidade de pagamento de água, cultura mais viável, etc.) e o fator humano (tendências naturais, educação, instrução, etc.)

5.1 Solo

Os fatores de solo mais importantes que afetam a escolha do método de irrigação são a textura, a estrutura e a massa específica aparente que afetam a curva característica de água do solo, a capacidade de água disponível ou de retenção nos limites de fácil absorção de água pelas plantas, a condutibilidade hidráulica e, conseqüentemente a capacidade de infiltração. Saliente-se a salinidade como importante fator nas zonas áridas.

5.1.1 Textura

A distribuição das partículas do solo por tamanho define a textura. O solo é chamado *Arenoso*, quando tem maior porcentagem de partículas entre 0,02 e 2,0 mm; *Limoso*, maior porcentagem de partículas entre 0,02 e 0,002 mm; e *Argiloso*, quando as partículas menores de 0,002 mm de diâmetro são em maior quantidade, de acordo com a USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América). Qualquer laboratório de Física de Solos faz a determinação e classificação dos solos quanto à textura.

Solos com textura grosseira, arenosos, devem ser irrigados freqüentemente. Em conseqüência, os métodos pressurizados, ou seja, a aspersão e a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) são os indicados. Em solos com textura fina, os argilosos, a irrigação por sulcos permite sulcos longos, de até mais de 500 m, enquanto os arenosos dificilmente aceitam os 100-200 m de comprimento. Em qualquer deles, a irrigação pressurizada é viável. Enquanto nos arenosos, a irrigação deve ser mais freqüente, nos argilosos, poderá ser mais espaçada. Os solos arenosos não são indicados para receber a irrigação por inundação ou por sulcos, pela baixa eficiência que irão proporcionar.

Os solos excessivamente pedregosos, que não permitem um nivelamento conveniente, só podem ser irrigados por métodos pressurizados.

Os solos argilosos são os menos indicados para o uso do pivô central, pois são mais sujeitos ao encharcamento e escoamento superficial, dificultando a mobilidade das rodas. Os solos arenosos seriam os mais indicados, inclusive porque a irrigação por pivô central fazem irrigações freqüentes e leves.

5.1.2 Estrutura

A estrutura pode ser definida como o arranjo das partículas do solo. A estrutura pode ser classificada em maciça, granular ou de agregados e grãos simples. A maciça é compacta com menor porosidade que as outras duas. A granular tem as partículas unidas, formando grandes blocos, sendo que alguns tentam defini-la como cúbica, prismática, etc. de conformidade com sua forma no solo. No entanto, diferentemente da textura, é difícil classificá-la ou mensurá-la. É a mais conveniente para a agricultura, pela maior capacidade de armazenar e fornecer água e nutrientes às plantas.

A de grãos simples possui pouca porcentagem de elementos cimentantes, ou excesso de sais dispersantes, não proporcionando aglutinação de partículas.

A estrutura maciça ou compacta, aceita qualquer método, pois tem, normalmente, baixa velocidade de infiltração.

Os solos estruturados têm o componente argiloso em quantidade suficiente para aglutiná-lo e permitem a irrigação por gravidade e também a pressurizada. Por outro lado, solos sem estruturação, não agregados, os chamados grãos simples, como os arenosos, não aceitam a irrigação por superfície e sim a aspersão e a localizada.

5.1.3 Massa Específica do Solo

Também pode ser chamada pelo termo mais consagrado, *densidade aparente*, quando considera o solo como um todo, isto é, a somatória dos sólidos mais os vazios. Alguns a denominam de *densidade global*, ou *densidade do solo*, simplesmente. A *massa específica real* ou *densidade das partículas*, ou *densidade real*, é a densidade dos sólidos do solo sem considerar os vazios.

Ambas as características do solo têm importância e aplicações em irrigação e drenagem, como por exemplo, na determinação da lâmina de água, da porosidade, etc.

A densidade das partículas sólidas não tem efeitos na escolha do método de irrigação, pois apresenta valores muito próximos de $2,65 \text{ g/cm}^3$, sem variações significativas, de uma maneira geral.

Por outro lado, a densidade aparente, ou densidade do solo, é sumamente importante, pois interfere diretamente na capacidade de armazenamento de água do solo. Os solos de textura mediana são os mais adequados à agricultura. São aqueles que apresentam a seguinte proporção: 25% de água, 25% de ar, 50% de sólidos e destes, 5% seriam de matéria orgânica. Este solo ideal é viável para qualquer método de irrigação e apresenta uma massa específica aparente em torno $1,30 \text{ g/cm}^3$. A medida em que a massa específica aparente aumenta, vai aumentando o teor de areia, ou seja, o solo vai se tornando mais arenoso e com menor capacidade de armazenar água disponível às plantas. Ou ainda, se mais argiloso, pode ficar compactado, com a sua massa específica aparente aumentada sob a ação de máquinas agrícolas, diminuindo a capacidade de armazenar e de se deixar infiltrar pela água. Se arenoso, a irrigação mais freqüente é recomendada e, se compactado, qualquer dos métodos seria indicado, considerando-se apenas este fator de escolha.

