

Documentos 37

Princípios de Agricultura Irrigada: Caracterização e Potencialidades em Mato Grosso do Sul

**Mário Artemio Urchei
Carlos Ricardo Fietz
(Editores)**

(Contém trabalhos apresentados no Simpósio de
Agricultura Irrigada, realizado em Dourados, MS,
de 7 a 9 de outubro de 1997)

Dourados, MS
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agropecuária Oeste

BR 163, km 253,6 - Trecho Dourados-Caarapó

Caixa Postal 661

79804-970 Dourados, MS

Fone: (67) 425-5122

Fax: (67) 425-0811

www.cpa0.embrapa.br

E-mail: sac@cpa0.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Júlio Cesar Salton*

Secretário-Executivo: *Guilherme Lafourcade Asmus*

Membros: *Camilo Plácido Vieira, Clarice Zanoni Fontes, Crêbio José Ávila, Eli de Lourdes Vasconcelos, Fábio Martins Mercante e Mário Artemio Urchei*

Supervisor editorial: *Clarice Zanoni Fontes*

Revisor de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*

Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*

Tratamento da ilustração da capa: *Nilton Pires de Araújo*

Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*

1ª edição

1ª impressão (2001): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei Nº 9.610).

CIP-Catálogo-na-Publicação.

Embrapa Agropecuária Oeste.

Urchei, Mário Artemio (Ed.)

Princípios de agricultura irrigada: caracterização e potencialidades em Mato Grosso do Sul / Editado por Mário Artemio Urchei e Carlos Ricardo Fietz.

Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001.

150p. ; 21cm. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 37).

Contém trabalhos apresentados no Simpósio de Agricultura Irrigada, Dourados, MS, out.1997.

ISSN 1516-845X

1. Agricultura - Irrigação - Brasil - Mato Grosso do Sul. 2. Irrigação - Agricultura - Brasil - Mato Grosso do Sul. I. Fietz, Carlos Ricardo (Ed.). II. Simpósio de Agricultura Irrigada, 1997, Dourados. III. Embrapa Agropecuária Oeste. IV. Título. V. Série.

CDD 631.587

© Embrapa 2001

Esta publicação contém trabalhos apresentados no
Simpósio de Agricultura Irrigada,
realizado em Dourados, MS,
de 7 a 9 de outubro de 1997

Patrocinadores do Simpósio/Documento:



Os trabalhos contidos nesta publicação são de inteira
responsabilidade de seus respectivos autores.

Autores dos capítulos

Antonio Evaldo Klar

Professor Doutor do Departamento de Engenharia

Rural - FCA - UNESP, Caixa Postal 237

18603-970 - Botucatu, SP

Fone: (14) 6802-7165; Fax: (14) 6821-3438

E-mail: klar@fca.unesp.br

Paulo Leonel Libardi

Professor Titular do Departamento de Ciências

Exatas da ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Bolsista do CNPq.

E-mail: pllibard@carpa.ciagri.usp.br

Carlos Ricardo Fietz

Eng. Agr., Pesquisador, Dr., *Embrapa*

Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661,

79804-970 - Dourados, MS.

Fone: (67) 425-5122; Fax: (67) 425-0811

E-mail: fietz@cpao.embrapa.br

Mário Artemio Urchei

Eng. Agr., Pesquisador, Dr., *Embrapa*

Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661,

79804-970 - Dourados, MS.

Fone: (67) 425-5122, Fax: (67) 425-0811

E-mail: urchei@cpao.embrapa.br

Juscelino Antônio de Azevedo
Eng. Agr., Dr., Pesquisador da *Embrapa Cerrados*,
km 18, BR 020, Caixa Postal 08223,
73301-970 - Planaltina, DF.
Fone: (61) 389-1171; Fax: (61) 389-2953
E-mail: juscelin@cpac.embrapa.br

Euzebio Medrado da Silva
Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da *Embrapa Cerrados*, km 18, BR 020, Caixa Postal 08223,
73301-970 - Planaltina, DF.
Fone: (61) 389-1171; Fax: (61) 389-2953

Washington Luiz de C. e Silva
Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da *Embrapa Hortaliças*, 70359-970 - Brasília, DF.
Fone: (61) 385-9000; Fax: (61) 556-5744
E-mail: wsilva@cnph.embrapa.br

Waldir Aparecido Marouelli
Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da *Embrapa Hortaliças*, 70359-970 - Brasília, DF.
Fone: (61) 385-9000; Fax: (61) 556-5744

Durval Dourado Neto
Professor Associado. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Caixa Postal 9,
13418-970 - Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.
Fone: (19) 3429-4155; Fax: (19) 3429-4375
E-mail: dourado@esalq.usp.br

José Antônio Frizzzone
Professor Associado. Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Caixa Postal 9,
13418-970 - Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

Anderson Soares Pereira
Doutorando do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem. Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Caixa Postal 9,
13418-970 - Piracicaba, SP.

Apresentação

Apesar do fator água ser um dos mais importantes na produção agrícola, a prática da irrigação em nosso país e, especialmente, no estado de Mato Grosso do Sul ainda é bastante incipiente.

Muitos afirmam que em nosso estado não há problemas de deficiência de água e que a precipitação é suficiente para boas colheitas. Na verdade, os registros e estudos feitos pela própria *Embrapa Agropecuária Oeste* comprovam a ocorrência sistemática de déficits hídricos, consequência da má distribuição de chuva, o que muitas vezes compromete a produtividade e, em decorrência, a rentabilidade do empreendimento.

De outra parte, algumas vezes verificamos sistemas agrícolas irrigados sendo até abandonados por falta de lucratividade, levando-se a afirmar que a irrigação não é viável economicamente em nosso Estado.

O que ocorre é que a agricultura irrigada não é simplesmente agricultura de sequeiro + água, mas um refinamento e um planejamento mais eficiente de todo o sistema agrícola, para que a atividade possa ter sucesso.

Se um sistema agrícola de sequeiro não é muito eficiente, provavelmente com irrigação será menos ainda, pois os custos de produção se elevam e a resposta ao fator água é limitada em decorrência dos outros fatores de produção.

Nesse sentido, a *Embrapa Agropecuária Oeste* publica o presente documento, objetivando contribuir para a melhoria dos sistemas agrícolas irrigados já existentes, bem como para possibilitar a tomada de decisão mais fundamentada por aqueles que querem entrar na atividade.

José Ubirajara Garcia Fontoura
Chefe-Geral

Sumário

| | |
|---|----|
| Princípios de Agricultura Irrigada: Caracterização e Potencialidades em Mato Grosso do Sul..... | 11 |
| 1. Introdução..... | 11 |
| 2. Métodos de irrigação <i>Antonio Evaldo Klar</i> | 14 |
| 3. Critérios para a escolha do método de irrigação <i>Antonio Evaldo Klar</i> | 43 |
| 4. O sistema solo-água-planta-atmosfera: uma abordagem operacional <i>Paulo Leonel Libardi</i> | 64 |
| 5. Caracterização climática da região de Dourados visando a prática da irrigação <i>Carlos Ricardo Fietz</i> | 69 |
| 6. O potencial dos solos de Mato Grosso do Sul para agricultura irrigada <i>Mário Artemio Urchei</i> | 77 |

| | |
|--|-----|
| 7. Manejo da irrigação em culturas de grãos nos Cerrados <i>Juscelino Antônio de Azevedo e Euzebio Medrado da Silva</i> | 100 |
| 8. Irrigação de hortaliças <i>Washington Luiz de C. e Silva e Waldir Aparecido Marouelli</i> | 116 |
| 9. Quimigação <i>Durval Dourado Neto, José Antônio Frizzzone e Anderson Soares Pereira</i> | 123 |

Princípios de Agricultura Irrigada: Caracterização e Potencialidades em Mato Grosso do Sul

1. Introdução

O Brasil possui atualmente uma área cultivada da ordem de 55 milhões de hectares, dos quais apenas cerca de 2,7 milhões de hectares são irrigados. A relação área irrigada/cultivada é menor que 5%, representando um dos índices mais baixos do mundo. Para se ter uma idéia, a área irrigada mundial corresponde a aproximadamente 17% da área cultivada, sendo responsável por 40% da produção total de alimentos.

No Brasil, os 5% de área irrigada geram cerca de 18% da produção total do país, o que corresponde a 25% do Valor Bruto da Produção.

Com relação ao Estado de Mato Grosso do Sul, se considerarmos apenas a irrigação de terras altas, basicamente realizada com sistemas pressurizados (aspersão e localizada), temos cerca de 17.000 hectares, o que representa menos de 1% da área cultivada no Estado. Se incluirmos as áreas de várzea com a cultura do arroz, estimadas hoje em 35.000 ha, ainda assim teríamos menos de 3% da área cultivada, índice muito baixo face às nossas potencialidades e necessidades.

A agricultura irrigada apresenta as seguintes vantagens:

- eleva significativamente a produtividade das culturas;
- melhora a qualidade dos produtos;
- mantém a estabilidade da produção, independentemente das oscilações

climáticas;

- diversifica os sistemas agrícolas, utilizando culturas mais nobres como frutas, flores e hortaliças;
- utiliza mais intensiva e racionalmente os recursos naturais;
- viabiliza a produção agrícola de pequenas áreas;
- estimula a criação de agroindústrias;
- gera três empregos por hectare (um direto e dois indiretos), enquanto a agricultura de sequeiro gera apenas 0,3 emprego por hectare; e
- aumenta a lucratividade do empreendimento.

Se existem todas essas vantagens, por que motivo a área com agricultura irrigada não aumenta como deveria?

Nas últimas décadas, os programas desenvolvidos pelo governo federal tiveram alguns equívocos, preconizados pelo próprio governo, quais sejam:

- a) quanto à natureza da ação: simplificação de que o problema da agricultura irrigada se resume à engenharia para infra-estrutura hidráulica e uso de equipamentos, quando há desafios relacionados à produção e comercialização;
- b) quanto à área de abrangência: visão de que somente o Nordeste merece atenção do Governo;
- c) quanto ao envolvimento institucional: entendimento de que a agricultura irrigada é uma questão do setor público e particularmente do governo federal; e
- d) quanto ao processo econômico e produtivo: falta de tratamento adequado aos aspectos de desenvolvimento agrícola das áreas irrigadas, destacando-se:
 - ✓ o caráter de bem econômico da água;
 - ✓ a necessidade de atenção específica para a tecnologia e de capacitação para produção agrícola irrigada;
 - ✓ a necessidade de uma assistência técnica especializada para a operação e gestão da produção irrigada;
 - ✓ a necessidade de adequação do crédito de investimento e custeio às especificidades da agricultura irrigada;

- ✓ a atenção à solução da problemática pós-colheita (seleção, embalagem, tratamento, armazenagem, refrigeração, transporte etc);
- ✓ a importância dos aspectos mercadológicos (infra-estrutura, canais de comercialização, meios etc); e
- ✓ revisão e adequação da legislação vigente em irrigação.

Nesse sentido, visando contribuir com esse processo, a *Embrapa Agropecuária Oeste* promoveu durante o período de 7 a 9 de outubro de 1997, em Dourados, MS, o primeiro Simpósio de Agricultura Irrigada do Estado de Mato Grosso do Sul.

A Comissão Organizadora deste evento foi presidida pelo pesquisador da *Embrapa Agropecuária Oeste*, Mário Artemio Urchei, juntamente com os seguintes membros: Valter Cauby Endres e Clarice Zanoni Fontes - *Embrapa Agropecuária Oeste*; Euclides Fedatto - UFMS; e Tércio Jacques Fehlauer - IDATERRA.

O Simpósio contou com o patrocínio da GHF AMBIENTAL, do Grupo FOCKINK, da IRRIGAÇÃO PARANÁ/CARBORUNDUM, da SERTÃO/FORTILIT, das SEMENTES GUERRA e da ALEMMAR, com o apoio da UFMS - Agronomia, *Embrapa Área de Negócios Tecnológicos*, Delegacia Federal de Agricultura - MS, Secretaria de Recursos Hídricos - MMA, SEMADES/EMPAER (atual IDATERRA), SANESUL, ENERSUL, AEAMS/AEAGRAN, Prefeitura Municipal de Dourados e Sindicato Rural de Dourados.

O evento teve a participação de mais de 100 pessoas, entre produtores, técnicos, pesquisadores, professores e estudantes, onde foram discutidos os principais temas ligados à agricultura irrigada do país e de Mato Grosso do Sul.

O presente documento foi baseado nas palestras e discussões desenvolvidas no referido Simpósio, atualizadas e acrescidas de outros temas de interesse, como forma de contribuir com a agricultura irrigada no Estado de Mato Grosso do Sul.

2.1. Introdução

2. Métodos de Irrigação

Antonio Evaldo Klar

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 1". O ácido abscísico tem sua produção aumentada quando a planta entra em estresse hídrico, afetando o mecanismo de fechamento dos estômatos e, por consequência, 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

* J. Schoeder. FAPESP Pesquisa. Dez, 1999. p.27

acarreta queda intensa nos processos fisiológicos de crescimento e de outros que ocorrem nos vegetais. As plantas sem o Era 1 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 frequência das chuvas, evapotranspiração, 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.

2.2. 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).

2.3. Irrigação por Gravidade ou por Superfície

Pode ser dividida em: SULCOS E INUNDAÇÃO

2.3.1. Sulcos

A Fig. 1 esquematiza três tipos de sulcos de irrigação. A água se escoar 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⁻¹ 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.

2.3.1.1. *Sulcos retos*



(a)



(b)



Fig. 1. Representação esquemática da irrigação por sulcos: a) Sulcos Retos com declive; b) Sulcos em Contorno; c) Sulcos Corrugados (Frizzzone, 1993).

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 (Fig. 2)

- a estrutura não precisa ser mudada a cada cultivo;
- o investimento inicial é 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.

2.3.1.2. *Sulcos em contorno*

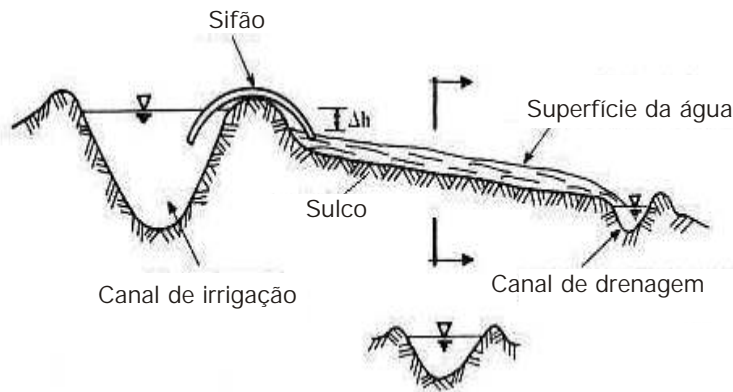


Fig. 2. Sulcos em Declive: esquema de um sulco com transferência de água por sifonamento.

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.

2.3.1.3. Sulcos em ziguezague

Usados principalmente em fruteiras e plantas perenes em geral (Fig. 3).

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.

2.3.2. Inundação por tabuleiros

Pode ser em nível e em declive (Fig. 5).

2.3.2.1. Tabuleiros em nível

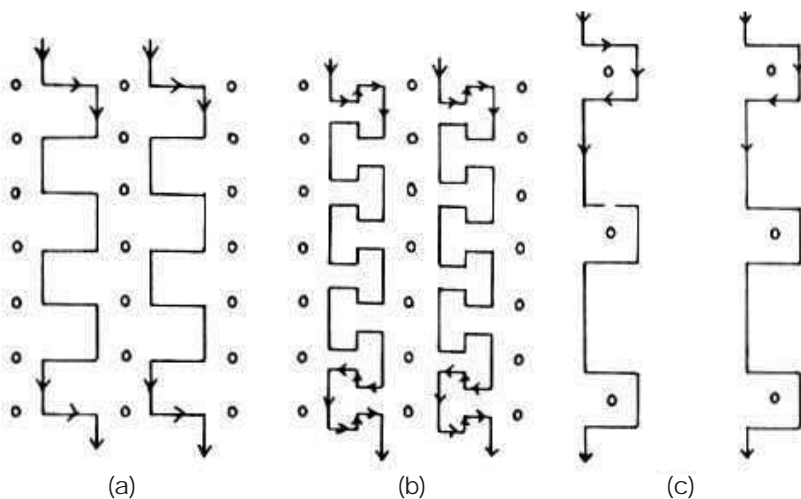


Fig. 3. Esquemas de sulcos em ziguezague em plantas perenes: a) videira - declive moderado; b) videira - pequeno declive; c) árvores frutíferas (Bernardo, 1982).

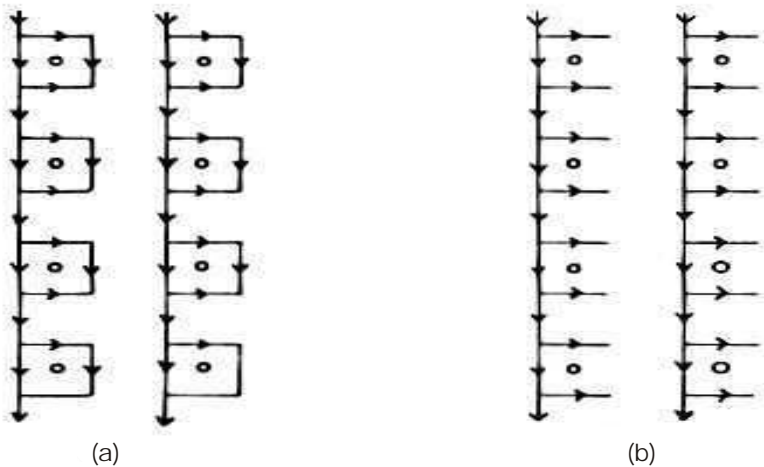


Fig. 4. Sulcos: a) em quadras; b) em dentes, usados em fruticultura (Bernardo, 1982).

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

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

O tamanho de cada tabuleiro é grande (p. ex.: 5 ha) em solos planos e argilosos.

Vantagens:

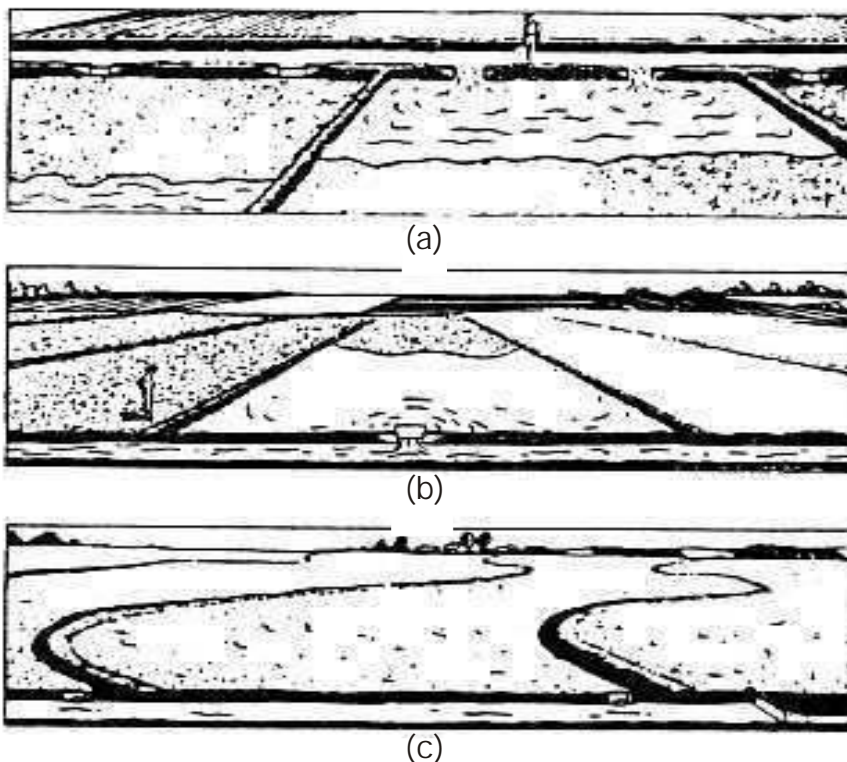


Fig. 5. Irrigação por inundação: a) tabuleiros em nível; b) tabuleiros em declive; c) tabuleiros em contorno (Frizone, 1993).