5.1.4 Permeabilidade

A determinação da permeabilidade do solo é de suma importância, não só na irrigação, como também na drenagem. Enquanto nesta, é usada para a determinação do espaçamento e profundidade dos drenos, na irrigação é usada para se conhecer, principalmente, a velocidade de penetração da água no solo no sentido vertical descendente, a *Velocidade de Infiltração*.

A Infiltração da água no solo é uma característica importante que deve ser conhecida antes da aplicação de qualquer método de irrigação, podendo ser expressa por

uma equação do tipo exponencial, onde a velocidade de infiltração (I) é função do tempo (T):

$$I = a T^n$$

que, integrada, irá fornecer a infiltração acumulada (Ia), ou seja, a lâmina líquida (hl) que deverá ocorrer depois de determinado espaço de tempo:

$$Ia = c T^m$$

Diferentes fatores afetam a Velocidade de Infiltração de um solo: textura, estrutura, teor de umidade inicial, permeabilidade, teor de matéria orgânica, variabilidade espacial e salinidade.

A velocidade de infiltração pode definir na escolha do método de irrigação. Altas velocidades são inerentes aos solos arenosos, que obrigam o uso de irrigações freqüentes, portanto, as pressurizadas, afastando a hipótese da irrigação por gravidade, pois acarretaria sulcos curtos e antieconômicos. Velocidades de infiltração baixas aceitam todos os métodos. São os solos de altos teores de argila. Não estão sendo considerados os solos salinos.

Como critério geral, poder-se-ia indicar os métodos por gravidade somente aos solos com 12 mm / hora ou menos de velocidade de infiltração; aos que apresentarem valores superiores a 70 mm, só os métodos de irrigação por aspersão e localizada poderiam ser utilizados. Evidentemente, estes últimos são viáveis em qualquer solo, considerando a velocidade de infiltração.

5.1.5 Salinidade

Os solos salinos ocorrem comumente em zonas áridas, onde a precipitação é menor que a demanda evaporativa da atmosfera. Este desequilíbrio produz acúmulo de sais solúveis nocivos às plantas ao longo do tempo, podendo tornar o solo totalmente estéril, principalmente se houver irrigação com águas salinas, sem os necessários cuidados, como a drenagem. Em alguns casos, pode haver adição de 10, 20 toneladas de sais por ano por hectare e a esterilidade do solo pode se tornar irreversível.

Em dúvida com relação à salinidade do solo, convém determinar a condutividade elétrica do solo e da água de irrigação e, a partir daí, estudar o seu manejo mais adequado. A seguinte fórmula pode ser utilizada para se conhecer as necessidades de lixiviamento (NL):

$$NL = CE_i / CE_d = h_d / h_i$$

Sendo CE_i e CE_d , as condutibilidades elétricas respectivas das lâminas de água de irrigação (h_i) e da de drenagem. Ex.: a lâmina necessária de irrigação é de 110 mm. As condutibilidades elétricas das águas de irrigação e de drenagem são, respectivamente, 3,2 e 5,0 mmhos / cm, a 25°C. Para se saber quanto se deve aplicar como lâmina bruta total, aplica-se a equação:

$$NL = 3,2 / 5,0 = 0,64$$

$$0,64 = h_d / 110 + h_d \quad \therefore \quad h_d = 196 \text{ mm} \quad \text{e} \quad h_i = 110 + 196 = 306 \text{ mm}$$

Em solos salinos, a irrigação por sulcos deverá ser evitada, pois os sais irão se dirigir e se concentrar diretamente nas raízes das plantas.

A irrigação por gotejamento apresenta a grande vantagem da irrigação freqüente, às vezes diária ou até várias vezes ao dia, o que proporciona a expulsão dos sais solúveis da zona radicular. Há a formação de uma esfera, caso o emissor esteja isolado, ou cilindro, se os emissores forem consecutivos e, em ambos os casos, os sais ficam na periferia da esfera ou do cilindro, em altas concentrações, obrigando a irrigações pesadas após algumas normais, com o intuito de lixiviar os sais. Neste caso, um sistema de drenagem torna-se necessário para carregar os sais fora da zona radicular e abaixo dela, pois o movimento da água, em condições não saturadas, é, predominantemente ascensional, devido à evapotranspiração, carregando os sais até a superfície do solo.

Se os sais forem dispersantes, como os de sódio, por exemplo, e não haver expulsão do excesso por drenagem, haverá dispersão das partículas de solo, promovendo queda significativa da permeabilidade do solo. A baixa permeabilidade, aliada ao teor elevado de sais, torna o solo estéril para a agricultura.

A irrigação por aspersão acompanha um raciocínio semelhante ao do gotejamento, só que não há formação de bulbos ou cilindros. Também por este método, são necessárias irrigações pesadas com uma quantidade de água a mais para levar os sais solúveis até o sistema de drenagem, indispensável em qualquer solo salino. Acrescente-se que as águas existentes em zonas áridas têm um complicador a mais: apresentam teores de sais mais elevados que as águas das zonas úmidas.

5.1.6 Fertirrigação

A fertirrigação tomou impulso muito grande nos últimos tempos, principalmente devido ao aparecimento do pivô central e dos túneis de plástico, do incremento da irrigação localizada e das pesquisas comprovando que a aplicação dos adubos líquidos torna-se mais adequada às plantas, ao solo e, inclusive, sob a análise dos aspectos econômicos envolvidos. Apesar de os adubos solúveis serem mais caros, a quantidade de fertilizantes utilizados por este processo chega a ser metade daquela usada pelo método de aplicação convencional, pois coloca-se o fertilizante diretamente no volume de solo ocupado pelas raízes, mormente se o sistema de irrigação for o gotejamento.

Os métodos de irrigação pressurizados são os mais indicados para a aplicação de fertilizantes juntamente com a água.

Experimentos desenvolvidos na UNESP em Botucatu, em diversas culturas, principalmente em hortaliças com o sistema de gotejamento em túneis de plástico, mostraram que o sistema de fertirrigação não só usa menos adubo, como também é mais eficiente no aspecto produtividade e desenvolvimento das plantas. No entanto, têm aparecido problemas relacionados com salinidade dentro dos túneis que estão merecendo pesquisas interessantes.

Os métodos de aplicação de água por gravidade, embora possam ser utilizados para a aplicação de adubação líquida, não oferecem a mesma facilidade e eficiência, devido à dificuldade da água não ser aplicada sob pressão, não tendo a necessária homogeneidade água-adubo. Além disso, as perdas de água por percolação profunda ou drenagem interna, acrescidas daquelas provenientes da drenagem ou escoamento superficial são incomparavelmente maiores.

Em Israel, já é prática comum a aplicação de fertilizantes via irrigação por gotejamento, havendo casos em que a automatização é uma prática importante: são usados tensiômetros eletrônicos acoplados a sistemas de bombeamento acionados por energia, em parte, provenientes de células solares. Um sistema moto-bomba é acionado automaticamente, enviando os fertilizantes líquidos às raízes das plantas. Em Israel, há sistemas que chegam a fornecer água com fertilizantes mais de cinco vezes por dia por este processo, mantendo os potenciais de água muito elevados (p. ex.: potencial matricial mínimo de -14 mbar), com o máximo de produtividade por planta. Esta eficiência e automatização seria mais difícil na irrigação por gravidade.

Pode-se acrescentar que as pesquisas sobre a aplicação de nutrientes por via foliar tem sido muito estudada com resultados animadores, o que predispõe a aspersão como o método mais indicado. O fertilizante é absorvido pelas plantas sem passar pelo solo, representando economia, inclusive de mão de obra. Evidentemente, cuidados devem ser tomados na aplicação de fertilizantes por via foliar. Pode haver queima de folhas se adubos e suas concentrações não forem corretas; o sistema de irrigação pode sofrer maior desgaste corrosivo nos encanamentos e aspersores, inclusive com maior cavitação no corpo da bomba, etc.

A quimigação, termo que envolve a fertirrigação e a aplicação de produtos defensivos tem algumas vantagens a mais, além das citadas: proporciona maior segurança ao aplicador e maior uniformidade de aplicação.

No entanto, existe desvantagens, principalmente na aplicação de defensivos agrícolas, como: a maior possibilidade de contaminar o ambiente: menor controle das doenças; promover maior corrosão nos materiais metálicos do sistema (ferro galvanizado > latão > alumínio > aço inoxidável). Evidentemente, este último material torna-se inviável, pelo preço, para tubulações e os outros usados em grande escala na irrigação, com exceção do plástico; é conveniente aplicar o defensivo com pequena lâmina de água (2 - 5 mm/h) por cerca de 10 - 15 minutos; há necessidade de se instalar equipamentos injetores; treinar operadores para a aplicação correta dos compostos químicos. Pela baixa retenção de produtos químicos, fungicidas e inseticidas nas folhas, convém usar produtos de baixa solubilidade e adicionar óleos. Os melhores resultados provêm de defensivos sistêmicos. Outro cuidado importante é nunca aplicar os defensivos sem incluir válvula de retenção no início da adução para evitar que haja contaminação da água da fonte.

5.1.7 Sistematização do Terreno

A topografia exerce influência marcante na escolha do método de irrigação, incluindo-se o declive, a forma e a área dos terrenos a serem utilizados.

5.1.7.1 Declive

Considerando-se apenas o declive: se o campo a ser usado estiver em nível, qualquer método pode ser utilizado, com exceção dos sistemas que exigem declive como os sulcos inclinados. Em declives fortes, torna-se difícil e até impossível a aplicação da irrigação por gravidade, indicando-se a pressurizada e, nesta, há de se considerar que quanto maior o declive, maior a perda de eficiência do sistema de aspersão. Os sistemas

pressurizados, inclusive os localizados, depois da invenção dos reguladores de pressão, tornaram-se mais maleáveis, não só aos maiores declives como à sua variação ao longo da tubulação. Mas, os cálculos devem feitos com as considerações das alterações topográficas das várias partes do campo e com as colocações de aspersores, compatíveis com as pressões e vazões necessárias à lâmina de água a ser aplicada.

Os mecanizados oferecem menor possibilidade de adaptação aos maiores declives.

O pivô central pode sofrer avarias na estrutura se as irregularidades do terreno forem grandes. Para declives elevados, 20% ou mais, deve-se diminuir a distância entre as torres e torna-se mais interessante usar o sistema elétrico em lugar do hidráulico. Entretanto, não se deve ultrapassar os 15% de declividade, devido ao escoamento superficial.