- 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.

2.3.2.2. 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 interfere nos tratamentos fitossanitários.
6. Permite o uso de águas com elevado teor de sólidos em suspensão, de algas, ou mesmo poluídas em determinadas situações. Não exige filtragem da água.
7. Maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais.
8. Não sofre a influência dos ventos.
9. Independe 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.

2.4. Irrigação Pressurizada

2.4.1. 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.

2.4.1.1. Convencional ou portátil

Todos os componentes (motobomba, tubulações e aspersores) são portáteis (Figuras 6 e 7). Comparando-se com os outros sistemas de aspersão apresenta as seguintes 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.

2.4.1.2. Permanente

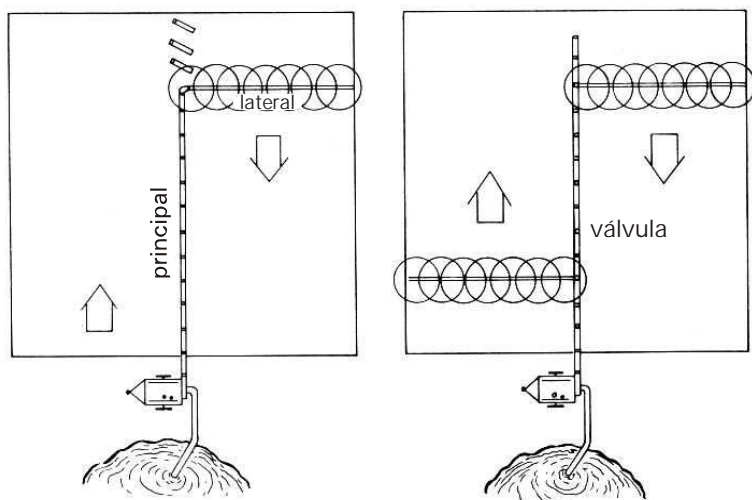


Fig. 6. Exemplo de irrigação por aspersão portátil com uma lateral e com duas laterais (Olitta, 1977).

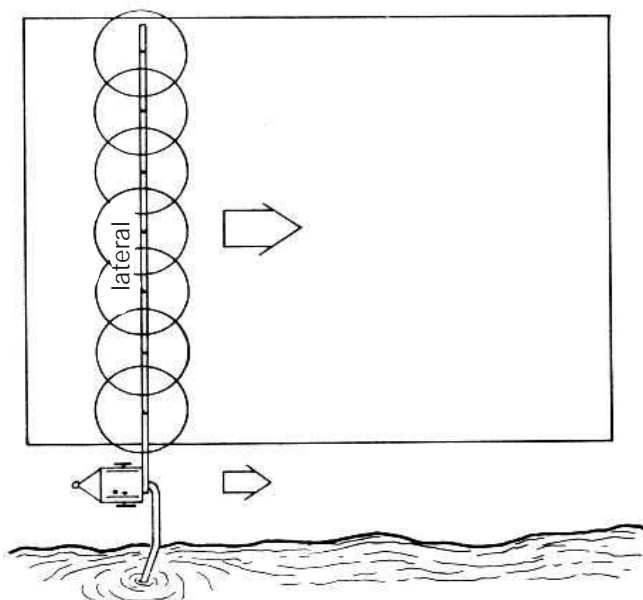


Fig. 7. Exemplo de irrigação com moto-bomba e lateral portátil (Olitta, 1977).

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.

2.4.1.3. *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 (aspersores de grandes vazões e pressões). 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 (Fig. 8).

Vantagens:

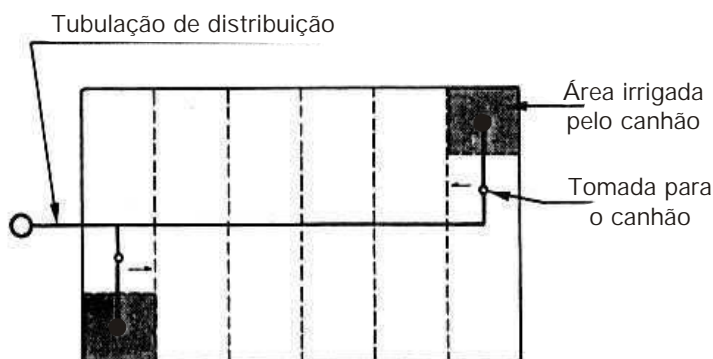


Fig. 8. Irrigação por aspersão com canhão hidráulico portátil (Gomes, 1994).

- 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.

2.4.1.4. 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, como mostra a Fig. 9, 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⁻¹. A velocidade de deslocamento gira em torno de 40 a 100 m h⁻¹. 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 m^3 por hora.

Vantagens:

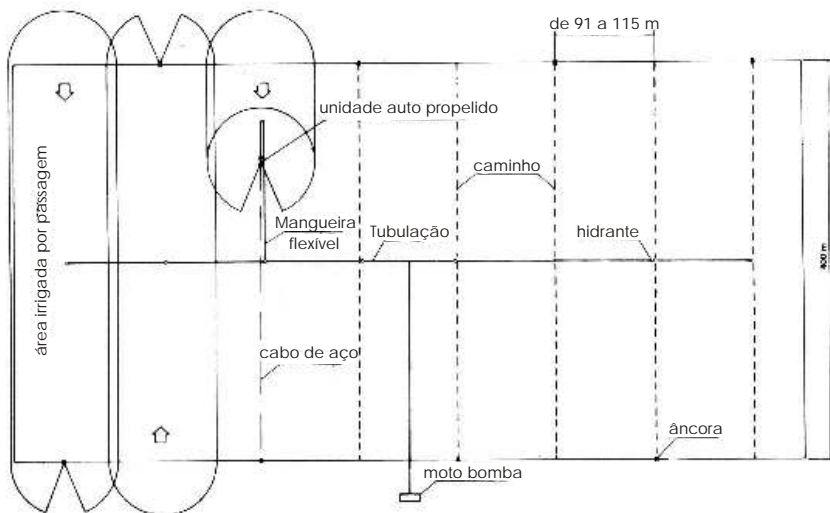


Fig. 9. Autopropelido com aspersos tipo canhão (Catálogo Asbrasil).

- 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 três rodas ligado na extremidade da mangueira.

Vantagens:

- dispensa o uso de cabo de aço;
- o tubo maleável de polipropileno pode atingir até 1.000 m;
- dispensa o uso de carregadores 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 $160 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo indicado para áreas de até 60 ha (Fig. 10).

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

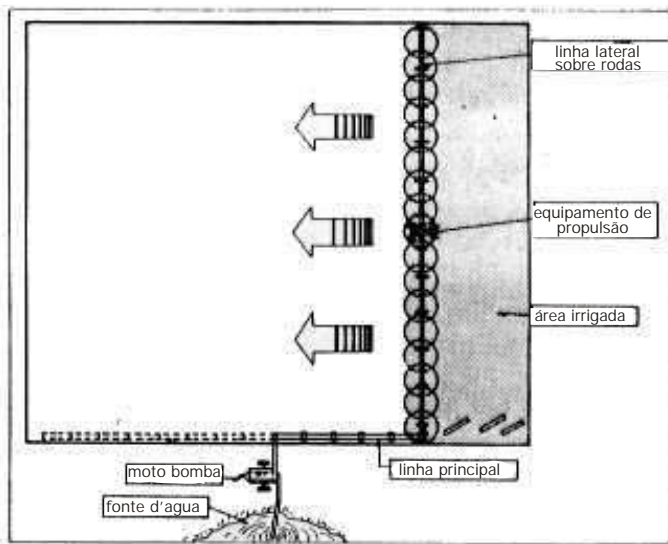


Fig. 10. Sistema de aspersão sobre rodas com deslocamento lateral (Bernardo, 1982).

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, como as usadas nos pivôs centrais. O espaçamento também pode ser de 12 m entre aspersores, como no rolão. A água é fornecida por mangotes flexíveis de até 400 m que fazem a ligação da linha lateral com a linha de adução ou principal ou com motobombas móveis que coletam a água em um canal central ou um canal lateral de alimentação.

O equipamento tem um movimento contínuo feito através de turbinas hidráulicas que transmitem um movimento de rotação a uma bobina que impulsiona o conjunto 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

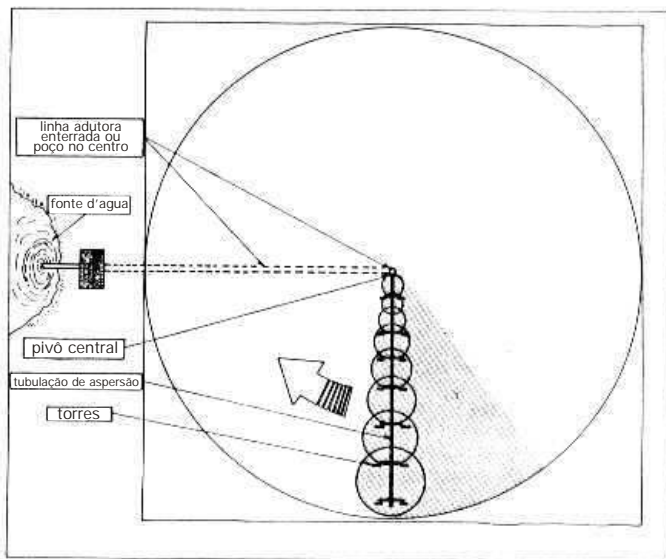
É um sistema automatizado de irrigação que opera em círculo, girando a uma velocidade constante e pré-fixada. É indicado para grandes superfícies. É constituído por uma base no centro do círculo irrigado, denominada Pivô central, pela adutora com conexão à fonte de água, pela linha de distribuição de água com os aspersores e o sistema de automatização (Fig. 11).

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 m umas das outras, e a tubulação de distribuição pode variar de 61 a 792 m 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.

Fig. 11. Irrigação por pivô central (Bernardo, 1982).



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:

c.1) *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 m. 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;

c.2) *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.3) *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 impecilho 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.

2.4.2. 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.

2.4.2.1. Gotejamento

Um esquema básico de uma irrigação por gotejamento é representado na Fig. 12, tendo como principais componentes: adução, motobomba, filtros (areia, tela e discos), sistema de quimigação, válvulas e manômetros que constituem o Cabeçal de Controle. Este é conectado

às tubulações de distribuição, derivação e linhas laterais. Nestas são inseridos os gotejadores ou emissores que 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°), 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).

2.4.2.2. Microaspersão

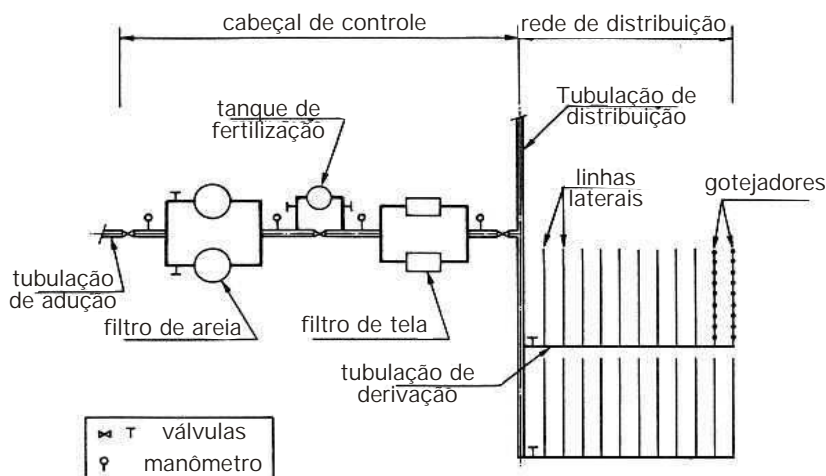


Fig. 12. Esquema de irrigação por gotejamento (Gomes, 1994).

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⁻¹ 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

Tanto o gotejamento como a microaspersão necessitam de 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 hidro ciclone, aproveitando da força centrífuga da água.

Injetor de Fertilizantes

Este sistema é normal na irrigação localizada e inclusive no sistema de pivô central, havendo diferentes tipos.

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;

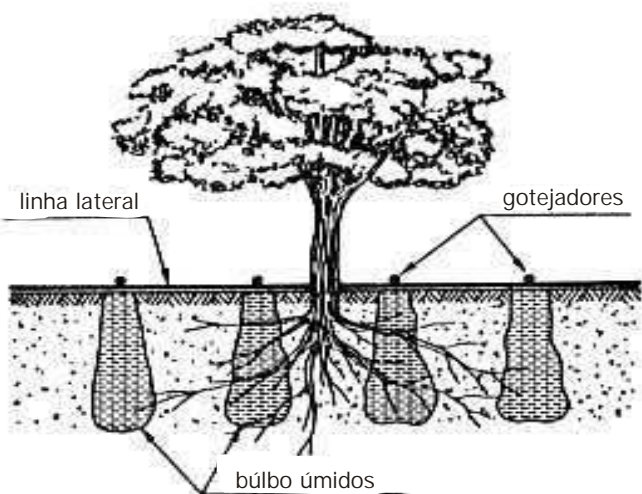
- as aplicações freqüentes favorecem o uso do método em áreas onde pode haver salinidade elevada na água de irrigação e no solo;
- pouca necessidade de mão-de-obra;
- não é afetado pelos ventos;
- pode ser aplicado em grandes declives.

Desvantagens:

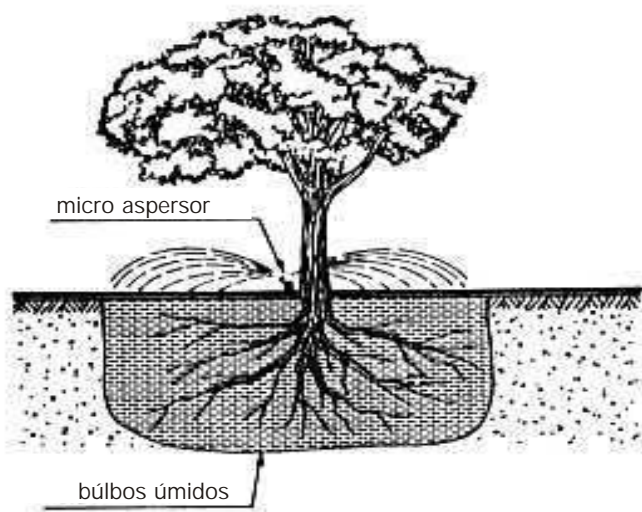
- entupimento dos gotejadores;
- acumulação de sais na periferia do bulbo úmido, que com chuvas podem atingir a zona radicular;
- alto custo inicial, daí ser somente recomendado para culturas com alto retorno, principalmente fruteiras (pêssego, nectarina, etc.), flores e plantas olerícolas. A microaspersão 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 a sistema é relativamente frágil;
- deve-se cuidar para que não se danifique as tubulações durante os tratos culturais, principalmente as capinas.

A Fig. 13 ilustra bulbos úmidos em solo de alta permeabilidade para a irrigação por gotejamento e a microaspersão.

2.5. Subirrigação



a) IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO



B) IRRIGAÇÃO POR MICRO ASPERSÃO

Fig. 13. Bulbos úmidos em solos de alta permeabilidade (Gomes, 1994).

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 áreas planas com camada impermeável logo abaixo da superfície;
- requer um sistema de drenagem, principalmente na estação das chuvas.

2.6. 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 & 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.

2.7. 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, Botucatu, v. 4, p.104-119, 1999.

BENAMI, A.; OFFEN, A. Irrigation engineering. Haifa: Tecnion, 1984. v.2, 257 p.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463 p.

FINKEL, H. J. CRC handbook of irrigation technology. Boca Raton: 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.; BLIESNER, R. D. Sprinkler and trickle irrigation. New York: AVI Book, 1990. 643 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 17, p. 678-684, 1974.

KLAR, A E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

KLAR, A E. Irrigação: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KLAR, A. E.; CATANEO, A.; DENADAI, I. A. M. Medidas de adaptação

de plantas de trigo à deficits hídricos. Científica, São Paulo, v. 13, p. 117-127, 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. 143-190, 1986.

KLAR, A. E.; USBERTI, J. A.; HENDERSON, D. W. Differential responses of guinea grass populations to drought stress. Crop Science, Madison, v. 18, p. 853-857, 1978.

MARTIN-BENITO, J. M. El riego por aspersión y su tecnologia. Madrid: Mundi-Prensa, 1999. 569 p.

MEDINA SAN JUAN, J. A. Riego por goteo: teoria y practica. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 290 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. 140-157, 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, Botucatu, v.3, p.151-163, 1998.

3. Critérios para a Escolha do Método de Irrigação

Antonio Evaldo Klar

3.1. Introdução

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.)

3.2. 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.

3.2.1. 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 consequência, 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 faz irrigações freqüentes e leves.

3.2.2. 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.

3.2.3. 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 tornado 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.

3.2.4. 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 h^{-1} 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.

3.2.5. 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):

$$NL = CE_i / CE_d = h_d / h_i \quad (1)$$

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 $5,0 \text{ mmhos cm}^{-1}$, a 25°C . Para se saber quanto se deve aplicar como lâmina bruta total, aplica-se a equação:

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

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

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 houver 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.

3.2.6. 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.

3.2.6.1. 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 ser 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.

3.2.6.2. 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.

3.2.6.3. 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.

3.2.6.4. 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 dengue e 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 subirrigação 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.

3.3. 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.

3.3.1. 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.

3.3.2. 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 espécies 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 indicados.

3.3.3. Estádio de crescimento

Este fator é importante. As plantas no estágio de germinação e estádios 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.

3.3.4. 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.

3.4. 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.

3.4.1. 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.

3.4.2. 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.

3.4.3. 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 3.000 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⁻¹. 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.

3.4.4. Geadas

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.

3.5. 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.

3.5.1. 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.

3.5.2. 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-trator: 8; moto-niveladora: 10; tratores em geral: 10.

A tipificação dos custos dentro do 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.

3.5.3. 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 devida 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 motobomba, das tubulações, dos aspersores, a recolocação de linhas corroídas 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 cinco 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; motobomba, 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.

3.5.4. Valor da cultura irrigada

O sistema de comercialização, a distância do mercado consumidor, ou seja, o frete, o tipo de cultura, perecível 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.

3.6. 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 utilizada 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.

3.7. 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, Botucatu, v. 4, p.104-119, 1999.

BENAMI, A.; OFFEN, A. Irrigation engineering. Haifa: Tecnion, 1984. v.2, 257 p.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1982. 463 p.

FINKEL, H. J. CRC handbook of irrigation technology. Boca Raton: 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.; BLIESNER, R. D. Sprinkler and trickle irrigation. New York: AVI Book, 1990. 643 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 17, p. 678-684, 1974.

KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

KLAR, A. E. Irrigação: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KLAR, A. E.; CATANEO, A.; DENADAI, I. A. M. Medidas de adaptação de plantas de trigo à deficits hídricos. Científica, São Paulo, v. 13, p. 117-127, 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. 143-190, 1986.

KLAR, A. E.; USBERTI, J. A.; HENDERSON, D. W. Differential responses of guinea grass populations to drought stress. Crop Science, Madison, v. 18, p. 853-857, 1978.

MARTIN-BENITO, J. M. El riego por aspersión y su tecnologia. Madrid: Mundi-Prensa, 1999. 569 p.

MEDINA SAN JUAN, J. A. Riego por goteo: teoria y practica. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 290 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. 140-157, 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, Botucatu, v.3, p.151-163, 1998.

4. O Sistema Solo-Planta-Atmosfera: uma Abordagem Operacional

Paulo Leonel Libardi

Nossa idéia com essa apresentação é transferir a experiência que acumulamos no assunto dentro do contexto do balanço hídrico de comunidades vegetais apresentando e analisando, além de resultados sob nossas condições, metodologias e equipamentos que estão de fato prontos para funcionar.