A irrigação por inundação em faixas requer declives suaves e bastante uniformes, para que haja boa distribuição da água no solo. A irrigação por sulcos pode ter sucesso em declividades com variações moderadas.

5.1.7.2 Área e Forma dos Terrenos

As áreas dos terrenos são determinadas, geralmente, pelos limites naturais estabelecidos pela conformação topográfica, exceção feita aos terrenos planos. A área a ser irrigada também pode ser determinada pelos limites da propriedade. Caso os limites da propriedade e os naturais não interfiram, outros fatores devem ser considerados. Caso contrário, a aspersão e as localizadas são recomendáveis, principalmente se as dimensões do terreno forem demasiadamente pequenas para implantar o tamanho ideal dos sulcos ou das faixas requeridas pelo projeto. Além disso, há de se considerar que os camalhões, os caminhos e outras estruturas podem roubar mais de 15% da área, influenciando na escolha.

A forma do terreno também deve ser devidamente considerada. Os retangulares são mais fáceis de receberem projetos de irrigação e de cultivar que os triangulares, por exemplo. O uso de equipamentos portáteis de aspersão e a irrigação localizada são mais adaptáveis aos terrenos irregulares, embora qualquer alteração no tamanho normal das linhas implique em aumento de trabalho.

O pivô central, entre os mecanizados torna-se mais interessante que o sistema lateral móvel, ou sistema linear, porque este deve ser instalado em terrenos retangulares e planos, exigindo, ainda, que se tenha ou um canal em paralelo ao deslocamento do sistema, ou uma tubulação enterrada com hidrantes, e mangueira conectada à tubulação.

5.1.7.3 Sistematização e Nivelamento

Este é um fator também determinante à escolha do método de irrigação. A irrigação superficial dificilmente deixa de usar a sistematização ou nivelamento do terreno, o que limita a sua utilização. Acrescente-se que a profundidade permissível de corte de terra deve estar condicionada à profundidade de solo cultivável do perfil, o que pode restringir sobremaneira a irrigação por gravidade.

Em terrenos escarpados, íngremes, interceptados por gargantas, os métodos pressurizados dispensam movimento de terra e nivelamento, indispensáveis, geralmente, nos métodos superficiais.

Solos altamente erodíveis, ou com erosão potencial não devem ser irrigados por sulcos, a menos que sejam preparados, cuidadosamente, com uma sucessão de pequenos gradientes. As faixas de inundação devem ser preparadas quase em nível nestes solos e nunca no sentido do maior declive.

A aspersão oferece menor restrição desde que a intensidade de precipitação dos aspersores não ultrapasse a velocidade de infiltração do solo.

5.1.7.4 Várzeas

As várzeas devem ser drenadas para que possam ser aproveitadas para a agricultura, inclusive com o intuito de promoverem melhoria da salubridade local, evitando a proliferação de mosquitos transmissores de doenças como a dengue e a malária. Os campos de várzea irrigados por qualquer método e mal drenados promovem a elevação do lençol freático, principalmente se houver super-irrigação, ocasionando, ainda, em determinadas situações, a salinização do solo.

Nestes casos, o sistema de inundação e sub-irrigação seriam indicados, principalmente para a cultura do arroz. Porém, a drenagem artificial, seja superficial ou subterrânea, acoplada a um efetivo controle de aplicação de água é sumamente conveniente. Tais práticas, no entanto, encarecem o projeto e o método por aspersão seria o mais indicado, sob o prisma econômico, sanitário, de conservação e de fertilidade do solo.

Por outro lado, havendo boa drenagem natural, pesadas doses de água poderão ser aplicadas sem prejuízos à cultura e ao meio ambiente.

5.2 Cultura

Os aspectos mais importantes a serem considerados são os seguintes: métodos de plantio, altura da planta, profundidade das raízes, estágio de crescimento, doenças e pragas.

5.2.1 Método de Plantio

Existem certas culturas que facilitam qualquer método. As culturas em linha aceitam a irrigação por sulcos e qualquer dos métodos pressurizados, o mesmo ocorrendo com os pomares. Outros fatores devem ser considerados na escolha. Ultimamente, a irrigação por gotejamento e a microaspersão têm sido mais utilizadas para frutíferas, pela automatização e pela economia de água.

5.2.2 Altura das Plantas e Profundidade das Raízes

As culturas, classificadas como altas (milho, cana de açúcar, etc.), são mais difíceis de se adaptarem à aspersão. Além das plantas interferirem na uniformidade de distribuição de água, torna-se difícil o transporte dos materiais portáteis da aspersão

convencional, sendo obstáculo às mudanças das linhas. A solução para o uso da aspersão em plantas altas seria colocar os aspersores acima delas. Mesmo assim, há prejuízo no que concerne à uniformidade de distribuição.

O sistema de irrigação por pivô central tem os mesmos inconvenientes, com a agravante de não se poder usar os difusores com as bengalas acopladas, obrigando os agricultores a retirá-las quando as plantas estiverem altas, em alguns casos. Em seguida, após a colheita das plantas altas, com o plantio de plantas baixas, é comum a não recolocação das bengalas com evidentes prejuízos à uniformidade de distribuição da água, pois os difusores estarão em plano mais superior.

Nestes casos, a irrigação por sulcos e por gotejamento seriam mais interessantes, considerando-se apenas este fator limitante.

A profundidade das raízes é também um fator a ser considerado. As plantas dotadas de raízes profundas são capazes de explorar um volume maior de solo e, conseqüentemente, requerem maiores quantidades de água a menores freqüências de aplicação de água. A irrigação por inundação seria indicada. No entanto, outros métodos devem ser avaliados, considerando-se outros fatores que podem afetar.

A bananeira e a cebola, por exemplo, têm raízes ralas, dificultando o uso eficiente de água colocada pela irrigação, obrigando a irrigações mais freqüentes, o que torna os métodos de irrigação pressurizadas (aspersão, gotejamento e microaspersão) mais indicadas.

5.2.3 Estágio de Crescimento

Este fator é importante. As plantas no estágio de germinação e estágios subseqüentes, enquanto jovens, têm o sistema de raízes imaturo, não podendo explorar um grande volume de solo. Os métodos pressurizados são os mais indicados, pois são adequados a baixas freqüências e a pequenas quantidades de água por vez.

As sementes pequenas, que podem ser carregadas pela água, se usados os métodos de superfície, tornam mais viáveis os métodos pressurizados com baixos impactos da água no solo. Logo, não devem ser usados os aspersores de médio e longo alcance.

No período de crescimento e maturação, não há um método mais indicado, de maneira geral. No entanto, algumas culturas exigem não molhamento da parte aérea na colheita, como o algodão, onde a aspersão não seria indicada.

5.2.4 Doenças

As diferentes espécies têm maior ou menor grau de resistência às doenças. O tomateiro, por exemplo, é sensível. Nas regiões mais úmidas, como no Estado de São Paulo, há necessidade de mais de 20 aplicações de defensivos durante o ciclo, enquanto nas regiões mais áridas, como o nordeste brasileiro, dez ou menos aplicações são suficientes. Há regiões que não recebem precipitação pluvial alguma, o que proporciona a quase desnecessidade de defensivos, como os vales andinos do Peru e Chile. A cultura do tomate e outras têm indicação para receber irrigação por sulcos ou gotejamento, considerando-se só o fator doenças.

A aspersão tem também a desvantagem de lavar as folhas, levando consigo os defensivos aplicados por polvilhamento, o que não acontece na irrigação por sulcos e gotejamento.

Algumas culturas, como a videira, são mais sensíveis ao calor se as folhas forem molhadas. Neste caso, há favorecimento do aparecimento do "Downy Mildew" (*Plasmopara viticola* L). Outras plantas de clima temperado, como a pereira e a macieira, podem sofrer queima das folhas, especialmente se forem irrigadas por aspersão durante o dia. A irrigação à noite seria mais conveniente. A irrigação por sulcos ou gotejamento são indicadas.

A bananeira é sensível à podridão dos frutos quando irrigada por aspersão.

Algumas solanáceas, leguminosas, etc. são afetadas por fungos da classe dos ficomicetos que atacam na fase de sementeira, o chamado "Damping Off". Como é uma doença que afeta o colo da planta, a irrigação por gravidade, especialmente a inundação, não é indicada, e sim as pressurizadas, mormente o gotejamento.

Embora a irrigação por inundação seja adequada ao controle de ervas daninhas, principalmente na cultura do arroz inundado, no qual este método é o mais indicado, as condições de umidade favorecem o aparecimento de ervas daninhas nos camalhões que, portanto, devem ser mantidos no limpo, inclusive com o objetivo de auxiliar no controle de doenças e pragas.

5.3 Clima

As condições meteorológicas afetam sobremaneira a escolha do método de irrigação. Os elementos relacionados à temperatura, aos ventos, à umidade relativa e à precipitação pluviométrica devem ser sempre avaliados antes da escolha do método de irrigação.

5.3.1 Ventos

A eficiência da aspersão é diminuída quando os ventos ultrapassam os 8 km/h e é decrescida a cada aumento da velocidade de maneira substancial. Pode-se superar este inconveniente, parcialmente com a diminuição do espaçamento entre aspersores e irrigando-se naquelas horas do dia em que o vento tem velocidade menor, como ao início do dia ou da noite. Os métodos superficiais e de gotejamento não sofrem a ação dos ventos.

5.3.2 Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Temperaturas elevadas e umidades relativas do ar baixas são ingredientes que fazem aumentar a evaporação durante a aplicação da água por qualquer método. Mas, a aspersão é mais afetada e as perdas são consideradas sérias, se atingirem 15% ou mais. Apenas a guisa de referência, considera-se que para cada 100 mm de água aplicada por inundação, são perdidos cerca de 2% por evaporação durante a aplicação.

5.3.3 Pluviosidade

A quantidade e a intensidade das chuvas são fatores importantes para a escolha do método de irrigação.