O termo umidade do solo refere-se a um índice que quantifica a água que uma dada amostra de solo possui e, tradicionalmente, tem sido expresso a base de massa e a base de volume. A umidade a base de massa é definida como a razão entre a massa de água e a massa de sólidos de uma amostra de solo e a umidade a base de volume como a razão entre o volume de água presente na amostra e o volume da amostra. Métodos indiretos de determinação da umidade do solo que se revestem de importância até o momento sob nossas condições, em termos operacionais, são o método da moderação de nêutrons e o método da atenuação gama, o primeiro para medidas sob condições de campo e o segundo notadamente para medidas sob condições de laboratório. Um trabalho que faz uma boa revisão sobre a medida da água no solo é o de Erbach (1987).

Um gráfico relacionando a umidade do solo com a sua profundidade num determinado momento é chamado de perfil de umidade. A área sob a curva de tal gráfico, com a umidade expressa à base de volume, representa a quantidade de água que o perfil armazena em termos de altura de água, sendo, por isso, denominada de armazenagem de água

no perfil. A variação de armazenagem até uma profundidade de interesse representa, evidentemente, a diferença de armazenagem num dado intervalo de tempo. É para a estimativa da variação de armazenagem que a sonda de nêutrons deve ser preferencialmente utilizada nos estudos sobre o balanço hídrico.

Além da quantidade de água que um solo armazena, torna-se também de extrema importância para o estudo de sua dinâmica, saber a energia com que se encontra retida no solo (ou na planta, ou na atmosfera). Através do conceito de Potenciais Termodinâmicos da Termodinâmica Macroscópica, esta energia da água no solo é definida através do que se denominou potencial total de água no solo com o qual, sob condição isotérmica, estabelece-se a tendência do movimento da água no espaço poroso: *sob condição isotérmica a tendência do movimento da água no solo é de onde seu potencial total é maior para onde ele é menor*. Para todos os solos, sob condição isotérmica, independentemente se expande ou se contraem ou se estiverem saturados ou não saturados com água os principais componentes do potencial total de água (ou solução) no solo são: potencial de pressão, potencial mátrico, potencial pneumático e potencial gravitacional. A unidade de potencial no Sistema Internacional é J kg^{-1} ou J m^{-3} . Destes componentes do potencial total, o de maior significância no caso da água no solo numa condição de não saturação é o potencial mátrico cuja medida a campo é normalmente feita com tensiômetro (Libardi, 1995). Um gráfico relacionando a umidade do solo com o potencial mátrico denomina-se curva de retenção da água no solo. Esta curva, feita de maneira completa e com amostras de solo com estrutura indeformada é um dos melhores índices para analisar o comportamento da retenção da água nos poros do solo (Moraes et al., 1993) e é sem dúvida fundamental na caracterização dos solos sob quaisquer tipo de preparo.

Pelo que vimos no item anterior, o conhecimento da diferença de potencial total, entre dois pontos de um perfil de solo, permite-nos saber a tendência do movimento da água no solo entre os respectivos pontos. A quantificação deste movimento, entretanto, exige mais conhecimento do meio poroso quanto à sua habilidade em transmitir água. Neste sentido a equação que melhor rege o movimento da água

no solo é a equação de Darcy-Buckingham segundo a qual a densidade de fluxo de água (m s^{-1}), isto é, a vazão de água por unidade de área de secção transversal de solo é diretamente proporcional ao gradiente de potencial total; fisicamente, o gradiente de potencial total representa a força que atua na unidade de massa (ou volume) de água fazendo-a mover. A constante de proporcionalidade entre a densidade de fluxo e o gradiente diz respeito à transmissão da água através do solo e traduz com que rapidez a água atravessa o solo. É por isso denominada condutividade hidráulica do solo e é função da umidade deste. Juntamente com a curva de retenção, a condutividade hidráulica do solo expressa em função da umidade do solo (ou do potencial mátrico) é de primordial importância na caracterização dos solos sob quaisquer sistemas de cultivo. Ela pode ser determinada tanto em laboratório como sob condições de campo conforme se pode ver com detalhe em Libardi (1995).

O conhecimento detalhado da dinâmica da água, durante o desenvolvimento de uma cultura, fornece elementos essenciais para o estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visam a otimização da produtividade. A água é fator fundamental no desenvolvimento de uma cultura, afetando, principalmente, o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção e transferência de nutrientes para as plantas. Sua dinâmica tem sido estudada através de balanços hídricos, baseados principalmente em informações obtidas na atmosfera, deixando para segundo plano informações edáficas. Estudos da dinâmica da água em condições de campo dando ênfase a fluxos de água na zona radicular da cultura, já são menos frequentes e, muitas vezes, incompletos, devido à grande complexidade dos procedimentos experimentais necessários. Um exemplo de pesquisa na qual é dado ênfase a fluxos de drenagem abaixo do sistema radicular é a de Pereira et al. (1974), na qual se estudou o balanço hídrico de duas culturas de café, uma de livre crescimento e outra recepada. Os resultados deste trabalho mostraram que a drenagem interna, no ciclo total de um ano, correspondeu a, aproximadamente, 30% do total de perdas de água. Outro exemplo, mais recente, é o de Libardi & Saad (1994) que determinaram o balanço hídrico no solo com cultura de feijão irrigada por pivô-central num Latossolo Roxo distrófico de textura muito argilosa também utilizando tensiômetros e curvas de retenção para o

cálculo da variação da armazenagem e a drenagem interna. A função condutividade hidráulica, neste caso, foi determinada pelo método de Libardi et al. (1980). As conclusões foram: 1. O uso de tensiômetros para controlar a irrigação e as perdas de água pelo feijoeiro, assim como o cálculo da lâmina de água requerida, a partir da umidade correspondente ao potencial mátrico à profundidade de 0,15 m que precede a irrigação (= -6 m) e a umidade correspondente ao potencial mátrico de -0,8 m (capacidade de campo) são procedimentos recomendáveis para o tipo de solo estudado, uma vez que foi obtida elevada produção de grãos com o mínimo de perdas de água por drenagem interna. 2. A camada superficial do solo de 0,30 m foi suficiente para um adequado controle das irrigações à cultura do feijão no tipo de solo considerado.

Finalmente, gostaríamos de citar o trabalho de Libardi et al. (1996), que resultou de Programa de Pesquisa Coordenada com a Agência Internacional de Energia Atômica, no qual se procurou identificar estádios específicos de desenvolvimento de culturas de feijão e de milho durante os quais a cultura fosse menos sensível ao déficit de água. Foram determinados balanços hídricos no solo nos diferentes tratamentos através da utilização da sonda de nêutrons e de tensiômetros. Os resultados mostraram que a sonda de nêutrons provou ser sensível à medida da água de irrigação no perfil de solo e de que a falta de água durante o período de floração na cultura de feijão teve o maior efeito sobre a produção de grãos.

4.1. Referências Bibliográficas

ERBACH, D. C. Measurement of soil bulk density and moisture. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 30, n. 4, p. 922-931, 1987.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: Edição do Autor, 1995. 497p.

LIBARDI, P. L.; MORAES, S. O.; SAAD, A. M.; VAN LIER, Q. J.; VIEIRA, O.; TUON, R. L. Nuclear techniques to evaluate the water use of field crops irrigated in different stages of their cycles. Viena: IAEA, 1996. p. 33-49. (ECDOC- 888).

LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, p. 3-7, 1980.

LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em Latossolo roxo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 18, p. 529-532, 1994.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L.; DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 383 - 392, 1993.

PEREIRA, A. R.; FERRAZ, E. S. B.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L. Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins e Marília. Piracicaba: CENA, [19-]. 28 p. (BC-014).

5. Caracterização Climática da Região de Dourados Visando à Prática da Irrigação

Carlos Ricardo Fietz

5.1. Introdução

No Estado de Mato Grosso do Sul existem poucas informações sobre o clima. Neste contexto, o município de Dourados é uma exceção, devido à estação meteorológica da *Embrapa Agropecuária Oeste*, em funcionamento desde 1979, cujos dados gerados serviram de base para a elaboração de alguns estudos sobre precipitação, evapotranspiração e veranicos. Analisando-se os dados da referida estação, assumindo-se que os mesmos são representativos para os demais municípios, é possível fazer um diagnóstico sobre o clima da região. Assim, de uma maneira geral, a precipitação média na região de Dourados situa-se em torno de 1.400 mm ano⁻¹ (Tabela 1), com um período mais chuvoso (setembro a maio) e um mais seco (junho a agosto). A distribuição sazonal das temperaturas também define duas estações distintas: de outubro a abril, com temperaturas média de 22,7 a 25,3°C, e de maio a setembro, com médias de 17,6 a 21,1°C. A umidade relativa do ar atinge seus valores mínimos no ano no final do inverno, em agosto e setembro. É comum a ocorrência de pelo três geadas ao ano, principalmente nos meses de junho e julho. No entanto, em alguns anos não ocorreram geadas (1982 e 1985), enquanto em outros, como 1990, houve dez registros.

Na literatura, a região de Dourados é classificada como do tipo Cfa, Cwa e Aw de Köppen. No entanto, analisando-se as normais de chuva

e temperatura do ar (Tabela 1), elementos meteorológicos que baseiam esta classificação, conclui-se que o clima da região é de fato do tipo Cwa (clima temperado úmido, com inverno seco, verão quente), pois a temperatura do mês mais frio (junho) é inferior a 18°C e a do mês mais quente é superior a 22°C. Além disso, o total de chuva no verão (janeiro, fevereiro e parte de dezembro e março) supera em mais de dez vezes a menor precipitação mensal (julho).

5.2. Veranicos

A ocorrência de veranicos tem importância fundamental para a maioria das atividades agrícolas. Na região de Dourados é muito comum a ocorrência de períodos consecutivos secos. Levantamento recente realizado pela *Embrapa Agropecuária Oeste* revelou que entre 1979 e 1999 ocorreram 103 veranicos de dez dias ou mais, 81 vezes de maio a setembro.

A Fig. 1 apresenta a probabilidade de ocorrência de veranicos de dez dias na região de Dourados, calculada com base em dados diários de precipitação de uma série de 17 anos. Analisando-se a Fig. 1, pode-se perceber que os meses de julho e agosto apresentam maior probabilidade de ocorrência de veranicos. A probabilidade de ocorrência de períodos contínuos secos de dez dias é maior no terceiro decêndio de julho, com probabilidade em torno de 50%, ou em um a cada dois anos. Pode-se observar também que em janeiro e fevereiro há menor probabilidade de ocorrência de períodos consecutivos secos e que o terceiro decêndio de fevereiro e o segundo de dezembro são os períodos com menor probabilidade de ocorrência de veranicos.

5.3. Deficiência Hídrica

Na Fig. 2 são apresentados os valores de déficit hídrico máximo esperado em Dourados, para o período de retorno de 4 anos ou nível de probabilidade de 75%. Com base na mesma e na Fig. 3, que contem as médias decendiais de precipitação e de evapotranspiração de referência da região, é possível analisar-se o comportamento do déficit hídrico no transcorrer do ano.

Tabela 1. Dados normais de precipitação (P), temperatura média do ar (T) e umidade relativa (UR) de Dourados. Período de 1979 a 1999.

| | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Maio | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Anual |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| P (mm) | 156,4 | 123,7 | 151,1 | 120,2 | 115,0 | 75,9 | 38,1 | 48,7 | 105,5 | 147,2 | 150,7 | 176,5 | 1.409,0 |
| T (°C) | 25,3 | 24,6 | 24,4 | 22,7 | 19,7 | 17,6 | 17,7 | 19,8 | 21,1 | 23,5 | 24,6 | 25,2 | 22,2 |
| UR (%) | 81 | 83 | 80 | 79 | 80 | 80 | 73 | 69 | 70 | 72 | 73 | 77 | 76 |

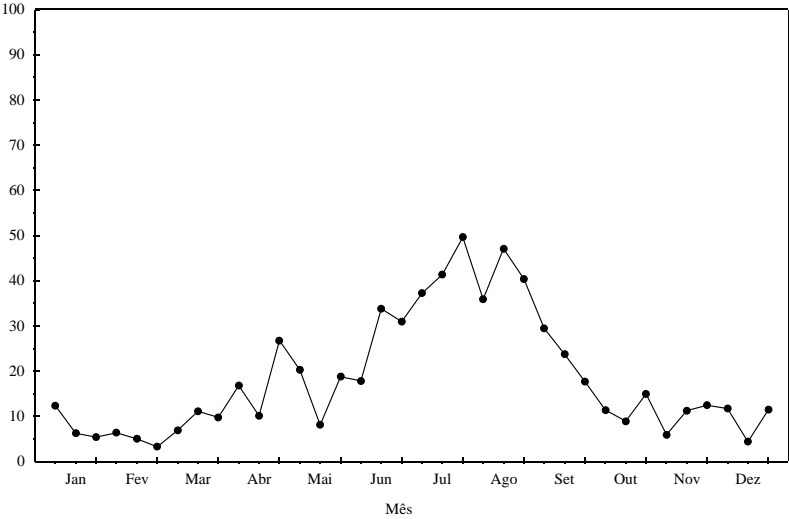


Fig. 1. Probabilidade de ocorrência de períodos consecutivos secos de dez dias na região de Dourados. Fonte: Fietz et al. (1998).

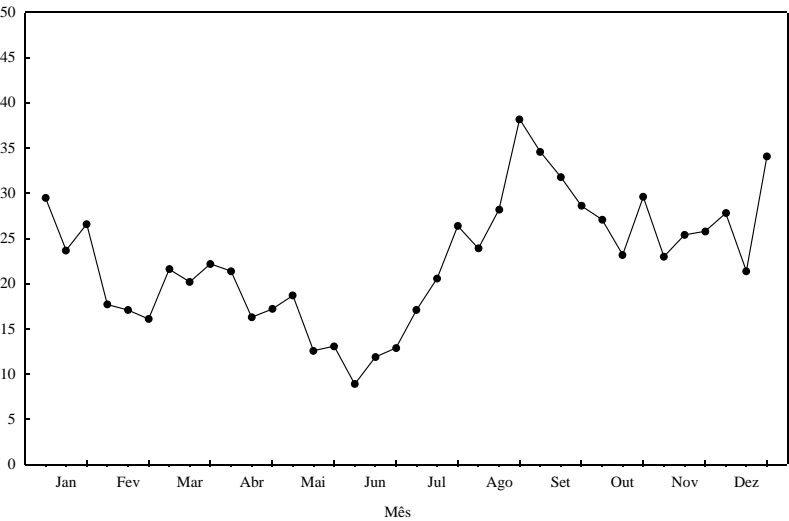


Fig. 2. Déficit hídrico decendial máximo esperado na região de Dourados para o período de retorno de 4 anos ou 75% de probabilidade. Período de junho de 1979 a dezembro de 1998. Fonte: Fietz et al. (2001).

Assim, pode-se perceber que em abril, maio, junho e julho, principalmente do segundo decêndio de maio ao terceiro de junho, ocorrem os menores índices de déficit hídrico, apesar desses meses apresentarem baixos índices de precipitação (Fig. 3). Esse comportamento pode ser atribuído à pequena demanda evapotranspirativa do período, resultante das temperaturas mais baixas e do menor número de horas de brilho solar, que possibilita manter um relativo equilíbrio hídrico.

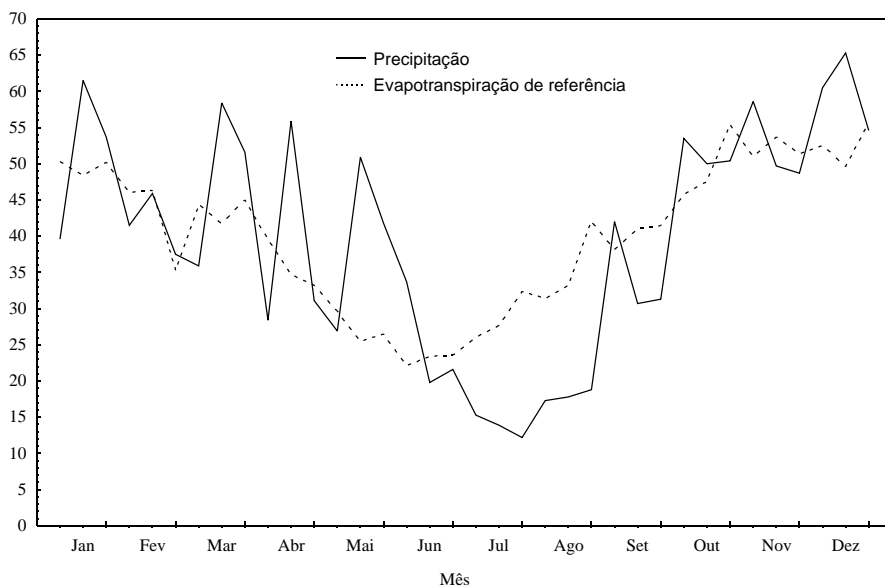


Fig. 3. Valores médios decendiais de precipitação e de evapotranspiração de referência na região de Dourados. Período de junho de 1979 a dezembro de 1998.

No período que abrange o segundo decêndio de agosto até o terceiro de setembro, há maior probabilidade de ocorrerem os níveis mais elevados de déficit hídrico no ano. Em Dourados, assim como na região de Cascavel, PR (Caramori et al., 1991), os maiores índices de deficiência hídrica ocorrem principalmente no terceiro decêndio de agosto e no primeiro de setembro; portanto, deve-se evitar que os estádios mais sensíveis à escassez de água das culturas não irrigadas

ocorram neste período. Apesar desses decêndios não apresentarem as maiores taxas de evapotranspiração, que ocorrem em novembro, dezembro e janeiro, esses resultados podem ser atribuídos aos baixos índices de precipitação do período.

De outubro a janeiro, também podem ocorrer valores altos de déficit hídrico, devido à grande demanda evapotranspirativa e à distribuição irregular das chuvas desses meses, nos quais, frequentemente, são registrados veranicos e estiagens. Geralmente, nesses meses ocorrem os estádios fenológicos mais críticos das culturas de verão, justificando tecnicamente o uso da irrigação, em caráter complementar, na região de Dourados.

5.4. Evapotranspiração e Dimensionamento de Sistemas de Irrigação

Uma grande dificuldade em projetos de irrigação é definir criteriosamente o valor da evapotranspiração que servirá de base para o dimensionamento dos sistemas. No Brasil, na maioria das vezes, utiliza-se como parâmetro de dimensionamento valores máximos ou médios de evapotranspiração do período de maior exigência hídrica das culturas, procedimento que pode resultar em sistemas de irrigação super ou subdimensionados. No entanto, alguns trabalhos consideram a probabilidade de ocorrência da evapotranspiração. Essa abordagem racional possibilita dimensionamentos criteriosos da irrigação, com base nos níveis de riscos do sistema não atender às necessidades hídricas das culturas.

Na Tabela 2 são apresentados valores de evapotranspiração de referência (ET_0) da região de Dourados, para diferentes níveis de probabilidades ou períodos de retorno. Esses valores foram estimados pelo método de Penman, com base em elementos meteorológicos de 16 anos. A interpretação dessas informações pode ser feita da seguinte forma: para um período acumulado de 15 dias e probabilidade de ocorrência de 90%, ou período de retorno de 10 anos, o valor de ET_0 corresponde a $6,40\text{mm dia}^{-1}$. Portanto, existe 90% de probabilidade de que o valor de ET_0 para um período de 15 dias não ultrapasse a $6,40\text{mm dia}^{-1}$, ou ainda, para o mesmo período, em apenas um de cada

dez anos o valor de ET_0 será igual ou superior a $6,40 \text{ mm dia}^{-1}$.

Esses valores de ET_0 , multiplicados pelos respectivos coeficientes de cultura, poderão ser utilizados como parâmetro de dimensionamento de sistemas de irrigação na região de Dourados. Por exemplo, na cultura de milho o florescimento é o período de máxima exigência hídrica, com duração em torno de 20 dias e coeficientes de cultura de 1,05, segundo Doorenbos & Kassan (1994). Nessas condições, adotando-se 75% como nível de probabilidade (período de retorno de quatro anos), a evapotranspiração recomendada como parâmetro de dimensionamento de sistemas de irrigação para a região de Dourados é $6,18 \text{ mm dia}^{-1}$ ($5,89 \times 1,05$).