No Estado da Califórnia, USA, região semi-árida, como a água é escassa, construíram-se, a partir de 1930, canais artificiais, barragens e hidroelétricas com o intuito primeiro de dotar o Estado da água necessária às cidades, à indústria e à agricultura, utilizando-se dos rios São Joaquim e Sacramento e do degelo das montanhas que cercam o Vale S. Joaquim. Foram mais de 3000 km de canais revestidos desde o norte do Estado até o árido sul. A água utilizada na agricultura é cobrada e seu preço aumenta a medida em que se desloca do norte para o sul. Paralelamente, enquanto encontram-se campos irrigados por todos os métodos no Norte, os de gravidade vão sendo paulatinamente substituídos a medida em que vai-se chegando ao sul, pela aspersão e, principalmente pela irrigação localizada. Ao mesmo tempo, as culturas mais rentáveis são cultivadas no sul, como o abacateiro e os morangos. É a eficiência dos métodos de irrigação e econômicos das culturas que são considerados prioritariamente nas zonas áridas e semi-áridas.

Ainda no Estado da Califórnia, no Vale Imperial, foi feita a transposição de águas do Rio Colorado por meio de canais artificiais. São irrigados cerca de 300.000 ha de terras nesta área em que chove apenas 20 a 50 mm/ano. Evidentemente, os métodos de irrigação são os mais econômicos em água, ou seja, os pressurizados. Nesta área, como em todo lugar em que a aridez se faz presente, há a necessidade absoluta de sistemas de drenagem para eliminar o excesso de sais presentes no solo e os carregados pela própria água de irrigação. Acrescente-se que as águas do Rio Colorado têm seu teor de sais aumentado constantemente, podendo atingir níveis perigosos proximamente. As culturas implantadas nesta área são aquelas resistentes ao estresse salino, como o melão, o algodoeiro, etc.

Em Israel, país árido em sua maior parte, a economia de água é sumamente necessária. A água é conduzida desde o Mar da Galiléa, que fica abaixo do nível do mar, até as cidades e campos agricultáveis ao sul do país. O fenômeno californiano se repete: os métodos pressurizados, mormente os localizados, sistematicamente foram substituindo os de gravidade e, atualmente, não há mais o uso da irrigação por sulcos e por inundação no país; como a água e a energia são caras, as culturas mais rentáveis são cultivadas e parte exportadas, como frutos e flores.

Logo, em regiões áridas, a irrigação é obrigatória, e os métodos indicados são os pressurizados, por economia de água, principalmente.

Em regiões úmidas, normalmente as chuvas não são bem distribuídas ao longo do ano. Assim, a irrigação suplementar torna-se importante, e a metodologia de aplicação vai depender de outros fatores para a melhor opção. No entanto, a aspersão convencional pela sua maleabilidade leva vantagem. Os outros métodos pressurizados, como o pivô central e os localizados, bem como os de superfície também são usados, dependendo de outros fatores, tais como os econômicos, a mão de obra, etc.

5.3.4 Geada

O processo de irrigação para o combate à geada baseia-se no congelamento da água, ou seja na passagem do estado líquido para o sólido, quando o sistema fornece calor às plantas, que resistem, via de regra, a pouco menos que 0 °C, desde que outro fator, como o vento, não interfira. A presença de solutos e outras partículas nas células vegetais fazem o ponto de congelação da solução celular baixar além de 0 °C, aumentando a resistência ao frio, impedindo que haja destruição das paredes celulares e de outras estruturas da planta. Assim, este fenômeno natural é usado no combate às geadas e a irrigação tem-se mostrado, muitas vezes, eficiente, desde que racionalmente utilizada, especialmente em frutíferas e hortaliças, tentando evitar que a temperatura ultrapasse 0°C. O método de aspersão é o mais indicado, porém os de gravidade também podem ser, mas com menor eficiência para a finalidade.

5.4 Fatores Econômicos

Estes são os mais difíceis de serem analisados, devido à complexidade que os envolve, que se alteram constantemente, regidos pelas leis de mercado.

A maneira mais fácil é fazer uma análise final, comparando-se os custos de cada método de irrigação, incluindo aí os gastos como água e energia, com o valor futuro da produção da cultura irrigada. Esta é a definição de CAPACIDADE DE PAGAMENTO DA ÁGUA.

5.4.1 Investimentos

Este é um problema que não pode ser generalizado. Um sistema qualquer a ser implantado está sujeito a inúmeros fatores como, por exemplo, a época e o local, além dos fatores sazonais, envolvendo a indústria e o comércio. Além disso, o conhecimento pormenorizado dos diversos componentes, dos materiais a serem empregados, as especificações técnicas, as normas e a legislação a serem seguidas devem ser devidamente considerados. Os valores e a qualidade devem ser cuidadosa e criteriosamente avaliados no contexto financeiro, na implantação e na eficiência de utilização.

5.4.2 Orçamento

No orçamento de um projeto, deve-se determinar, principalmente, o custo final das obras, pormenorizando os diversos componentes como, equipamentos, mão de obra, etc.

Os custos de operação e manutenção devem ser acrescentados ao orçamento para compor a análise econômico-financeira do projeto. Aqui entra com maior intensidade a experiência profissional dos responsáveis pela empreitada.

Se o projeto for de grande porte, devem ser incluídos obras como: barragens, casas de bombas, subestações elétricas, estradas, etc. O projeto orçamentário deve ser devidamente detalhado caso haja necessidade de licitação.