Tabela 2. Evapotranspiração de referência para diferentes níveis de probabilidade, períodos de retorno e períodos acumulados.

| Período acumulado (dias) | | Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) | | | | | | |
|--------------------------------|------|--|------|------|------|------|------|--|
| | | Nível de probabilidade (%) | | | | | | |
| 50 | 67 | 75 | 80 | 88 | 90 | 92 | 94 | |
| 6,66 | 6,86 | 6,97 | 7,05 | 7,20 | 7,25 | 7,31 | 7,38 | |
| 6,21 | 6,39 | 6,48 | 6,55 | 7,69 | 6,73 | 6,78 | 6,84 | |
| 5,91 | 6,08 | 6,17 | 6,23 | 6,36 | 6,40 | 6,45 | 6,51 | |
| 5,69 | 5,82 | 5,89 | 5,94 | 6,03 | 6,06 | 6,10 | 6,14 | |
| 5,57 | 5,72 | 5,81 | 5,86 | 5,98 | 6,02 | 6,06 | 6,12 | |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 8 | 10 | 12 | 14 | |
| Período de retorno (anos) | | | | | | | | |

Fonte: Fietz et al. (1997).

5.5. Referências Bibliográficas

CARAMONI, P. H.; OLIVEIRA, D. de; FARIA, R. T. de. Frequência de ocorrência de períodos com deficiência hídrica (veranicos) no Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1991. 40p. (IAPAR. Boletim Técnico, 36).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB/ FAO, 1994. 306p. (FAO. Estudos: Irrigação e Drenagem, 33).

FIETZ, C. R.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; PINTO, J. M. Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência na região de Dourados, MS. Ciência Rural, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 207-210, 1997.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J. A. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados (MS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. CD Rom.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS. Irriga, Botucatu, v. 3, n. 1, p. 16-22, 1998.

6. Potencial dos Solos de Mato Grosso do Sul para Agricultura Irrigada

Mário Artemio Urchei

6.1. Introdução

A primeira parte deste capítulo abordará alguns aspectos importantes sobre a caracterização das terras para fins de irrigação, uma vez que a mesma é o ponto de partida para o planejamento, o dimensionamento e o manejo racional de sistemas agrícolas irrigados. Ela permite identificar a viabilidade técnica e econômica da implantação desses sistemas. Para isso, necessita-se de criteriosa análise e avaliação de atributos físicos, químicos, topográficos e de drenagem das terras (Urchei et al., 1998). Com isso, serão levantados, de maneira resumida, os principais atributos dos solos, os quais devem ser observados para a implantação de sistemas agrícolas irrigados.

A segunda parte fará uma descrição e breve discussão das principais classes de solo do Estado de Mato Grosso do Sul e seu potencial para a agricultura irrigada, procurando trazer subsídios para a tomada de decisão com relação à implantação de sistemas agrícolas irrigados em nosso Estado, bem como a adequação dos diferentes métodos de irrigação ao tipo de solo.

6.2. Fatores a serem Considerados para a Caracterização e Aptidão das Terras para a Agricultura Irrigada

A classificação das terras para irrigação é um aspecto fundamental, pois permite caracterizar e conhecê-las adequadamente, delimitando as áreas de classes aptas para irrigação e eliminando as áreas inaptas nas condições econômicas prevalecentes. Aqui, o termo "terra" tem significado mais abrangente do que solo, incluindo os vários atributos do meio físico.

Essa caracterização possibilita delimitar as áreas irrigáveis, identificando a viabilidade técnica da implantação de sistemas agrícolas irrigados, o que exige uma criteriosa análise e avaliação de suas características físicas e químicas, incluindo também aspectos topográficos e de drenagem. Além disso, os resultados da classificação podem ser utilizados em estudos econômicos e na análise dos benefícios do projeto, com a finalidade de se determinar a justificativa econômica para sua implantação (Urchei, 1997).

Nesse sentido, iremos relacionar os principais fatores do solo a serem considerados numa avaliação das terras para fins de irrigação, baseados em Carter (1993).

6.2.1. Profundidade efetiva do solo

Para a aptidão das terras para irrigação, a espessura do material de solo adequado sobre o material com algum tipo de barreira física ou química, tem significativa importância.

O volume de solo disponível para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas, bem como a facilidade com que a água do solo pode ser extraída pelas plantas, têm implicações diretas na produtividade e qualidade das culturas, escolha e eficiência do método de irrigação e definição dos custos de produção.

Em geral, a profundidade de 0,90 a 1,50m, para solos de textura média a argilosa, é considerada adequada para sistemas agrícolas irrigados.

6.2.2. Mineralogia

Os minerais presentes nas diferentes frações do solo são indicativos do material de origem e do seu grau de intemperismo.

Embora a mineralogia das frações areia e silte não seja muito relevante na determinação da aptidão dos solos para irrigação, a organização e o tipo da mineralogia da fração argila tem grande importância.

Geralmente, solos com quantidades elevadas de argila 1:1, juntamente com óxidos de ferro e alumínio, como os latossolos, apresentam características físicas mais favoráveis, sendo mais aptos para irrigação quando comparados a solos com proporções elevadas de minerais de argila tipo 2:1, apesar dos primeiros apresentarem menor capacidade de troca catiônica e menor capacidade de água disponível.

6.2.3. Estrutura

Está relacionado com a natureza, arranjo e agregação das partículas primárias do solo em unidades compostas ou agrupamento de partículas primárias. Com isso, a porosidade, grau de aeração e a condutividade hidráulica do solo correlacionam-se positivamente com estruturas fortes e estáveis, principalmente em solos de textura média a argilosa.

Esses fatores são de grande importância em sistemas agrícolas irrigados, pois interferem diretamente na taxa de infiltração de água.

O desenvolvimento do sistema radicular depende muito da aeração adequada na região da rizosfera em quase todas as culturas, exceto para o arroz. Para isso, medidas da densidade do solo e porosidade são bons indicadores da sua estrutura e aeração.

Vale ressaltar que a estrutura do solo, na camada superficial, é grandemente influenciada pelo manejo do sistema agrícola, em períodos relativamente curtos de tempo.

6.2.4. Textura

O termo textura do solo refere-se às proporções relativas das frações

granulométricas do solo como areia, silte e argila.

A textura do solo é um atributo de significativa importância, quando se fala em aptidão das terras para irrigação, pois tem grande influência na retenção e disponibilidade de água e nutrientes às plantas, na taxa de infiltração de água, na condutividade hidráulica na zona e abaixo das raízes, na condução das práticas culturais e de manejo, na escolha do método de irrigação e na susceptibilidade à erosão.

6.2.5. Matéria orgânica

O conteúdo de matéria orgânica tem forte influência na textura do solo e, conseqüentemente, na retenção de água, na capacidade de água disponível e na capacidade de troca catiônica (CTC).

A quantidade de matéria orgânica apresenta maior variação na camada superficial do solo, sendo mais influenciada pelas práticas de manejo, modificando-se com maior facilidade em sistemas agrícolas irrigados.

6.2.6. Condutividade hidráulica (permeabilidade)

A condutividade hidráulica do solo é um dos atributos físicos mais importantes para se determinar a necessidade e o dimensionamento da drenagem das terras.

A permeabilidade do solo ao ar e à água está diretamente relacionada à sua estrutura e textura, como também às práticas culturais e aos fatores químicos do solo e da água a ser aplicada.

Em condições satisfatórias, o solo deve ter capacidade para receber água suficiente para atender às necessidades das culturas, os requerimentos de lixiviação, além de possibilitar uma aeração que permita a penetração e o desenvolvimento das raízes (exceto para o arroz).

6.2.7. Taxa de infiltração de água

A taxa de infiltração é o volume de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo, a qual tende a

decrecer com o tempo, atingindo um valor final constante. A magnitude da taxa de infiltração básica é de grande importância para a escolha, o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

Em virtude da natureza do processo, das características da água, do método utilizado para sua determinação e do tipo e manejo do solo, a taxa de infiltração apresenta grande variabilidade.

A taxa de infiltração é um importante atributo na caracterização das terras para irrigação, pois deve permitir a suficiente entrada de água na zona do sistema radicular, de forma a suprir as necessidades das culturas, bem como as perdas por percolação, necessárias à obtenção do balanço de sais.

Taxas de infiltração muito baixas ou muito altas requerem sistemas mais especializados de distribuição da água de irrigação, do que solos que apresentam situações intermediárias.

A estimativa da taxa de infiltração deve ser realizada por testes de campo.

6.2.8. Disponibilidade de água

A capacidade do solo em reter água disponível às plantas é fundamental para caracterizar a aptidão das terras para irrigação. Essa capacidade determina a escolha da cultura, do método a ser utilizado, da frequência de irrigação e da lâmina a ser aplicada.

Esse atributo pode ser determinado por uma combinação de testes de campo e de laboratório.

A estimativa da retenção de água pelo solo deve ser realizada através de coleta de amostras indeformadas, na área a ser implantado o futuro projeto de irrigação.

6.2.9. Erodibilidade

A susceptibilidade dos solos à erosão, para fins de irrigação, deve estar relacionada com outros fatores como textura, declividade, sistema de

cultivo, método de irrigação, clima e outros.

Assim, solo com alto potencial erosivo pode caracterizar uma situação de inaptidão para irrigação. Contudo, cada situação deve ser considerada levando-se em conta as variáveis e os fatores locais.

6.2.10. Concentração de íons hidrogênio (pH)

O pH, que é o logaritmo do inverso da concentração do íon hidrogênio, é uma estimativa da acidez ou alcalinidade do solo, sendo um importante indicador químico da potencialidade das terras para irrigação.

Ele permite indicar os teores de alumínio e sódio trocáveis, tóxicos às plantas.

6.2.11. Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC do solo indica sua capacidade em reter cátions trocáveis através da superfície de suas partículas coloidais.

Essa permuta de cátions é a reação química que ocorre entre a solução do solo e o complexo de troca, de significativa importância nas propriedades físicas e químicas dos solos.

Os valores da CTC estão relacionados com o teor de argila, podendo, em certo grau, ser modificado pelo manejo do solo.

No estudo de aptidão das terras para irrigação deve ser considerado a CTC do solo nas condições de operação do projeto e não nas condições originais.

6.2.12. Salinidade e sodicidade

Problemas ligados à salinidade e à sodicidade ocorrem, geralmente, nas regiões áridas. Isso porque, nessas condições a quantidade de sais acrescentados pela água de irrigação ou decorrentes do próprio material de origem, precisam ser constantemente removidos do perfil do solo, para não inviabilizar o crescimento e o desenvolvimento das culturas.

No entanto, nas condições climáticas e de solo do Estado de Mato Grosso do Sul, esses problemas têm baixa probabilidade de ocorrência.

6.2.13. Substâncias tóxicas

A toxicidade pode ocorrer quando certas substâncias (íons) do solo ou da água são absorvidas pelas plantas e acumuladas em seus tecidos, em concentrações suficientes para causar redução em sua produtividade.

Os íons de maior importância são o cloreto, o sódio e o boro.

O problema de toxicidade geralmente intensifica os problemas relacionados à salinidade e à infiltração de água.

6.3. Descrição dos Principais Solos de Mato Grosso do Sul e seu Potencial para a Agricultura Irrigada

Em Mato Grosso do Sul encontram-se identificadas e caracterizadas vinte e cinco classes de solos, nas mais diferentes condições de fertilidade natural, relevo, drenagem, erosão, vegetação, ocupação e uso.

Dos 350.548 km² da área total do Estado de Mato Grosso do Sul, as diferentes classes de solos cobrem uma superfície de 347.888 km², ou seja, 99,24% da área total, ficando 2.660 km² (0,76%) cobertos pela água superficial (Mato Grosso do Sul, 1990).

A Tabela 1 apresenta a distribuição quantitativa das diferentes classes de solos de Mato Grosso do Sul.

Conforme verifica-se na Tabela 1, os solos de maior ocorrência no Estado são os latossolos, localizando-se na bacia do rio Paraná. Em primeiro lugar, encontramos o Latossolo Vermelho-Escuro, com 81.810 km², representando 23,34% da área do Estado. Essa classe geralmente possui textura média e caráter álico, ocorrendo desde o extremo nordeste até o sul de Mato Grosso do Sul.

Tabela 1. Distribuição quantitativa das classes de solos e da água superficial de Mato Grosso do Sul.

| Classe de solo | Área ocupada | |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------|
| | ----- km ² ----- | ----- % ----- |
| Latossolo Vermelho-Escuro | 81.810 | 23,34 |
| Areia Quartzosa | 57.880 | 16,51 |
| Latossolo Roxo | 37.757 | 10,77 |
| Podzol Hidromórfico | 28.750 | 8,20 |
| Planossolo | 27.130 | 7,74 |
| Podzólico Vermelho-Escuro | 17.250 | 4,92 |
| Solonetz Solodizado | 14.600 | 4,17 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | 13.350 | 3,81 |
| Glei Pouco Húmico | 12.030 | 3,43 |
| Solos Litólicos | 11.678 | 3,33 |
| Regossolo | 8.030 | 2,29 |
| Planossolo Solódico | 7.210 | 2,06 |
| Vertissolos | 5.610 | 1,60 |
| Associações Complexas | 5.403 | 1,54 |
| Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico | 4.360 | 1,24 |
| Rendzina | 2.670 | 0,76 |
| Plintossolo | 2.590 | 0,74 |
| Areias Quartzosas Hidromórficas | 2.540 | 0,73 |
| Plintossolo Solódico | 1.810 | 0,52 |
| Latossolo Vermelho-Amarelo | 1.610 | 0,46 |
| Vertissolo Solódico | 1.410 | 0,40 |
| Brunizém Avermelhado | 990 | 0,28 |
| Terra Roxa Estruturada | 770 | 0,22 |
| Glei Húmico Vértico | 400 | 0,11 |
| Solos Orgânicos | 200 | 0,06 |
| Solos Aluviais | 50 | 0,01 |
| Subtotal | 347.888 | 99,24 |
| Massa da água | 2.660 | 0,76 |
| Total | 350.548 | 100,00 |

Fonte: Mato Grosso do Sul, 1990.

O Latossolo Roxo, com 37.757 km² (10,77%), é a classe de maior importância para agricultura, onde se enquadram os solos de melhor aptidão agrícola. Apresentam textura argilosa e fertilidade variável, com ampla ocorrência na região centro-sul do Estado, consequência da decomposição do basalto da Formação Serra Geral.

Os latossolos possuem propriedades físicas semelhantes, sendo profundos, friáveis, relevo plano a suave ondulado, perfil bastante homogêneo, permeáveis, baixa capacidade de água disponível e alta taxa de infiltração de água.

A classe Latossolo Vermelho-Amarelo possui pouca expressão, representando apenas 0,46% da área do Estado.

Em segundo lugar, em termos de área, encontramos a classe Areia Quatzosa, com 57.880 km² (16,51%), ocorrendo principalmente na região centro-norte do Estado e margeando as Serras de Aquidauana, de Maracajú e do Pantanal. São solos extremamente arenosos, com baixa fertilidade natural, bem drenados e muito susceptíveis à erosão. Contudo, apesar da expressiva área que ocupam, são considerados aptos apenas para pastagem plantada e silvicultura, denominadas Terras Marginais quando se fala em aptidão agrícola das terras.

Em menor proporção, encontramos, ainda na bacia do rio Paraná, os solos Podzólicos, concentrando-se principalmente na região sul do Estado, na área dos municípios de Mundo Novo, Sete Quedas, Eldorado e Tacuru, e de forma menos expressiva margeando cursos d'água afluentes do rio Paraná.

Na região nordeste e às margens do rio Paraná, em faixa de largura variável, encontramos Solos Aluviais, Gleis Húmicos, Orgânicos, dentre outros, ladeando as Serras do Pantanal, Maracajú e Aquidauana, descendo no sentido norte-sudoeste até a divisa com o Paraguai (Mato Grosso do Sul, 1989b).

Na bacia do rio Paraguai temos a predominância de solos hidromórficos, na área da depressão do Pantanal, com ampla ocorrência de Podzol Hidromórfico, Planossolo e Glei Pouco Húmico. Na região do entorno à depressão há ocorrência de diferentes classes de solos, como o Solonetz Solodizado, o Regossolo e as Rendzinas.

Verifica-se, ainda, a ocorrência de Brunizém Avermelhado e Vertissolos. Esses solos possuem diferentes características, apresentando, geralmente, baixa fertilidade natural, textura arenosa, mal drenados e lençol freático próximo à superfície.

A seguir será feita uma breve descrição das principais classes de solos do Estado de Mato Grosso do Sul com maior potencial para a agricultura irrigada.

6.3.1. Latossolos

A) Latossolo Vermelho-Escuro

Solos minerais, não hidromórficos, altamente intemperizados, de cor avermelhada e caracterizados por possuírem horizonte B latossólico, com teor de ferro variando entre 8 e 18%, quando argilosos e muito argilosos, sendo inferiores a 8% quando de textura média. Em geral são solos profundos a muito profundos, bem acentuadamente drenados, friáveis e muito porosos, sendo encontrados nas áreas mais aplanadas.

Esses solos desenvolveram-se a partir de diferentes materiais de origem, como os sedimentos do Terciário-Quaternário e das Formações Aquidauana, Botucatu, Bauru, Ponta Grossa e Furnas, levando-os à ocorrência de texturas variáveis.

Pela sua posição na paisagem e pelas propriedades físicas, apesar das limitações quanto à fertilidade, apresenta-se favorável à utilização agrícola, geralmente os de textura mais argilosa.

B) Latossolo Roxo

Solos minerais, não hidromórficos, caracterizados por apresentarem horizonte B latossólico, com teores de óxido de ferro superiores a 18%.

São muito intemperizados, profundos a muito profundos, acentuadamente drenados, friáveis, muito porosos, permeáveis e com baixa susceptibilidade à erosão. Possuem pequena diferenciação entre horizontes, estrutura fraca muito pequena e pequena granular, com

aspecto maciço.

Possuem textura argilosa e muito argilosa, com teores de argila variando de 38 a 74%. Podem apresentar caráter álico, distrófico e eutrófico.

Apresentam boas propriedades físicas, sem impedimento ao sistema radicular, mecanizáveis, uma vez que se encontram em relevo plano e suave ondulado. Mesmo quando a fertilidade natural é mais baixa, a correção desses solos os tornam amplamente favoráveis à agricultura.

Esses solos são encontrados nos municípios de Dourados, Rio Brilhante, Maracajú, Ponta Porã, Aral Moreira e Sidrolândia.

6.3.1.1. Potencial dos Latossolos para agricultura irrigada

Em trabalho realizado por Urchei et al. (1997a), foram avaliados diferentes atributos físico-hídricos de um Latossolo Roxo e de um Latossolo Vermelho-Escuro, em dois sistemas de manejo (Grade Pesada e Plantio Direto). O Latossolo Roxo foi amostrado na área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, Dourados, MS, submetido, desde 1987, ao Sistema Plantio Direto, envolvendo a sucessão milho/aveia/soja e em área preparada com gradagem pesada + niveladora (Grade Pesada), cultivada com a sucessão trigo/soja. O Latossolo Vermelho-Escuro foi amostrado na área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, em Ponta Porã, MS, nos mesmos sistemas de preparo, ambos cultivados com a sucessão soja/aveia, durante os últimos sete anos. As amostras foram coletadas em 25 pontos equidistantes e georreferenciados, nas camadas de 0-0,15 e 0,15-0,30m, para determinação da granulometria, densidade do solo, densidade de partículas, macroporosidade, microporosidade e porosidade total e disponibilidade de água (Tabelas 2 a 5).

De acordo com a Tabela 2, o Latossolo Roxo apresentou textura argilosa apenas na camada 0-0,15m e no sistema Grade Pesada. Nas demais situações, a textura foi classificada como muito argilosa. Já o Latossolo Vermelho-Escuro estudado apresentou textura argilosa nos dois sistemas e nas duas profundidades.

Tabela 2. Valores médios (g kg⁻¹) de areia, silte e argila, nas camadas 0-0,15 e 0,15-0,30 m, de um Latossolo Roxo (LR) de Dourados (MS) e de um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Ponta Porã, MS, sob Grade Pesada e Plantio Direto.

| Solo | Camada (m) | Sistema de manejo | Areia | Silte (g kg ⁻¹) | Argila | Classe textural |
|------|---------------|----------------------|--------|--------------------------------|--------|-----------------|
| LR | 0-0,15 | Grade Pesada | 178 b* | 234 a | 588 b | Argiloso |
| | | Plantio Direto | 190 a | 200 b | 610 a | Muito argiloso |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada | 171 b | 219 a | 610 b | Muito argiloso |
| | | Plantio Direto | 182 a | 192 b | 626 a | Muito argiloso |
| LE | 0-0,15 | Grade Pesada | 354 b | 143 a | 503 b | Argiloso |
| | | Plantio Direto | 367 a | 109 b | 524 a | Argiloso |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada | 329 b | 118 a | 553 a | Argiloso |
| | | Plantio Direto | 356 a | 104 b | 540 b | Argiloso |

*Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey , 5%).
Fonte: Urchei et al. (1997).

Tabela 3. Valores médios de densidade do solo e de partículas (kg dm⁻³), nas camadas 0-0,15 e 0,15-0,30 m, de um Latossolo Roxo (LR) de Dourados, MS e de um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Ponta Porã, MS), sob Grade Pesada e Plantio Direto.

| Solo | Camada (m) | Sistema de manejo | Densidade do solo | Densidade de partículas |
|------|------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|
| LR | 0-0,15 | Grade Pesada Plantio Direto | 1,40 a * | 2,86 a |
| | | | 1,39 a | 2,87 a |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada Plantio Direto | 1,37 a | 2,92 a |
| | | | 1,34 a | 2,88 a |
| LE | 0-0,15 | Grade Pesada Plantio Direto | 1,33 b | 2,86 a |
| | | | 1,44 a | 2,85 a |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada Plantio Direto | 1,32 a | 2,89 a |
| | | | 1,34 a | 2,87 a |

*Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey, 5%).
Fonte: Urchei et al. (1997).

Tabela 4. Valores médios percentuais de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT), nas camadas 0-0,15 e 0,15-0,30 m, de um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Ponta Porã, MS, sob Grade Pesada e Plantio Direto.

| Solo | Camada (m) | Sistema de manejo | Macro | Micro | PT |
|------|------------|-------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | | | m ³ m ⁻³ | | |
| LE | 0-0,15 | Grade Pesada | 0,141 a* | 0,386 b | 0,527 a |
| | | Plantio Direto | 0,090 b | 0,414 a | 0,504 b |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada | 0,139 a | 0,392 a | 0,531 a |
| | | Plantio Direto | 0,141 a | 0,392 a | 0,533 a |

*Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey, 5%).
Fonte: Urchei et al. (1997).

Tabela 5. Umidade volumétrica () e água disponível (AD), nas camadas 0-0,15 e 0,15-0,30m, de um Latossolo Roxo (LR) de Dourados, MS e de um Latossolo Vermelho- Escuro (LE) de Ponta Porã, MS, sob Grade Pesada e Plantio Direto.

| Solo | Camada (m) | Sistemas de manejo | Tensão (MPa) | | | AD | |
|------|---------------|--------------------------------|--------------|-----------------|-----|----------|--------------------------|
| | | | 0,01 | 1,5 | 1,5 | 0,01-1,5 | unitária |
| | | | --- | % em volume --- | --- | mm ---- | --mm cm ⁻¹ -- |
| LR | 0-0,15 | Grade Pesada Plantio Direto | 39,70 | 33,39 | | 9,46 a * | 0,63 |
| | | | 39,35 | 32,69 | | 9,99 a | 0,67 |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada Plantio Direto | 39,64 | 33,70 | | 8,91 b | 0,59 |
| | | | 40,76 | 34,07 | | 10,04 a | 0,67 |
| LE | 0-0,15 | Grade Pesada Plantio Direto | 36,06 | 28,57 | | 11,24 a | 0,75 |
| | | | 40,04 | 33,12 | | 10,38 b | 0,69 |
| | 0,15-0,30 | Grade Pesada Plantio Direto | 37,50 | 31,47 | | 9,04 a | 0,60 |
| | | | 37,20 | 31,00 | | 9,30 a | 0,62 |

*Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey, 5%).
Fonte: Urchei et al. (1997).

A densidade do solo variou de 1,32 a 1,44 kg dm⁻³ nas duas classes de solos, nos dois sistemas de manejo e nas duas profundidades.

Verificou-se que o Sistema Plantio Direto elevou a densidade do solo na cama 0-0,15m no Latossolo Vermelho-Escuro (Tabela 3). Esses valores podem ser considerados elevados quando comparados a solos de cerrado não incorporados ao processo produtivo. Espinosa (1980) encontrou valores entre 0,9 e 1,1 kg dm⁻³ para áreas intactas, sugerindo que os diferentes sistemas de manejo tendem a elevar a densidade do solo.

A densidade de partículas apresentou valores entre 2,85 e 2,92 kg dm⁻³, o que, provavelmente, pode ser decorrente de baixos conteúdos de matéria orgânica.

A água disponível, nas duas classes de solos e nas diferentes profundidades e sistemas de manejo, variou de 8,91 a 11,24 mm. Esses valores são muito baixos, representando 0,59 a 0,75 mm por centímetro de solo, respectivamente, sobretudo se considerarmos que os solos são argilosos e muito argilosos (Tabela 5). Essa é uma das principais limitações dos latossolos, pois embora possuam elevadas porcentagens da fração argila, são argilas de baixa atividade, em geral caulinita, com óxidos de ferro e alumínio, além da estrutura formada por microagregados.

Essa característica dos latossolos sugere que os mesmos devam ter irrigações leves e freqüentes, com aplicações de pequenas lâminas, de forma a manter a umidade necessária ao pleno desenvolvimento das culturas e sem provocar lixiviação de nutrientes.

Outro atributo de solo importante para agricultura irrigada é a taxa de infiltração básica, pois reflete diretamente no dimensionamento e no manejo da irrigação.

Em trabalho desenvolvido num Latossolo Roxo álico epieutrófico muito argiloso, na área experimental da *Embrapa Agropecuária Oeste*, Dourados, MS, Urchei & Fietz (1999b) realizaram 25 testes de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de duplo cilindro, nos sistemas de manejo Plantio Direto (PD) e Preparo Convencional (PC). O resultado médio desses testes foi de 92,2 e 92,8 mm h⁻¹,

respectivamente, para os sistemas PC e PD, valores considerados muito altos. Na verdade, essa alta taxa de infiltração de água é a confirmação da baixa capacidade de retenção de água desse solo e de sua pequena disponibilidade hídrica, confirmando a necessidade de se dimensionar sistemas de irrigação com pequenos volumes e alta frequência. Nesse sentido, esses solos apresentam aptidão para irrigação pressurizada, como aspersão e localizada, e baixa aptidão para irrigação por superfície.

6.3.2. Podzólicos

A) Podzólico Vermelho-Escuro

Solos minerais, não hidromórficos, bem desenvolvidos, profundos e, em geral, bem drenados. Apresentam, normalmente, a sequência de horizontes A, B textural (Bt) e C, tendo o horizonte Bt coloração vermelho-amarelada e avermelhada, com presença de cerosidade e teores de óxido de ferro inferiores a 15% e superiores a 11%. O horizonte Bt é ainda de ocorrência comum e abundante, recobrendo os elementos de estrutura, que varia desde pequena a grande e moderada a forte, em blocos angulares e subangulares (Mato Grosso do Sul, 1989b). O horizonte A pode ser do tipo moderado ou chernozêmico e, em alguns casos, álico, caracterizado por um intenso processo de aluviação.

Esses solos desenvolveram-se a partir da decomposição de diferentes materiais de origem, o que lhe confere grande variação quanto à fertilidade, existindo desde álico até eutrófico, com argila de baixa atividade, textura predominantemente arenosa a média, encontrados em relevo variável, com erosão não aparente e ligeira.

Embora esses solos, uma vez corrigidas as deficiências de fertilidade, apresentam condições favoráveis para agricultura, possuem restrições quanto à mecanização, sobretudo em relevo mais acidentado.

B) Podzólico Vermelho-Escuro latossólico

Solos com características intermediárias para latossolos, apresentando pequena diferenciação entre os horizontes e estrutura fracamente desenvolvida. Contudo, verifica-se alta relação textural e a relação

silte/argila, bem como a atividade da fração argila, apresentam valores um pouco mais altos daqueles admitidos para os latossolos.

Esses solos desenvolveram-se a partir de rochas do Grupo Alto Paraguai, sob relevo plano e suave ondulado, erosão ligeira e em vegetação de Savana.

Localizam-se mais na região sudeste do Estado, formando estreita faixa entre o rio Piripucu e o Córrego Água Azul, até Bodoquena.

6.3.3. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio Dourados para fins de irrigação

Em decorrência do potencial das terras da bacia do rio Dourados para a agricultura, Urchei et al. (1998) avaliaram 20 locais georreferenciados dessa unidade fisiográfica, com diferentes sistemas de manejo e unidades taxonômicas de solos, visando caracterizá-la para fins de irrigação. Em cada um dos locais abriu-se uma trincheira de 1,0x0,8x0,6 m, de onde foram coletadas amostras indeformadas, nas camadas 0-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,45 e 0,45-0,60 m de profundidade, para determinação de: curva de retenção e disponibilidade de água, densidade, porosidade e granulometria; e deformadas, nas camadas de 0-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,45; 0,45-0,60; 0,60-0,90 e 0,90-1,20 m de profundidade, para determinação de: pH, macronutrientes e carbono orgânico.

Os resultados permitiram identificar, basicamente, cinco unidades taxonômicas de solos, a saber: Latossolo Roxo (LR), Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Podzólico Vermelho-Escuro (PE), Glei Pouco Húmico (HGP) e Areia Quartzosa (AQ). Os latossolos ocupam a ampla maioria da área da bacia do rio Dourados, ou seja, mais de 97% do total, ficando o LR com 73,42% e o LE com 24,01% (Tabela 6). As demais unidades taxonômicas (PE, HGP e AQ) perfazem apenas 2,57% da área dessa unidade fisiográfica. Com relação à aptidão para irrigação, foram consideradas cinco classes: Alta (sem restrições); Média (poucas restrições); Regular (muitas restrições); Baixa (marginal, exceto em situações especiais); e Inapta (não recomendável). De maneira geral, os latossolos apresentaram mais de 2 m de profundidade, boa drenagem interna, alta taxa de infiltração de água e

relevo local plano a suavemente ondulado, evidenciando boa capacidade de retenção de água - sobretudo nas tensões mais elevadas- e baixa disponibilidade hídrica, sendo sempre menor de 32 mm num perfil de 0,60 m de profundidade. Isso ocorreu mesmo nos LR com textura argilosa, comportamento típico da maioria dos solos de cerrado, conforme discutido anteriormente. Esse problema muitas vezes é agravado pelo impedimento químico ao crescimento do sistema radicular das culturas, decorrente de teores elevados de saturação de alumínio em todo o perfil. Tais características exigem, para esses solos, irrigações leves e freqüentes, ou seja, pequenas lâminas de água repostas a curtos intervalos de tempo, sugerindo que os mesmos têm alta aptidão à irrigação por aspersão e gotejamento e baixa aptidão para irrigação por superfície (Tabela 6). É fundamental salientar que se a quantificação desses atributos não for bem feita, prejudicará o planejamento e o manejo da irrigação, podendo levar a problemas de lixiviação de nutrientes, perdas por erosão hídrica, além do aumento de custos com energia, diminuindo a eficiência e a viabilidade técnica, econômica e ambiental do sistema.

O PE apresentou aptidão para irrigação semelhante ao LE, uma vez que essas unidades encontram-se, em geral, fisiograficamente associadas. Apenas foi considerado como tendo média aptidão para irrigação por aspersão, por apresentar declividades mais acentuadas e horizonte A muito arenoso (Tabela 6). As classes AQ e HGP não foram amostradas, dentre outros motivos, por representarem juntas uma área de apenas 0,4% da bacia hidrográfica. Especificamente sobre a classe AQ, mesmo não sendo amostrada, como a classificação da aptidão agrícola das terras a considera não aconselhável à prática da agricultura, a não ser em situações especiais, pode ser enquadrada como inapta para irrigação. É importante ressaltar que para a implantação de projetos de irrigação em áreas específicas, é necessário caracterizá-las mais detalhadamente, além de se levar em consideração os demais fatores envolvidos no sistema agrícola irrigado.

Tabela 6. Classe de solo, aptidão para irrigação e área de ocorrência na bacia hidrográfica do rio Dourados, MS. *Embrapa Agropecuária Oeste*, 1998.

| Classe de solo | Aptidão para irrigação | | | Área | |
|----------------|------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| | Aspersão | Localizada | Superfície | ha | % Relativa |
| LR | Alta | Alta | Baixa | 793.545 | 73,42 |
| LE | Alta | Alta | Baixa | 259.514 | 24,01 |
| PE | Média | Alta | Baixa | 23.094 | 2,14 |
| HGP | - | - | - | 3.282 | 0,30 |
| AQ | Inapta | Inapta | Inapta | 1.373 | 0,13 |
| Total | - | - | - | 1.080.808 | 100,00 |

Fonte: Urchei et al. (1998).

6.4. Referências Bibliográficas

CAMARGO, M. N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.11-23,1987.

CARTER, V. H. Classificação de terras para irrigação. Brasília: Secretaria de Irrigação, 1993. 208p. (Manual de Irrigação, 2).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 67p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos,11).

ESPINOZA, W. Manejo da cultura visando a um melhor aproveitamento da água nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., 1989, Brasília. Cerrado: uso e manejo. Brasília: Editerra, 19 . p.675-729.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FOLEGATTI, M. V. Variabilidade da disponibilidade hídrica de um latossolo muito argiloso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., Pelotas, 1999. A engenharia agrícola: tendências e inovações. [Pelotas]: UFPel/SBEA, [1999]. CD ROM.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Agrário. Caracterização dos recursos naturais e perfil da agropecuária do estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 1992. 210p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multirreferencial. Campo Grande, 1990. 28p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto de Apoio ao Planejamento do Estado. Macrozoneamento geoambiental do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 1989a. 242p.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto de Apoio ao Planejamento do Estado. Recursos naturais solos. [Campo Grande], 1989b. 38p. Projeto Estudos Integrados do Potencial de Recursos Naturais do Estado de Mato Grosso do Sul.

OLIVEIRA, H.; URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Aspectos físicos e socioeconômicos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 52p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 25).

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Brasília: SUPLAN/EMBRAPA-SNLCS, 1978. 70p.

SOUZA JÚNIOR, J. J. de; TARAPANOFF, I. Evidências preliminares sobre um pavimento rudáceo na região sul do estado de Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. Resumos e breves comunicações... Goiânia: SBG, 1986. P.61. (Boletim, 1).

URCHEI, M. A.; HERNANI, L. C.; LAZZAROTTO, C.; FIETZ, C. R. Caracterização física de latossolos de Mato Grosso do Sul para fins de irrigação, em dois sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Informação de solos na globalização do conhecimento sobre o uso das terras: anais. Rio de Janeiro: SBCS/EMBRAPA-CNPS/EMBRAPA-CNPAB, [1997]. CD ROM.

URCHEI, M. A.; HERNANI, L. C.; LAZZAROTTO, C.; FIETZ, C. R. Atributos físicos de latossolos em dois sistemas de manejo, visando a irrigação em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1997. 5p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Pesquisa em Andamento, 3).

URCHEI, M.A. A importância da classificação das terras para fins de irrigação. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1997. 2p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Informa, 4).

URCHEI, M. A.; OLIVEIRA, H. de; HERNANI, L. C.; FIETZ, C. R. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio Dourados para fins de irrigação (1ª aproximação). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. Agricultura e sustentabilidade no semi-árido: resumos expandidos. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/SBCS, [1998]. p.300-301.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Variabilidade de alguns atributos físicos de um latossolo roxo muito argiloso em três sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. Ciência do solo e qualidade de vida: anais... Brasília: SBCS/Embrapa Cerrados, 1999. CD ROM.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Variabilidade da taxa de infiltração básica de um latossolo roxo muito argiloso, em dois sistemas de manejo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14.; CONGRESO DE LA SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE, 50.; CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SUELO, 9., 1999, Pucon, Chile. CLACS 99: suelo- ambiente- vida: resumenes. Pucon: Universidade de la Frontera, 1999. p.658.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C.R. Estimativa da taxa de infiltração básica de um latossolo roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. A engenharia agrícola: tendências e inovações. [Pelotas]: UFPel/SBEA, [1999]. CD ROM.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Variabilidade da água disponível de um LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférrico típico em três sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus. 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus: CEPLAC-CEPEC, 2000. CD ROM.

URCHEI, M. A.; FIETZ, C. R. Subsídios ao manejo da irrigação da cultura da videira no cerrado: o caso de Primavera do Leste, MT. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2000. 56p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 12).

7. Manejo da Irrigação em Culturas de Grãos nos Cerrados

*Juscelino Antônio de Azevedo
Euzebio Medrado da Silva*

7.1. Introdução

A expansão crescente da área irrigada por aspersão nos últimos dez anos, na região dos cerrados, atesta o reconhecimento de muitos produtores sobre a importância dessa prática como forma de elevação da produtividade, bem como das possibilidades que oferece de garantia, estabilidade e diversificação da produção. Não depender do caráter aleatório de chuvas, colocar produtos comerciais em épocas de melhores preços no mercado e diminuir significativamente as probabilidades de perda de rendimento por efeito de deficiência hídrica, constituem vantagens adicionais da produção em regime irrigado.

Entretanto, a prática de irrigação nos cerrados e particularmente o manejo de água de irrigação na parcela irrigada vem sendo, em geral, aplicados sem critérios e, quando muito, usando-se da capacidade visual para inferir as necessidades de água pela planta em seus diferentes estádios de crescimento, levando a aplicações excessivas ou a deficiência.

É de reconhecimento de técnicos e irrigantes a necessidade de adotar um critério para administrar a irrigação em bases racionais de forma a aplicar a água no momento certo e na quantidade apropriada. As consequências benéficas previsíveis são: a maior produtividade e qualidade do produto, uso mais racional da água, da energia e outros fatores de produção como fertilizantes e maior rentabilidade para o agricultor.

Assim, o propósito deste trabalho é relatar, de forma sumária, os procedimentos para o manejo da irrigação e alguns resultados de pesquisa e do uso da metodologia de manejo da irrigação em lavouras na região de Cerrados, utilizando-se de tensiômetros e dados da retenção de água do solo.

7.2. Critérios de Manejo da Irrigação

A programação das irrigações consiste em suprir integralmente as necessidades de água nas diferentes fases de desenvolvimento da planta. Existem vários métodos para programar irrigações. Segundo James (1988), podem ser baseados em condições da planta, do solo e da atmosfera. Teoricamente o melhor critério seria aquele que consideraria o maior número de fatores do sistema solo-água-planta-atmosfera.

O acompanhamento das condições de umidade do solo na profundidade de raízes é uma das formas de se verificar a efetividade das irrigações. Dentre as possíveis medidas indicativas dessas condições, a tensão de água no solo é a mais indicada pelas possibilidades de extrapolação de dados que oferece, pela estreita relação demonstrada aos índices de produtividade e, por existir atualmente, instrumental disponível no comércio que permite o registro da tensão de água no solo para o controle de irrigações. Para as condições do Cerrado, a existência de várias pesquisas em irrigação usando tensiômetros (Espinosa et al., 1980a; Azevedo, 1988; Guerra et al., 1992; Figueredo et al., 1994; Guerra, 1995; Azevedo & Miranda, 1996) e, o fato de a medida da tensão até 70 kPa, próximo ao limite de medida do tensiômetro, englobar cerca de 65% da água disponível em latossolos (Azevedo et al. 1983b), torna esse critério recomendado para o controle do momento e da quantidade de água a aplicar nas irrigações.

Com as medidas de tensão de água é possível saber se o solo está suficientemente seco para iniciar as irrigações e/ou avaliar a efetividade da incorporação da água no solo através das irrigações. Essas informações são obtidas mediante o uso do tensiômetro. Com os dados oriundos da curva de retenção de água do solo pode-se estabelecer

quando irrigar e a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação.