Os custos da mão de obra devem ser considerados com bastante cuidado, pois há discrepâncias na maneira de determinação dos custos envolvidos: encargos sociais, horas normais, horas extraordinárias, etc. Os encargos sociais, atualmente, englobam 96,27% do salário mensal efetivo recebido pelo trabalhador.

A vida útil dos equipamentos deve ser conhecida. Isto quer dizer que os equipamentos depois de um determinado tempo de vida útil, tornam-se ineficientes. Por exemplo: (dados em 1000 horas) bate-estacas: 10; bombas de drenagem: 15; micro-tractor: 8; moto-niveladora: 10; tratores em geral: 10.

A tipificação dos custos dentro da campo torna-se mais simples que os extra-campo. Considerando a irrigação por superfície como custo 100%, pesquisas de preços médios, de uma maneira bem generalizada, mostram:

- a aspersão convencional.....	112%
- autopropelido.....	112%
- ramal rolante.....	112%
- pivô central.....	162%
- localizada.....	250%

Entretanto, os custos são extremamente variáveis de acordo com o local, com os gastos unitários típicos, como ocorre com os custos agrícolas de produção, como as exigências fitossanitárias e agrotécnicas.

Entre os sistemas de irrigação mais exigentes em energia, o pivô central tem, como base indicadora, moto-bombas de 125 a 250 CV, para até 100 ha e adução de 8 a 10"; para até 50 ha, 50 a 100 CV e adução de 6". No caso de canhão, até 50 ha, 60 a 125 CV, etc. Há ainda a necessidade de se verificar a existência de energia elétrica no local. Os custos da energia elétrica fora e dentro dos horários de pico, ou gastos em diesel, deverão ser devidamente calculados.

Caso o método escolhido seja a irrigação localizada, o principal fator a ser analisado é o custo do sistema, pois, via de regra, é o mais caro. De uma maneira geral, o custo do hectare, geralmente, é o dobro ou mais do que custaria um sistema de aspersão. Evidentemente, quanto maior for a área irrigada, menores os custos por hectare. São as tubulações, os emissores, praticamente individualizados para cada planta, os filtros específicos, indispensáveis ao sistema, o cabeçal completo dotado de sistema de fertirrigação e, também, com a introdução não muito recente no Brasil, da automatização.

Para a irrigação por gravidade, os principais custos decorrem do preparo do terreno, construção de canais, de camalhões, de sistemas de drenagem, de estruturas como sifões, sistemas de medição de vazão, comportas, etc. Deve-se considerar também as perdas de terreno útil ao cultivo, decorrentes da implantação do sistema. O custo da mão de obra deve ser incluído como importante, pois o seu uso torna-se imperativo em maior parcela que nos métodos pressurizados. A necessidade intensa e constante de tratores e outras máquinas pesadas pode ser um indicativo de que o método por gravidade não seria o mais indicado. A sistematização, por exemplo, é uma atividade cara, além de interferir na camada fértil do solo.

A irrigação por aspersão obriga a um investimento inicial elevado. São o sistema motobomba, os tubos permanentes e portáteis, os aspersores ou difusores, os gastos de energia, etc. De uma maneira geral, os custos de instalação de sistemas de aspersão são mais elevados que os de gravidade, com exceções. Se forem considerados os sistemas mecanizados, como o pivô central, os autopropelidos, etc., os custos iniciais são ainda

mais elevados, exigindo investimentos maciços, pois envolvem áreas iniciais maiores, acima de 30 hectares, pois para áreas menores indicam-se a aspersão convencional, que pode ser portátil, e a permanente. Esta é indicada para culturas intensivas e com retorno econômico elevado, como hortaliças, flores, etc.

Em qualquer estudo econômico extra-campo, deve-se levar em consideração as estradas de acesso, o desmatamento, o levantamento topográfico e de solos, alojamento, depósito, obras civis (captação de água, casa de bomba, adução, conjunto motobomba, necessidade de transformador, etc.) e também o custo da terra.

5.4.3 Depreciação e Operação

Na irrigação por gravidade, deve-se incluir reparos e manutenção dos canais e estruturas, como sifões, calhas parshall, etc. A renovação do nivelamento é necessário antes de cada instalação de cultura. Os custos operacionais devem ser devidamente e acuradamente estudados, incluindo atividades como abertura e fechamento de comportas, movimentação de camalhões temporários, colocação de sifões, limpeza de canais, etc.

Na irrigação por aspersão, os custos de manutenção incluem o desgaste e o consumo da moto-bomba, das tubulações, dos aspersores, a recolocação de linhas corroidas e calcificadas, a manutenção dos depósitos de água e acessórios. Os custos operacionais incluem a energia para o bombeamento de água, os trabalhos para a movimentação das tubulações, etc. De uma maneira geral, os materiais metálicos, como o alumínio utilizado nas tubulações e aspersores, têm uma durabilidade máxima de 15 anos, ao passo que o PVC pode atingir apenas 5 anos.

Na irrigação localizada, tanto no gotejamento como na microaspersão deve-se cuidar principalmente dos possíveis entupimentos dos emissores, mormente se forem gotejadores. O sistema que utiliza as cintas gotejadoras são de menor durabilidade, cerca de um a dois anos, dependendo da manutenção, da qualidade do material e de outros fatores relacionados ao sistema, como por exemplo, a filtragem, a qualidade da água, a liquefação dos adubos usados na fertirrigação, etc. Os gotejadores inseridos "in line" ou "on line" em tubos de polietileno têm duração um pouco maior, talvez de até 5 anos, dependendo dos cuidados na manutenção e dos fatores, já citados, intrínsecos ao sistema.