Embora o uso de tensiômetros e o uso da curva de retenção constem de manuais de irrigação e sejam divulgados em muitas publicações (Azevedo, et al. 1983a; Azevedo & Caixeta, 1986; Arruda, 1986; Saad & Libardi, 1992; Guerra et al., 1992; Silveira & Stone, 1994) constata-se que, por diversos motivos, essa prática não vem sendo aplicada por agricultores irrigantes. Um dos principais motivos é o desconhecimento da metodologia, bem como de trabalhos demonstrativos e treinamento para irrigantes e técnicos, em maior escala, nas áreas de concentração de irrigação.

7.3. Seqüência de Procedimentos para o Manejo

Os procedimentos referem-se a operações de campo e de laboratório relativos à caracterização físico-hídrica do solo, avaliação de desempenho do equipamento de irrigação e preparação, instalação, manutenção e interpretação de leituras de tensiômetros.

1) Deve-se em primeiro lugar obter quatro amostras de solo com estrutura natural de dois locais da lavoura, coletadas nas profundidades de 10 e 22 cm. Encaminha-se, em seguida, ao laboratório para determinação da curva de retenção de água nas tensões de 6; 10; 33; 50; 75; 100 e 1500 kPa.

2) No campo, avalia-se a uniformidade de distribuição de água do equipamento de irrigação por aspersão coletando-se a precipitação aplicada ao longo de uma lateral do pivô ou de um sistema convencional e determinando os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e de Distribuição (CUD), os quais não devem ser menor que 85% e 80%, respectivamente. Desde que bem dimensionado, pode-se, hoje, obter uniformidade acima de 90%. Se o pivô estiver desuniforme, deve-se redimensioná-lo para as condições locais e selecionar um conjunto de emissores (aspersores ou sprays) que se aproxime ao máximo das relações pressão e vazão, calculadas para cada ponto de emissão ao longo da lateral. Estando uniforme, elabora-se a Tabela 1 que fornece a lâmina de água aplicada em função da velocidade de deslocamento do pivô, a qual servirá de base para

regular a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação.

Tabela 1. Lâminas de água aplicada e tempo gasto por giro em função da regulação da velocidade de um pivô central de 90,3 ha no PAD/DF.

3) Estimando que o equipamento de irrigação seja 88% uniforme, deve-

| Regulagem da velocidade (%) | Lâmina aplicada (mm) | Tempo por giro | |
|-----------------------------|----------------------|----------------|------|
| | | Horas | Dias |
| 100 | 9,2 | 25,4 | 1,1 |
| 90 | 10,2 | 28,2 | 1,2 |
| 80 | 11,5 | 31,7 | 1,3 |
| 70 | 13,1 | 36,3 | 1,5 |
| 60 | 15,3 | 42,3 | 1,8 |
| 50 | 18,4 | 50,8 | 2,1 |
| 40 | 23,0 | 63,4 | 2,6 |
| 30 | 30,7 | 84,6 | 3,5 |
| 20 | 46,0 | 126,9 | 5,3 |

se adicionar os 12% de água para obter a lâmina bruta de irrigação e relacioná-la com as leituras de tensão, de forma a representar o armazenamento de água até 35 cm, perfil de maior concentração de raízes nas culturas de trigo, feijão e milho. As lâminas brutas de água de irrigação são calculadas para as camadas de solo de 0 a 15 e 15 a 35 cm de profundidade e referidas a variações de tensão na mesma unidade de leitura dos tensiômetros, originando a Tabela 2.

4) Devem ser adquiridos nove tensiômetros (preferência para os de vacuômetro), sendo três com as profundidades de 10, 20 e 30 cm para formar três baterias que serão instaladas nas posições próximas a 1/2; 2/3; e 9/10 do raio do pivô, em locais que necessariamente apliquem o valor médio de lâmina de água, informação esta obtida do teste de uniformidade do equipamento.

5) Ao receber os tensiômetros estes devem ser preenchidos com água

Tabela 2. Lâminas brutas de irrigação em função da tensão, necessárias para repor o armazenamento de água em camadas de um Latossolo-Vermelho Escuro argiloso do PAD/DF. (Uniformidade do pivô = 82%).

| Leitura do tensiômetro | | Tensão (bar) | Lâminas de irrigação (mm) | |
|------------------------|--------------|-----------------|---------------------------|----------|
| (mm de Hg) | (cm de água) | | 0-15 cm | 15-35 cm |
| 150 | 126 | 0,09 | 4,8 | 2,6 |
| 200 | 189 | 0,15 | 9,7 | 5,7 |
| 250 | 252 | 0,21 | 12,3 | 7,4 |
| 300 | 315 | 0,28 | 14,1 | 8,5 |
| 350 | 378 | 0,34 | 15,4 | 9,3 |
| 400 | 441 | 0,40 | 16,3 | 10,0 |
| 450 | 504 | 0,47 | 17,1 | 10,5 |
| 500 | 567 | 0,53 | 17,8 | 10,9 |
| 550 | 630 | 0,59 | 18,3 | 11,2 |
| 600 | 693 | 0,66 | 18,8 | 11,5 |
| 650 | 756 | 0,72 | 19,2 | 11,8 |

Exemplo de aplicação:
Manejo: Ex: Irrigar o feijoeiro quando a tensão média a 10 cm de profundidade alcançar 0,47 bar.

Leitura média dos tensiômetros colocados a 10 cm : 450 mm de Hg = > Lp 0-15 cm = 17,1 mm
Leitura média dos tensiômetros colocados a 20 cm: 250 mm de Hg = > Lp 15-25 cm = 7,4 mm
Leitura média dos tensiômetros colocados a 30 cm : 150 mm de Hg = > Lp 25-35 cm = 2,6 mm

Lâmina bruta de água a ser aplicada para repor o armazenamento na camada 0-35 cm = 27,1 mm
Regulagem do percentímetro do pivô para aplicar 27,1 mm = 35 % (Tabela 1).

e colocados para saturar por 36 a 48 horas, deixando-os com as cápsulas porosas imersas em água limpa e livres de ar.

6) Após este tempo, estando as cápsulas submersas em água, recomenda-se aplicar a bombinha de vácuo ou seringa até que bolhas de ar se elevem na coluna de água. Nessa condição, deve-se segurar o vácuo por uns 2 minutos para remover bolhas de ar dos poros da cápsula.

7) Em seguida, exponha os tensiômetros ao ar ambiente e verifique a elevação da coluna de mercúrio ou do ponteiro do medidor até leituras próximas a 50 kPa.

8) Nesse momento, dê algumas pancadas leves no corpo do tensiômetro para liberar bolhas de ar aderentes nas superfícies plásticas.

9) Após secar a ponta de cerâmica, deve-se imergi-la em água quando as leituras deverão cair entre zero a dez, em poucos minutos, pela entrada de água no tensiômetro.

10) Enxugue a ponta porosa com um pano e repita as operações dos itens: g, h e i. Uma leitura de 70 kPa será obtida possivelmente com uma elevação mais rápida do ponteiro ou da coluna de mercúrio. Repetir essa operação se uma leitura igual ou maior de 70 kPa não for obtida.

11) Em seguida deve-se envolver a superfície da cápsula com uma cobertura úmida (papel toalha ou papel higiênico) e um filme de plástico para evitar evaporação, até que os tensiômetros sejam levados ao campo.

12) No campo, os tensiômetros são instalados com o solo previamente umedecido e nas posições descritas no item “d”, em buracos do mesmo diâmetro, no interior da fileira da cultura, após a emergência completa, espaçados mais ou menos de 40 cm um do outro e tomando-se o cuidado de garantir perfeito contato entre o solo e a superfície da cápsula. Isto pode ser conseguido formando lama de solo da maior profundidade e colocando no fundo do buraco. O tensiômetro deve ser introduzido justo e sem forçar a cápsula. No arremate, deve-

se fazer uma amontoa de solo na superfície, junto ao corpo do tensiômetro para evitar o escoamento direto de água de chuvas ou irrigações sobre o tubo do tensiômetro até a cápsula porosa.

13) Um pluviômetro de leitura direta deve ser instalado próximo a cada bateria de tensiômetros, visando a conferir as lâminas de cada irrigação e registrar a ocorrência de chuvas.

14) Um dia após a instalação, as leituras dos tensiômetros deverão ser tomadas diariamente, de preferência pela manhã e o momento da irrigação será estabelecido quando a média dos tensiômetros colocados a 10 cm alcançam valores próximos aos indicados na Tabela 3.

15) Para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada, considera-se a média, naquele momento, das leituras dos tensiômetros a 10, 20 e 30 cm e, usando a Tabela 1, obtém-se diretamente as lâminas brutas parciais para as camadas de 0 a 15 cm (tensiômetro de 10 cm), de 15 a 25 cm (tensiômetro de 20 cm) e de 25 a 35 cm (tensiômetro de 30 cm). A soma dessas lâminas fornecerá a quantidade bruta de água a ser aplicada, visando a recuperar o armazenamento de água do solo até 35 cm.

16) Com o valor da lâmina de água por irrigação o equipamento é regulado para a velocidade de deslocamento (pivô central) ou tempo de aplicação (aspersão convencional) que fornece uma lâmina de água mais próxima da calculada, usando a Tabela 1.

7.4. Resultados de Experimentos e de Lavouras com Irrigação

Tabela 3. Tensão de água no solo indicada para início das irrigações do trigo, feijão e milho em latossolo, na área nuclear de cerrado.

| Cultura | Tensão de início da irrigação (bar) | Profundidade do tensiômetro raso (cm) | Observações | Referência |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------|
| Trigo | 0,60 | 10 | Rendimento satisfatório = 5 t ha ⁻¹ | Guerra et al. (1992) |
| | 0,40 | 10 | Rendimento máximo > 6 t ha ⁻¹ | Guerra (1995) |
| Feijão | 0,30-0,40 | 15 | Tensiômetros entre as fileiras do | Silveira & Stone (1994) |
| | 0,60 | 15 | feijão. | Azevedo & Caixeta (1986) |
| | 0,7-1,0 | 10 | | Figueredo et al. (1994) |
| Milho | 0,40 | 10 | Rendimento acima de 10 t ha ⁻¹ | Guerra (1997) |

Observação: 1 bar = 100 kPa.

Referem-se principalmente às culturas de feijão, trigo e milho que ocupam maiores áreas irrigadas na área nuclear de cerrados.

7.4.1. Trigo

Para a cultura de trigo, Espinoza et al. (1980a) verificaram, para diversas variedades, que os tratamentos com tensão mais baixa, controladas a 15 cm de profundidade, desde 35 kPa, portanto com maior umidade do solo, produziram mais em comparação com os tratamentos mais secos. O uso de água pela cultura, de 3,1 a 5,8 mm dia⁻¹, também foi influenciado pelos tratamentos, dando o máximo de 385 mm no ciclo para rendimento de 4.100 kg ha⁻¹.

Guerra et al. (1992) constataram que, em relação aos tratamentos de maior umidade do solo, a produtividade do trigo foi diminuída significativamente quando a tensão de água no solo a 10 cm de profundidade ultrapassou o valor de 67 kPa. Este tratamento produziu tanto quanto aqueles mais úmidos e necessitou de menor quantidade de água, pois com a tensão maior, espera-se um tempo também maior para reaplicar as irrigações. Assim estes autores recomendaram reiniciar as irrigações quando a tensão a 10 cm chegasse a 60 kPa, prevendo-se rendimentos em torno de 5 t ha⁻¹. Na expectativa de produtividades acima de 6 t ha⁻¹ deve-se reduzir o nível de esgotamento da água armazenada, irrigando no momento em que a média das leituras dos tensiômetros alcançar 40 kPa a 10 cm de profundidade, segundo Guerra (1995).

Azevedo (1988), testando níveis diferenciados de tensão em três fases de desenvolvimento do trigo sobre a produtividade e uso de água, verificou que os tratamentos que mais produziram tinham irrigações adequadas (60 kPa a 10 cm) na fase intermediária de desenvolvimento, desde o início de emborrachamento até o final do espigamento, dos 42 aos 65 dias após a emergência, revelando-se um período crítico em relação à água para essa cultura. A falta de água, nesta fase, reduziu o rendimento em até 50%, dependendo da intensidade da deficiência hídrica. A exigência de água pela cultura é elevada nesta fase, alcançando média de 7,6 mm dia⁻¹. Nos tratamentos bem irrigados o intervalo médio de irrigações no período de máxima extração de água

foi de três a cinco dias. Verificou ainda que, na ausência de chuvas podem ser necessários ao processo de evapotranspiração cerca de 500 a 600 mm de água para rendimentos entre 5.260 e 6.086 kg ha⁻¹, numa relação de aproximadamente 10 kg de grãos ha⁻¹ para cada milímetro de água usada. Esta eficiência está compatível com a eficiência de uso de água baseada na lâmina evapotranspirada para lavouras comerciais de trigo, podendo variar entre 0,8 a 1,0 kg m⁻³ (Dorenbos & Kassan, 1979).

Em lavoura no município de Cristalina, GO, de 118 ha, irrigada por pivô central, utilizando-se tensiômetros e curva de retenção de água na orientação do manejo da irrigação produziu-se 5.216 kg ha⁻¹ de trigo com apenas 451 mm de água aplicada, registrando-se uma eficiência de uso de água de 1,2 kg m⁻³, havendo evidências, a partir dos perfis de tensão a 30 cm, de que quase a totalidade de água recebida foi consumida pela cultura, incluindo alguma água capilar de fluxos ascendentes no volume de solo de 35 cm, considerado como reservatório (Azevedo et al. 1997b) pois, segundo Azevedo (1988) entre 75% a 80 % da água aplicada é extraída nos primeiros 30 cm de profundidade, sendo 40% a 45 % originada da camada mais superficial até 10 cm, em face da maior concentração de raízes na superfície.

As irrigações do trigo devem ser suspensas quando os grãos atingem a etapa de massa dura, pois a administração de água além desta fase não acarreta aumento de produção, conforme demonstrado por Guerra et al. (1994). A interrupção das irrigações antes dessa fase determina redução de produtividade e a redução do peso hectolitro.

7.4.2. Feijão

A cultura do feijão tem a preferência dos irrigantes da região dos Cerrados em razão de sua maior rentabilidade, ciclo mais curto de produção e tecnologia disponível em termos de variedades, práticas culturais, e outros segmentos do sistema produtivo.

Os níveis de produtividade alcançados são maiores no cultivo de inverno sob regime de irrigação por aspersão quando, bem conduzida, a lavoura pode render mais de 50 sacas por hectare. O feijão responde favoravelmente à correta administração de água, produzindo mais

quando a camada até 40 cm de solo é mantida em condições de umidade ótima.

Uma tensão de água no solo de aproximadamente 60 kPa a 15 cm de profundidade pode ser adequada durante todo o ciclo (Azevedo & Caixeta, 1986) para produtividade acima de 2000 kg ha⁻¹. Para rendimentos máximos, Silveira & Stone (1994) informam que essa condição pode ser conseguida, aplicando-se irrigações quando tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade, entre as fileiras das plantas, alcançarem leituras no intervalo de tensão entre 30 a 40 kPa, sendo este último valor a 10 cm, sugerido por Azevedo & Miranda (1996) para a irrigação do feijão explorado com maiores doses de adubação fosfatada.

Figueredo et al. (1994) constataram para a variedade Carioca que o rendimento do feijão só diminuiu significativamente quando a tensão a 10 cm ultrapassou cerca de 70 kPa em 1990 e 100 kPa quando se considerou a média de três anos. A extração de água dada pelas variações de umidade com a profundidade indicou que, no período crítico, praticamente toda a água retirada do solo saiu da camada até 40 cm, indicando a profundidade para controle das irrigações.

Em lavoura com a variedade Rio Negro, Azevedo et al. (1997a) obtiveram 3.445 kg ha⁻¹, aproximadamente 57 sacas ha⁻¹, com 336 mm de água aplicada através de 18 irrigações. A maior parte da água, 112 mm foi aplicada no período de início da floração ao desenvolvimento das vagens. O intervalo médio de irrigação foi de 9,2 dias na fase vegetativa e 5,8 dias no período seguinte. A lâmina média de irrigação em todo o ciclo da cultura foi de 21 mm. As tensões médias no momento das irrigações a 10 cm de profundidade foram de 64 kPa até os 48 dias após emergência (DAE), 48 kPa dos 48 aos 84 DAE e 62 kPa dos 84 aos 96 DAE. Considerando o perfil de solo até 35 cm, o valor da tensão média no momento das irrigações foi de 38 kPa. A partir dos 44 DAE as tensões médias a 30 cm variaram entre 40 e 60 kPa, indicando tendência ao secamento.

Na Coopertinga (Cooperativa dos Produtores da região do Piratinga, em Formoso, MG) conseguiu-se 3.972 kg ha⁻¹, cerca de 66 sacas de feijão Carioca por hectare e 3.359 kg ha⁻¹ do feijão FT- Rio Preto, em cada

metade de um pivô de 57 ha, controlando-se a irrigação com tensiômetros. A água recebida pelo feijão foi de apenas 282 mm distribuída em 29 irrigações, sendo que 41% foi aplicada na fase mais crítica da floração ao início de desenvolvimento das vagens. As tensões de água no solo, no momento das irrigações, como média até 35 cm foram de 51; 43; e 56 kPa, nas três fases características do desenvolvimento. Em alguns períodos a tensão a 10 cm ultrapassou o limite de medida do tensiômetro. A lâmina média em cada irrigação foi de 8,5 mm. Muitas das irrigações foram aplicadas inteiramente à noite em razão da pequena dimensão da área e como forma de diminuir as perdas de água por evaporação (Azevedo et al., 1997b).

Em solo arenoso e de textura média, respectivamente em Mimoso D'Oeste, BA e Unaí, MG foram implantadas duas lavouras de feijão Carioca sob pivô a diesel, com irrigação controlada por tensiômetros e curva de retenção. A lâmina total foi praticamente a mesma, de 392 mm, sendo que 49 a 51% foram aplicadas dos 31 aos 66 DAE, em lâminas médias de 13,5 mm. Neste período mais crítico, as tensões médias a 10 cm, no momento das irrigações, foram de aproximadamente 45 kPa. A produtividade foi mais baixa em Unaí (2.406 kg ha⁻¹) como consequência de lâmina baixa nos três últimos vãos do pivô. Na região de Barreiras, BA, em areia quartzosa, o rendimento foi de 3.171 kg ha⁻¹ sendo que os custos da irrigação representaram apenas 8,2% do custo total (Azevedo et al., 1997c; Azevedo et al., 1997d).

Saad & Libardi (1992) encontraram a tensão de 60 kPa a 15 cm, como adequada para aplicar as irrigações no feijoeiro irrigado por aspersão em Guaíra, SP.

A fase crítica com relação à água inicia na floração e vai até o desenvolvimento de vagens.

7.4.3. Milho

Em um trabalho realizado com milho Espinoza et al. (1980b) constataram que a irrigação suplementar permitiu duplicar os rendimentos das variedades testadas. Verificaram que em períodos de seca de até 41 dias as reduções de produtividade atingiram 1.239 a

2.554 kg ha⁻¹ para densidades de 20 a 80 mil plantas/ha da variedade Cargil 111-X.

Em um solo de textura média de Barreiras, BA, Oliveira et al. (1993) mostraram que o consumo de água do milho atingiu 8,02 mm dia⁻¹ na fase de formação da espiga e enchimento de grãos, sendo as irrigações processadas quando se esgotava 40 a 50 % da água disponível.

Guerra et al. (1997) recomendam irrigar a uma tensão próxima de 40 kPa a 10 cm e não usar menos de 180 kg N ha⁻¹ para obter rendimentos maiores que 10 t ha⁻¹.