Para todos os métodos, há algumas obras comuns, como: instalações do manancial que podem durar 25 anos; moto-bomba, 15 anos para o motor elétrico e 10 anos para os de combustão interna.

Altos custos de energia favorecem a irrigação por gravidade e os baixos, a pressurizada.

5.4.4 Valor da Cultura Irrigada

O sistema de comercialização, a distância do mercado consumidor, ou seja, o frete, o tipo de cultura, precível ou não, a época de plantio, a capacidade de pagamento de água são fatores primordiais para a escolha do método de irrigação, apesar de alguns destes serem imprevisíveis. Por outro lado, há de se convir que a irrigação aumenta a produtividade e, conseqüentemente, os lucros.

5.5 O Fator Humano

As tradições, os preconceitos, as preferências, os costumes devem ser considerados, pois pode ser difícil mudar um sistema de irrigação que esteja arraigado numa determinada região. Se a vocação da região é usar a irrigação por sulcos que é a mais usada no mundo, o vizinho pode, numa eventualidade, solicitar a outro que o substitua num eventual afastamento. A introdução de um sistema novo pode prejudicar este relacionamento.

O nível educacional do fazendeiro tem interferência direta para a aceitação das inovações. No entanto, o lavrador, de uma maneira geral, considera de alto nível técnico aquele que usa as mais modernas técnicas.

A instalação de sistemas pressurizados proporciona vantagens importantes no que se refere à mão de obra, pois enquanto os aspersores ou gotejadores estão trabalhando, o lavrador poderá estar em outra ocupação. Os sistemas de irrigação localizados e os mecanizados, como o pivô central, têm sido cada vez mais usados, principalmente nos países desenvolvidos. Para se ter uma idéia de como a automatização tornou-se importante, em Israel chega-se a irrigar até oito vezes por dia em túneis plásticos, tudo automaticamente.

No entanto, os fatores humanos são altamente subjetivos e não devem ser ignorados ou mesmo deixados em posição secundária.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. M. H., REGALADO, A. P., LOPEZ, J. R., HERNANDEZ, J. F. G. *El Riego Localizado*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1987, 317 p.
- ALMEIDA, H. A., KLAR, A. E., VILLA NOVA, N. A. Comparação de dados de evapotranspiração de referência estimados por diferentes métodos. *IRRIGA*, v 4, p.104-119. 1999.
- BENAMI, A., OFFEN, A. *Irrigation Engineering*. Haifa, Tecnion, I.I.T., 1984, 257 p.
- BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463 p.
- FINKEL, H. J. CRC. Handbook of Irrigation Technology. Boca Raton, Florida, CRC Press, 1982. 209 p.
- GOMES, H. P. *Engenharia da Irrigação*. Campina Grande, Editora Universitária, 1994, 344 p.
- KARMELI, D., PERIG, G., TODES, M. *Irrigation Systems: Design and Operation*. Oxford, Oxford University Press, 1985, 435 p.
- KELLER, J., KARMELI, D. *Trickle Irrigation Design Parameters*. ASAE Transactions 17: 678-684. 1974.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. *Sprinkler and Trickle Irrigation*. New York, AVI Book, 1990, 643 p.

- KLAR, A E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo, Editora Nobel, 1988. 408 p.
- KLAR, A E. *Irrigação: frequência e quantidade de aplicação*. São Paulo, Editora Nobel, 1991. 156 p.
- KLAR, A E., CATANEO, A, DENADAI Medidas de adaptação de plantas de trigo à seca *Científica (São Paulo)*, v 13, p. 117-27. 1985
- KLAR, A E., DENADAI, I.A M., CATANEO, A Resistência à seca de nove cultivares de trigo no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ABID, 1988. P 181-201.
- KLAR, A E., MARTINEZ-CARRASCO, R. Water, CO₂ flux, growth and drought resistance in three wheat cultivars. *Científica (São Paulo)*, v 14, p 143-90, 1986.
- KLAR, A E., USBERTI, J.A , HENDERSON, D.W. Differential Responses of Guinea Grass populations to drought stress. *Crop Sci.* v 18, p. 853-7, 1978.
- MEDINA SAN JUAN, J. A *Riego por Goteo: Teoria y Practica – 3ª Ed.* Ediciones Mundi-Prensa, 1988, 290 p.
- MARTIN-BENITO, J. M. *El Riego por Aspersión y su Tecnologia*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1999, 569 p.
- OLIVEIRA, E. L., KLAR, A E. Gotejadores de bambu para utilização em sistemas de irrigação subsuperficial: uma solução de baixo custo. *IRRIGA (Botucatu)*, v.4, p 140-57. 1999.
- PORTO, C. A L., KLAR, A E., VASCONCELOS, V.J. Efeitos do déficit hídrico em parâmetros fisiológicos de folhas de sorgo (*Sorghum bicolor l.*). *IRRIGA*, V 3, 151-163.