7.5. Considerações Finais

A adoção de um método de controle de irrigação é fundamental para que se possa obter maiores rendimentos na agricultura irrigada. Usar a irrigação de forma eficiente contribui para a conservação da água. Aplicar irrigações de forma a armazenar água na zona ativa de raízes, usando informações em tempo real das condições do sistema solo-água-planta-atmosfera do local do projeto, minimiza ou evita a percolação profunda de água e atende às exigências hídricas nas diferentes fases de desenvolvimento da planta. O método do tensiômetro associado ao uso da curva de retenção, desde que bem orientado é, atualmente, uma das maneiras mais eficientes e baratas de se obter o uso racional de água e de energia sem perda de produtividade, em culturas de grãos irrigadas na região de Cerrado. Graças a um trabalho de divulgação, demonstração e treinamento sobre o método da tensiometria realizado nos últimos seis anos, junto a várias entidades, agricultores irrigantes da região têm-se beneficiado de suas vantagens e contribuído para uma melhor conservação da água no meio rural.

7.6. Referências Bibliográficas

ARRUDA, F. B. Uso da água na produção agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. Anais ... Campinas: IAC/ Fundação Cargill, 1987. p. 177-199. (Fundação Cargill, 127).

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A. F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília: EMBRAPA-DID, 1983a. 53p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).

AZEVEDO, J. A. de; FREIRE, J. C. ; SILVA, E. M. da. Características físico-hídricas importantes para a irrigação de solos representativos de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., 1981, Brasília. Anais... Brasília: Editerra, 1983b. p.843-844.

AZEVEDO, J. A. de; CAIXETA, T. J. Irrigação do feijoeiro. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986. 60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23).

AZEVEDO, J. A. Níveis de tensão de água no solo e suspensão da irrigação em três períodos de crescimento do trigo irrigado em solo de cerrado: efeito sobre a produtividade, componentes de produção, desenvolvimento e uso de água. 1988. 157p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

AZEVEDO, J. A. de; MIRANDA, L. N. de. Resposta do feijoeiro à níveis de adubação fosfatada e tensão de água no solo. II- manejo da irrigação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. Resumos expandidos... Manaus: SBCS, 1996. p.12-13.

AZEVEDO, J. A. de; DOLABELLA, R. H. C.; PEIXOTO, J. V. B.; SILVA, E. M. da. Manejo da irrigação usando-se tensiômetros e curva de retenção de água em feijão irrigado por aspersão. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991/1995. Planaltina, 1997a. p.102-104.

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, D. B. da; ANDRADE, J. M. V. de; ANDRADE, L. M. de. Aplicação da tensiometria no manejo de água de

irrigação em lavoura de trigo irrigado no Vale do Pamplona. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991/1995. Planaltina, 1997b. p.106-108.

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; BREDAS, C. E.; FIGUEREDO, S. F. Uso de tensiômetros e curva de retenção de água no manejo da irrigação do feijão em solo arenoso de Barreiras, BA. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991/1995. Planaltina, 1997c. p.112-114.

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; SILVA, J. A. P. da; FIGUEREDO, S. F. Manejo da irrigação usando tensiômetros em feijão sob pivô central em solo de textura média de Unai, MG. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991/1995. Planaltina, 1997d. p.114-116.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

ESPINOZA, W.; SILVA, E. M. da; SOUZA, O. C. de. Irrigação de trigo em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 15, n. 1, p. 107-115, 1980a.

ESPINOZA, W.; AZEVEDO, J. A. de; ROCHA, L. A. Densidade de plantio e irrigação suplementar na resposta de três variedades de milho ao déficit hídrico na região dos cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 15, n. 1, p. 85-95, 1980b.

FIGUEREDO, S. F.; PERES, J. R. R.; MIYAZAWA, K.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, J. A. de; ANDRADE, L. M. Estabelecimento do momento de irrigação em feijão, baseado em níveis de tensão de água em latossolo dos cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1987/1990. Planaltina, 1994. p159-161.

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de. Manejo de

irrigação do trigo com base na tensão de água em latossolos da região dos Cerrados. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Natal. Anais... Fortaleza: ABID, 1992. v. 1, p.493-510.

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de; ANTONINI, J. C. dos A. Determinação da época de suspensão das irrigações para a cultura de trigo. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1987/1990. Planaltina, 1994. p.187-189.

GUERRA, A. F. Manejo de irrigação do trigo para obtenção de máxima produtividade na região dos Cerrados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 4, p.515-521, 1995.

GUERRA, A. F.; ANTONINI, J. C. A.; SILVA, D. B. da; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para a cultura do milho. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1991/1995. Planaltina, 1997. p 97-98.

JAMES, L. G. Principles of farm irrigation system design. New York: John Wiley, 1988. 543p.

OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, J. J. S.; CAMPOS, T. G. S. Evapotranspiração e desenvolvimento radicular do milho irrigado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1407-1415, 1993.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante. São Paulo: IPT, 1992. 27p. (Comunicação Técnica).

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação de desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 27).

8. Irrigação de Hortaliças

Washington Luiz de C. e Silva
Waldir Aparecido Marouelli

8.1. Introdução

A produção de hortaliças no Brasil ocupa uma área aproximada de 700.000 hectares, gerando um total de 11 milhões de toneladas de alimentos e movimentando em torno de 2,5 bilhões de dólares anualmente. O setor emprega, de forma direta, cerca de 2,7 milhões de pessoas. São cultivadas comercialmente cerca de 50 espécies, envolvendo em torno de 500 cultivares e híbridos. Dentre estas espécies, alho, batata, batata-doce, cebola, cenoura, melancia, melão e tomate são as de maior importância econômica.

O consumo médio de hortaliças per capita no país é estimado em pouco mais de 50 kg ano⁻¹, o que é relativamente baixo quando comparado aos países europeus, Estados Unidos e Japão, onde o consumo atinge mais de 150 kg por comensal por ano. A região sudeste, especialmente os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, lidera a produção e o consumo de hortaliças no país, contribuindo com cerca de 50% do total e ainda exercendo o importante papel de reguladora do abastecimento de outras regiões. Em termos de valor da produção, as hortaliças ocupam lugar de destaque na agricultura nacional, sendo superadas somente por produtos como cana-de-açúcar, soja, milho e frutas.

As hortaliças, em geral, se caracterizam por um ciclo vegetativo curto e por um alto conteúdo de água em seus tecidos. A deficiência de água

é, normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produções elevadas e de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. Desse modo, o emprego da irrigação, total ou suplementar, é decisiva para o sucesso da produção de hortaliças.

8.2. Métodos e Sistemas de Irrigação

As hortaliças, de maneira geral, podem ser irrigadas por qualquer método ou sistema de irrigação. Os métodos de irrigação podem ser agrupados em: superficiais, subirrigação, aspersão e microirrigação.

A irrigação por superfície compreende os sistemas por sulcos, faixas, bacias em nível e inundação, nos quais a condução e distribuição de água é feita diretamente sobre a superfície do terreno.

Na subirrigação a água é aplicada sob a superfície do solo por meio da elevação e controle do lençol freático, o qual pode ser fixo ou variável.

A irrigação por aspersão é o método em que a água é aplicada na forma de chuva, com destaque para os sistemas convencionais portáteis, semiportáteis e permanentes, autopropelido, ramal rolante, deslocamento lateral e pivô central.

Microirrigação compreende sistemas como gotejamento e microaspersão, nos quais a água é aplicada ao solo, próximo à planta, em baixo volume, baixa intensidade e alta frequência. Na microirrigação, a água também pode ser aplicada abaixo da superfície do solo, junto às raízes da planta, por meio de tubos com gotejadores e de tubos e cápsulas porosas.

Cada método ou sistema de irrigação tem vantagens e desvantagens, as quais devem ser consideradas para cada caso particular, de modo a permitir a seleção do sistema mais adequado para atender as necessidades requeridas de cada hortaliça. A escolha do sistema de irrigação deve ser baseada na análise detalhada e cuidadosa de fatores tais como espécie cultivada, quantidade e qualidade da água disponível, tipo de solo, declive do terreno, mão-de-obra, clima e aspectos agronômicos e econômicos.

8.3. Manejo da Água de Irrigação

8.3.1. Aspectos gerais

O manejo adequado da irrigação visa minimizar o consumo de energia, maximizar a eficiência do uso da água e manter favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas, para maximizar a produção e garantir a qualidade dos produtos. Assim, é necessário o monitoramento diário da umidade do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o período de desenvolvimento da cultura para a determinação do momento oportuno da irrigação e da quantidade correta de água a ser aplicada. Para tanto, é indispensável o conhecimento das variáveis relacionadas às plantas, ao solo e ao clima.

A irrigação deve ser realizada quando a deficiência de água no solo for capaz de causar decréscimo acentuado nas atividades fisiológicas e, consequentemente, afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Na prática, este processo é simplificado de acordo com cada caso particular, podendo ser baseado em critérios relacionados ao *status* da água na planta ou no solo, às condições práticas limitantes ou, conjuntamente, em mais de um critério. A escolha do critério a ser seguido vai depender principalmente da disponibilidade de informações relacionadas ao sistema solo-água-planta-clima, equipamentos para medições, e também do grau de conhecimento do irrigante.

A quantidade de água que deve ser aplicada por irrigação é a necessária para elevar a umidade à capacidade de campo, na camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular. Pode ser determinada de duas maneiras: a primeira, baseada no solo, consiste em determinar a sua umidade momentos antes da irrigação; a segunda, consiste em determinar a água evapotranspirada pela cultura entre duas irrigações consecutivas. Em casos de solos com problemas de salinidade, o que ocorre principalmente em regiões áridas e semi-áridas, deve-se aplicar uma fração de água adicional para manter o balanço de sais no solo em nível aceitável.

Os métodos mais comumente empregados para o manejo da irrigação são os baseados no turno de rega calculado, no balanço e na tensão de

água no solo. O método do turno de rega calculado, apesar de pouco criterioso, é um dos mais utilizados. Os métodos do balanço e da tensão de água no solo são mais eficientes e racionais para o controle da irrigação, além de relativamente práticos.

A forma de distribuição de água ao usuário é o fator que primeiramente influencia a escolha do método para o manejo da água de irrigação. No caso de distribuição em rotação em dias fixos, o que é comum em empreendimentos coletivos, o método do balanço de água no solo, a partir de um turno de rega fixo, seria um dos mais indicados. Já na distribuição por demanda, onde a água está sempre disponível, ou em projetos isolados onde esta é bombeada pelo próprio usuário, as irrigações podem ser realizadas em regime de frequência variável, de acordo com as necessidades hídricas da cultura, e as irrigações controladas por meio do método do balanço ou da tensão de água no solo.

8.3.2. Manejo nas fases de pré-emergência e transplante

As irrigações de hortaliças nas fases de pré-emergência, desenvolvimento inicial e transplante devem ser frequentes e de baixa intensidade, procurando manter úmida a camada superficial do solo. Observações locais e recomendações de turno de rega são úteis para o manejo da irrigação nestes períodos.

Para a maioria das hortaliças, o plantio e o transplante devem ser realizados em solos previamente irrigados, seguidos de nova irrigação. A primeira irrigação, no entanto, deve ser suficiente para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo numa camada de solo entre 15 e 30 cm.

Hortaliças de sementes grandes, como ervilha e milho-doce, podem ser semeadas em solos secos sem maiores problemas. Por outro lado, hortaliças de sementes pequenas, em especial aquelas com baixo vigor vegetativo, como cenoura e beterraba, devem ser irrigadas com turno de rega de um a dois dias durante os primeiros 20 a 30 dias, principalmente em solos com tendência à formação de crostas na superfície. Irrigações diárias, ou até mesmo duas irrigações por dia, também devem ser realizadas por ocasião de transplantes.

Para hortaliças que se propagam através de ramas como morango e batata-doce, as irrigações devem ser realizadas a cada um a três dias, para regiões com alta demanda evaporativa e solos tendendo a arenoso, e de quatro a sete dias, para regiões de clima ameno e solos mais argilosos.

No caso da batata e do chuchu, que se propagam através de brotações, e hortaliças de sementes grandes e de alto vigor, as irrigações devem ser realizadas na frequência de três a quatro dias, a fim de evitar problemas de fungos de solo. Sob baixa demanda evaporativa e/ou solos com alta capacidade de retenção de água, turnos de rega acima de cinco dias poderão ser adotados.

8.3.3. Época de paralisação das irrigações

A suspensão das irrigações em época inadequada pode reduzir tanto a produtividade quanto a qualidade das hortaliças. Em geral, as hortaliças folhosas devem ser irrigadas até por ocasião da colheita, o que torna os produtos colhidos mais atrativos e com melhor conservação pós-colheita

No caso das leguminosas como lentilha, ervilha e grão-de-bico, as irrigações devem ser paralisadas quando cerca de 50% a 70% dos grãos se apresentarem completamente desenvolvidos. Em solos com alta capacidade de retenção de água e condições de baixa demanda evaporativa, as irrigações podem ser paralisadas logo no início da formação dos grãos.

Para hortaliças de frutos, raízes, tubérculos, caules e bulbos, a paralisação depende das características de cada espécie. No caso da cenoura, por exemplo, as irrigações devem ser realizadas até por ocasião da colheita, pois além de propiciarem raízes mais tenras, facilitam a colheita. Para a batata, cebola e alho, a suspensão das irrigações cinco a dez dias antes da colheita permite uma melhor conservação dos produtos. Em tomate industrial a máxima produção de sólidos solúveis pode ser obtida paralisando as irrigações em torno de 20 dias antes da colheita ou quando cerca de 50% das plantas apresentarem pelo menos um fruto maduro.

8.4. Irrigação versus Ocorrência de Doenças

A água e a temperatura são fatores fundamentais no desenvolvimento de doenças de plantas. Flutuações no potencial de água no solo afetam sobremaneira a atividade metabólica, o crescimento vegetativo e a reprodução de vários microrganismos de solo, inclusive os fitopatogênicos, resultando em maior ou menor intensidade, manutenção e propagação de uma doença. Além disso, o teor de água no solo afeta populações antagônicas de bactérias, fungos e actinomicetos, que exercem, em diferentes níveis, controle biológico natural.

Em geral, pode-se afirmar que populações bacterianas são dominantes em solos úmidos, e populações fúngicas dominam em solos secos. Assim, tem sido observado, por exemplo, um declínio acentuado de população bacteriana quando o potencial da água do solo se mantém abaixo de -100 kPa, enquanto os actinomicetos aumentaram com a redução da umidade até -330 kPa.

Os maiores problemas da água com relação às hortaliças advêm, entretanto, do seu excesso associado a altas temperaturas, situação freqüente na maioria das regiões do Brasil. Sob estas condições as doenças se propagam mais fácil e intensamente, limitando o cultivo de várias hortaliças, como as solanáceas e algumas raízes e tubérculos.

Alguns exemplos de doenças de solo associadas ao manejo inadequado da irrigação e da drenagem são: murcha-bacteriana da batata e do tomate, murcha-de-esclerócio e rizoctoniose do tomate, podridão-de-esclerotínia do tomate e da ervilha, murcha-de-fitóftora do pimentão e hérnia das crucíferas.

A irrigação inadequada, em especial quando realizada por aspersão, dificulta também o controle de doenças da parte aérea, seja através da lavagem dos produtos químicos aplicados seja pela manutenção de elevada condição de umidade entre as plantas.

8.5. Rotação de Culturas

O cultivo continuado de uma só espécie por longos períodos numa mesma área, acarreta uma série de problemas como predominância de determinadas plantas daninhas, deterioração das características físico-químicas do solo e, principalmente, infestação de doenças de solo. Um exemplo, é a alta ocorrência da podridão de esclerotínia ou "mofo branco", causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* em áreas de pivô central com cultivo continuado ou rotações inadequadas com hortaliças como tomate industrial, batata, ervilha e mesmo culturas como o feijão. O fungo *S. sclerotiorum* produz estruturas de resistência denominadas de escleródios, que permanecem infectivas no solo por muitos anos.

Para amenizar estes problemas é necessário estabelecer um sistema de rotação de culturas que seja técnica e economicamente eficiente. Isto, entretanto, não é tarefa muito fácil porque nem sempre as culturas de um sistema de rotação tem preços atraentes no mercado, o que leva o produtor a insistir na monocultura agravando ainda mais o problema para o futuro.

Estudos realizados pela *Embrapa Hortaliças* têm mostrado que a sucessão tomate-milho-trigo-milho-tomate (inverno-verão-inverno-verão-inverno), sob pivô central, se apresenta bastante promissora tanto no aspecto de produtividade quanto do controle de esclerotínia e de plantas daninhas. O cultivo continuado de tomate-milho (inverno-verão) por seis anos tem se mostrado razoável em termos de produção de tomate industrial, embora cerca de 60% das plantas já apresentem sintomas de podridão de esclerotínia. A sequência tomate-feijão deve ser evitada pois as duas espécies são hospedeiras do fungo causador da doença. O manejo adequado do solo e da água, não permitindo aplicações de água em excesso e/ou empoçamentos, contribui sobremaneira para retardar a infecção pelo fungo e também para manter a população do patógeno em níveis toleráveis.

9. Quimigação

*Durval Dourado Neto
José Antônio Frizzone
Anderson Soares Pereira*

9.1. Introdução

Quimigação é um termo geral referente à técnica de aplicação de produtos químicos em sistemas de irrigação. Sendo assim, há dois tipos: (i) Tipo 1: aplicação de produtos químicos via água de irrigação; e (ii) Tipo 2: aplicação de produtos químicos utilizando sistemas acoplados ao sistema de irrigação (não utilizam a água de irrigação no momento da aplicação do produto químico) (Tabela 1).

A quimigação tem por objetivos (i) minimizar o depauperamento físico do solo, (ii) economizar mão-de-obra, (iii) minimizar custo e (iv) risco de disseminação de fontes de inóculo (no caso da fungigação, por exemplo, existe a vantagem de minimizar a disseminação de esporos de patógenos).

Para a utilização adequada da técnica de quimigação é fundamental conhecer os princípios fundamentais do controle químico.

Tabela 1. Quimigação.

| Tipo | Calda (Pivô central) | Sistema | Alvo | Produto | Técnica |
|------|-------------------------------------|-----------|-------|--|--|
| 1 | 30.000 a 150.000 l.ha ⁻¹ | Irrigação | Solo | Fertilizante Herbicida (ppi e pré-E) Inseticida Fungicida Nematicidas | Fertigação ⁽²⁾ e Fertirrigação ⁽³⁾ Herbигаção Insetigação Fungigação Nematigação |
| 2 | 1.000 a 3.000 l.ha ⁻¹ | Acoplado | Folha | Fertilizante Herbicida (pós-E) Inseticida Fungicida Hormônio de crescimento Idem Tipo 1 | Fertigação (adubação) foliar Herbигаção foliar Insetigação foliar Fungigação foliar Quimigação foliar |

(1) Lâmina líquida de irrigação de 3 a 15 mm (com regulagem do temporizador de 100%).

(2) Objetivo: aplicar apenas fertilizante (época chuvosa).

(3) Objetivo: aplicar fertilizante e água (época seca).

9.2. Princípios Fundamentais do Controle Químico

No caso específico das técnicas de aplicação de inseticidas, fungicidas e herbicidas, principalmente, torna-se fundamental esclarecer que os três princípios fundamentais do controle químico (princípio da viabilidade econômica da intervenção, princípio da eficiência e princípio da viabilidade técnica da intervenção) (Tabela 2) devem ser verificados para que a intervenção seja recomendável.

Tabela 2. Princípios fundamentais do controle químico.

| Princípio | Descrição |
|-----------|--|
| 1 | O custo de toda e qualquer intervenção deve ser inferior à expectativa de perda de receita bruta (produto do preço de mercado pela diferença de rendimento obtenível com e sem a intervenção). Nesse sentido, toda intervenção é preventiva (princípio da viabilidade econômica da intervenção). |
| 2 | A eficiência do controle químico é diretamente proporcional à quantidade do princípio ativo que atinge o alvo e da ação nematocida, bactericida, inseticida, fungicida ou herbicida do produto químico (princípio da eficiência). |
| 3 | A quantidade de princípio ativo que atinge o alvo folha é inversamente proporcional à calda utilizada, e dependente da natureza hidrofóbica da superfície foliar e lipofílica do(s) produto(s) químico(s) utilizado(s), bem como da arquitetura foliar e da parte aérea da planta (princípio da viabilidade técnica da intervenção). |

Quando o objetivo é aplicar o produto químico na parte aérea das plantas, o sucesso da utilização da técnica de quimigação é dependente de alguns fatores, tais como: (i) calda (l.ha^{-1}) utilizada; (ii) regime de escoamento hidráulico; (iii) volume máximo armazenável de calda, o qual é dependente do índice de área foliar, arquitetura da planta e natureza (cerosidade, principalmente) das folhas; e (iv) propriedades do produto químico (solubilidade, e tensão superficial, principalmente).

Dentre os fatores citados, a calda utilizada em quimigação tende a ser elevada, fazendo com que a quantidade de princípio ativo que atinja o alvo folha seja inadequada.

Devido a esse fato, métodos alternativos de aplicação de produtos químicos foram desenvolvidos com o objetivo específico de adequação de calda.

O entendimento da interação entre o ambiente (elementos bióticos e abióticos) e a planta é de fundamental importância para melhor orientar ações de manejo no intuito de obtenção do rendimento agrícola almejado.

Para maior facilidade de manejo e estudo, bem como objetivando a possibilidade do estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos, fitopatológicos e fitotécnicos, com o desempenho da planta, o ciclo da cultura de feijão foi dividido em dez estádios (escala fenológica) distintos de desenvolvimento.

Os profissionais do setor agrícola, dentro do possível, deveriam procurar a informação em termos de princípios, e não apenas de números. Os princípios permitem nortear melhor as decisões em termos de planejamento e de manejo. Os números são importantes para dar noção apenas da ordem de grandeza dos atributos ou processos de interesse. Porém, a capacidade de resolver problemas novos está diretamente relacionada à boa formação do profissional consolidada numa boa formação teórica (discussão por princípios e não por números). Nessa direção, a técnica modelagem tem se tornado uma ferramenta útil, quando corretamente utilizada, pois permite equacionar e entender melhor a complexa interação entre a planta e as demais fases do sistema agrícola.

9.3. Aplicação de Produtos Químicos via Água de Irrigação

9.3.1. Equipamentos para injeção de solução fertilizante

Os equipamentos para injeção de solução fertilizante podem ser subdivididos em três grandes grupos: (i) sucção da bomba; (ii) bombas

injetoras (tipo pistão e centrífuga); e (iii) pressão diferencial.

Não se recomenda a injeção de produtos químicos na sucção da bomba do sistema de irrigação devido aos riscos de poluição ambiental e de diminuição da vida útil da bomba e da rede adutora, devido aos problemas de corrosão.

O sistema de injeção utilizando o princípio do *venturi* (pressão diferencial) é aplicável em sistemas de baixa vazão. No caso do sistema de irrigação do tipo pivô central (alta vazão), recomenda-se a injeção na tubulação adutora (centro da área onde o pivô está localizado) utilizando bombas injetoras.

A regulagem da bomba injetora é feita em função da informação do fabricante ou de uma calibração feita pelo usuário em condições reais de funcionamento no campo. Recomenda-se a segunda opção devido à normal variação de vazão devido a desuniformidade de fabricação dos equipamentos.

Na operação da bomba injetora de fertilizantes, deve-se fazer a limpeza do filtro de sucção, pois o acúmulo de sujeira afeta vazão de injeção. Uma opção é instalar um manômetro de mercúrio no intuito de indicar o momento da limpeza. Para tal, conferências periódicas tornam-se necessárias.

Em sistemas de irrigação do tipo pivô central, a aplicação, via água de irrigação, de fungicidas, inseticidas e herbicidas (pós-emergentes), que têm como alvo a parte aérea da planta, tende a ter uma eficiência relativamente baixa devido ao alto volume de água aplicada.

No caso dos fungicidas cujo alvo é o solo, bem como inseticidas para controle da lagarta do cartucho, sua aplicação tem apresentado resultados satisfatórios.

No caso do sistema de irrigação do tipo pivô central, faz-se a injeção da calda no centro do pivô no intuito de minimizar riscos de poluição de aquíferos e problemas de desgaste no rotor da bomba e na adutora.

Por outro lado, a distribuição do produto aplicado apresenta a mesma distribuição da água de irrigação devido ao regime turbulento de escoamento. Porém, cabe salientar que a homogeneização da calda,

antes da injeção, no sistema de irrigação do tipo pivô central e autopropelido é mais importante que em sistemas convencionais fixos de irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento.

Na cultura de feijão, na fertirrigação planejada recomenda-se a aplicação de nitrogênio e potássio. A aplicação de fósforo e alguns micronutrientes (zinco, boro e manganês) também pode se utilizada. Para tal, deve-se observar a época de aplicação visto que o alvo é o solo.

No caso dos micronutrientes, é importante ressaltar a necessidade de uma avaliação periódica do perfil de distribuição de água ao longo do sistema de irrigação do tipo pivô central.

Para o fósforo, recomenda-se a lavagem (Fig. 1) do sistema de irrigação após sua aplicação. Para tal, deve-se estimar o tempo de aplicação de água (T_L , min) apenas para lavagem no intuito de minimizar problemas de corrosão:

$$T_L = \frac{.d^2 L}{4.Q_{si}} \quad (1)$$

em que d e L referem-se ao diâmetro (m) e ao comprimento (m) da tubulação, respectivamente, e Q_{si} à vazão do sistema ($m^3 \text{ min}^{-1}$).

Pode-se utilizar a expressão (2) para determinar a profundidade de incorporação no solo dos fertilizantes via fertirrigação, especialmente os nitrogenados.

$$Z_F = \frac{.h}{10.(cc - a)} \quad (2)$$

Para o cálculo da concentração do elemento desejado na água de irrigação (C_w , %), deve-se conhecer a concentração do elemento na calda fertilizante (C_F , %), a vazão de injeção (Q_i , $m^3 \text{ min}^{-1}$), bem como a vazão do sistema (Q_{si} , $m^3 \text{ min}^{-1}$):

$$C_w = \frac{Q_i}{Q_{si}} C_F \quad (3)$$



Fig. 1. Detalhe da lavagem da tubulação de irrigação.

9.3.2. Herbificação, fungigação e insetigação

Os inseticidas (exceção: inseticidas para controle da lagarta do cartucho no caso da cultura de milho), herbicidas e fungicidas que têm a parte aérea da planta como alvo, devem ser aplicados através do sistema notliada.

No sistema notliada a aplicação de inseticidas, herbicidas e fungicidas é viabilizada com a adequação da calda que visa aplicar a quantidade de princípio ativo igual à utilizada por trator ou avião. O sistema consiste de um conjunto moto-bomba de baixa potência instalado na área a ser irrigada de forma a propiciar aplicação adequada do produto desejado.

Para viabilizar a aplicação dos herbicidas pré-emergente e pré-plantio incorporado, deve-se averiguar a umidade do solo na camada superficial.

Na herbificação deve-se levar em consideração a profundidade (Z_H , cm) que se deseja aplicar os herbicidas pré-plantio incorporado e pré-emergente observando a umidade atual do solo (a , $m^3 m^{-3}$), a umidade referente à "capacidade de campo" (cc , $m^3 m^{-3}$), a lâmina líquida de irrigação (h , mm), e o coeficiente de retardamento de fluxo de massa (0,95):

$$Z_H = \frac{.h}{10.(cc - a)} \quad (4)$$

em que h refere-se à lâmina líquida (mm) de irrigação.

A umidade atual pode ser determinada (através de tensiômetros ou de qualquer método gravimétrico) para indicar até que profundidade (Z_H , cm) foi aplicado o herbicida.

Por outro lado, para aplicação de produtos químicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas, bem como fertilizantes) via água de irrigação, deve-se tomar alguns cuidados no intuito de se evitar a variabilidade espacial devido à desuniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação e à variação temporal da concentração do produto químico aplicado durante a quimigação (Fig. 2).

Quando há problema no regulador de pressão ou de entupimento no bocal do emissor, a vazão tende a aumentar ou diminuir no emissor e a lâmina aplicada provoca uma coroa (caso A) de alta ou baixa lâmina com consequências práticas diversas (o excesso pode provocar problema de fitotoxidez e a menor lâmina pode provocar deficiente controle de doença - fica uma coroa de fonte de inóculo para reinfestar a área tratada, por exemplo) (Fig. 3).

É comum, ficar uma faixa na forma de "pizza" (caso B) sem aplicar produto no início do processo, devido ao tempo para acionar a bomba injetora e para atingir a concentração máxima do produto na água de irrigação (Fig. 3).

Por outro lado, a adição de adjuvantes químicos é necessário no intuito de maximizar a quantidade de princípio ativo no alvo devido à diminuição da tensão superficial do solvente como consequência do aumento da força de adesão entre o solvente e a superfície do alvo (como a folha, por exemplo).

A Tabela 3 ilustra, para um dado pivô, a relação funcional entre a lâmina de água que irriga pelo menos 50% (coluna usualmente utilizada na prática), 80% e 90% da área em função da regulação do temporizador. Têm-se ainda as informações do tempo de rotação e da velocidade média de caminhamento da última torre.

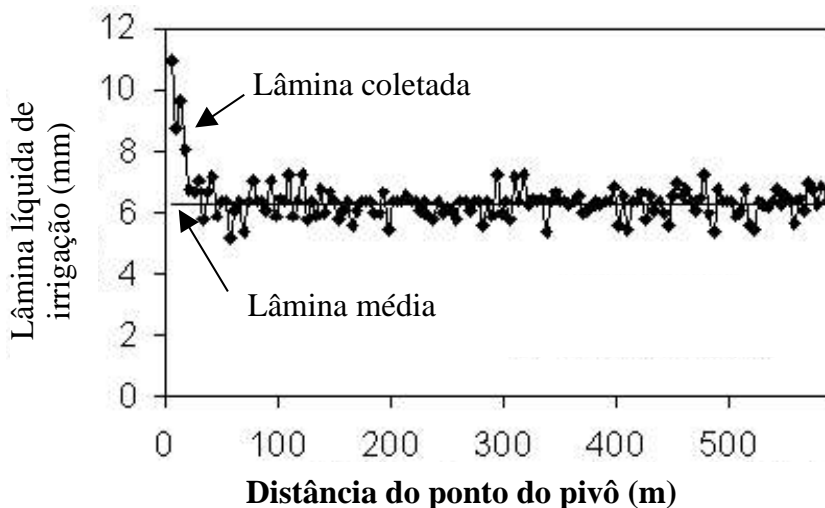


Fig. 2. Representação esquemática da distribuição de água (e do que se aplica via água de irrigação, tal como: inseticida, fungicida, herbicida e fertilizante) do centro ao raio irrigado do pivô ilustrando pontos problemáticos (entupimento baixa lâmina e problema no regulador de pressão alta lâmina).

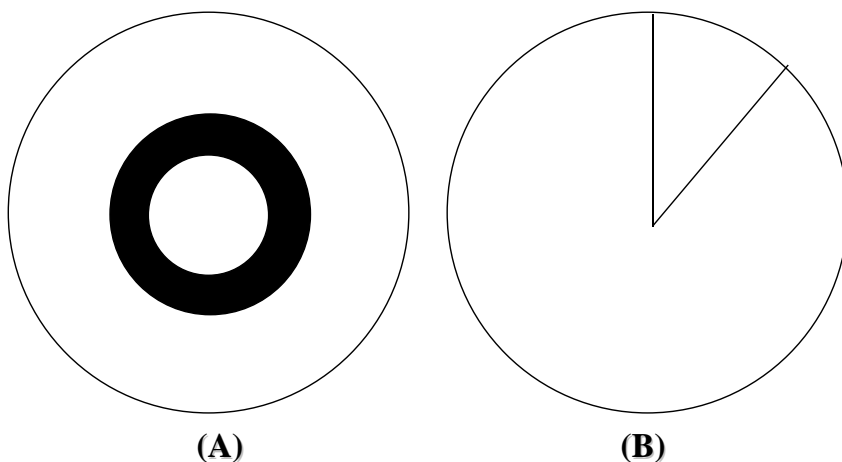


Fig. 3. Representação esquemática da variabilidade espacial devido (caso A) à desuniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação, e (caso B) à variação temporal da concentração do produto químico aplicado durante a quimigação.

Tabela 3. Exemplo de uma tabela prática de controle de irrigação de um pivô central.

| Regulagem do temporizador (%) | Velocidade (m/h) | Tempo de rotação (h) | Lâmina mínima (mm) | | |
|-------------------------------|------------------|----------------------|--------------------|------|------|
| | | | 50% | 80% | 90% |
| 100 | 131,0 | 18,6 | 5,5 | 4,8 | 4,2 |
| 90 | 125,4 | 19,4 | 6,1 | 5,4 | 4,6 |
| 80 | 111,2 | 21,8 | 6,9 | 6,0 | 5,2 |
| 70 | 99,6 | 24,4 | 7,9 | 6,9 | 6,0 |
| 60 | 88,0 | 27,6 | 9,2 | 8,0 | 6,9 |
| 50 | 71,0 | 34,2 | 11,0 | 9,6 | 8,3 |
| 40 | 64,3 | 37,8 | 13,8 | 13,0 | 10,4 |

9.3.3. Fertigação e fertirrigação

9.3.3.1. Terminologia

Os termos fertigação e fertirrigação são utilizáveis em função do objetivo do empresário rural (Tabela 4).

Tabela 4. Objetivo das técnicas fertigação e fertirrigação.

| Técnica | Objetivo |
|---------------|---|
| Fertigação | Técnica que tem por objetivo apenas a aplicação de fertilizante (s). |
| Fertirrigação | Técnica que tem por objetivo a aplicação de fertilizante (s) e água de irrigação. |

9.3.3.2. Características desejáveis dos fertilizantes

Para escolha dos fertilizantes (Tabela 5) a serem aplicados via água de irrigação, deve ser levado em consideração os seguintes aspectos: (i) solubilidade rápida e completa (Tabela 6); (ii) elevada pureza; (iii) alta concentração (Tabela 7); (iv) baixo poder corrosivo (Tabela 8); (v) compatibilidade de mistura (Tabela 9); (vi) preço (baixo custo); (vii) disponibilidade no mercado; (viii) facilidade de manuseio; (ix) facilidade de armazenagem; (x) baixa toxicidade; (xi) baixa volatilidade; (xii) informação de pesquisa disponível; e (xiii) índice de acidez (Tabela 10).

No intuito de se evitar a corrosão da tubulação de irrigação, deve-se proceder a lavagem do sistema logo após finalizada a quimigação. O dano corrosivo é variável em função do tipo de produto químico, tempo de exposição e tipo de material da tubulação. A Tabela 8 ilustra o dano corrosivo ocasionado por diferentes fertilizantes em diversos materiais, tais como ferro (Fe), alumínio (Al), cobre (Cu) e bromo (Br).

9.3.3.3. Equipamentos e procedimentos utilizados

Em fertirrigação os seguintes equipamentos e procedimentos são utilizados para injeção de solução fertilizante: (i) injeção na sucção da bomba (recomendado apenas quando não há risco de poluição de aquíferos); (ii) bombas injetoras (tipos pistão e centrífuga, principalmente); e (iii) uso de pressão diferencial (princípio do venturi em sistemas de baixa vazão), principalmente.

9.3.3.4. Recomendações gerais

A marcha de absorção do nutriente (Fig. 4) é importante para definir a época de aplicação, bem como a quantidade a ser aplicada em cobertura, a qual pode ser limitada pela vazão da bomba injetora de fertilizante e pelas condições climáticas. Cabe salientar que o hábito de crescimento da cultura também influi nas estratégias de aplicação de fertilizante.

A fertirrigação (ou fertigação) tem como alvo o solo. Portanto, deve-se aplicar os fertilizantes verificando a marcha de absorção dos diferentes nutrientes.

Tabela 5. Relação dos diferentes produtos utilizados na fertirrigação (ou fertigação).

| Produto | Fonte | Produto | Fonte |
|-------------------------------|---------|-------------------------------------|-------|
| Ácido fosfórico | N, P | Nitrato de amônio | N |
| Ácido nítrico | N | Nitrato de amônio + Carbonato de Ca | N, Ca |
| Bórax | B | Nitrato de amônio + Uréia (URAN) | N |
| Borato de sódio | B | Nitrato de cálcio | N, Ca |
| Cloreto de cálcio (Ca) | Ca, Cl | Nitrato de sódio | N |
| Cloreto de potássio (KCl) | K, Cl | Nitrato de potássio | N, K |
| Fosfato Diamônio (DAP) | N, P | Uréia | N |
| Fosfato Monoamônio (MAP) | N, P | Sulfato de amônio | N, S |
| Fosfato Monopotássico | P, K | Sulfato de magnésio | S, Mg |
| MAP + DAP | N, P | Sulfato de manganês | S, Mn |
| MAP + Nitrato de amônio + KCl | N, P, K | Sulfato de potássio | K, S |
| MAP + Uréia | N, P | Sulfato de zinco | S, Zn |
| Molibdato de sódio | Mo | Sulfato ferroso | S, Fe |

Tabela 6. Solubilidade dos diferentes produtos utilizáveis na fertirrigação (ou fertigação).

| Produto | Temperatura (° C) | Solubilidade (g l ⁻¹) |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Borato de sódio | 20 | 5 |
| Bórax | 20 | 50 |
| Cloreto de cálcio | 20 | 600 |
| Cloreto de potássio | 20 | 340 |
| Cloreto de potássio | 27 | 350 |
| Fosfato Diamônio (DAP) | 20 | 400 |
| Fosfato Monoamônio (MAP) | 20 | 220 |
| Fosfato Monopotássico | 20 | 230 |
| Molibdato de sódio | 20 | 56 |
| Nitrato de amônio | 20 | 1900 |
| Nitrato de cálcio | 20 | 1200 |
| Nitrato de potássio | 20 | 310 |
| Uréia | 20 | 750-100 |
| Uréia | 25 | 1190 |
| Sulfato de amônio | 20 | 730 |
| Sulfato de cobre | 20 | 22 |
| Sulfato de magnésio | 20 | 710 |
| Sulfato de manganês | 20 | 500 |
| Sulfato de potássio | 20 | 11 |
| Sulfato de zinco | 20 | 750 |
| Sulfato ferroso | 20 | 260 |

Tabela 7. Teor de nutrientes em alguns fertilizantes..

| Produto | Teor | Propriedade |
|---|---|-------------|
| Sulfato de potássio | 52% K ₂ O | Sólido |
| Cloreto de potássio | 60% K ₂ O | Sólido |
| Nitrato de potássio | 13% N, 46% K ₂ O | Sólido |
| MAP + nitrato de potássio + cloreto de potássio | 10%N,10% P ₂ O ₅ , 5%K ₂ O | Líquido |
| MAP + DAP | 8% N, 24% P ₂ O ₅ | Líquido |
| MAP + uréia | 12,5% N, 12,5% P ₂ O ₅ | Líquido |
| Nitrato de amônio | 18-21%N | Líquido |
| Nitrato de amônio | 34% N | Sólido |
| Nitrato de amônio + carbonato de cálcio | 21% N | Granulado |
| Nitrato de amônio (URAN) | 21-32% N | Líquido |
| Nitrato de potássio | 13% N, 46% K ₂ O | Líquido |
| Nitrato de potássio | 14% N, 46% K ₂ O | Sólido |
| Uréia | 45% N | Sólido |
| Sulfato de amônio | 19-21% N | Sólido |

Tabela 8. Dano corrosivo.

| Produto | Dano corrosivo |
|--|-----------------|
| Cloreto de potássio | Não observado |
| Fosfato monoamônio (MAP) + fosfato diamônio (DAP) | Fe, Al, Cu e Br |
| Fosfato monoamônio (MAP) + nitrato de amônio + cloreto de potássio | Fe, Al, Cu e Br |
| Fosfato monoamônio (MAP) + uréia | Fe, Al, Cu e Br |
| Nitrato de amônio | Cu e Br |
| Nitrato de amônio + carbonato de cálcio | Fe, Cu e Br |
| Nitrato de amônio + uréia (URAN) | Fe, Cu e Br |
| Nitrato de potássio | Não observado |
| Uréia | Não observado |
| Sulfato de potássio | Fe |

Fonte: Shani citado por Fancelli & Dourado-Neto (1997).

Tabela 9. Compatibilidade de mistura de fertilizantes.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | | | | | X | | | | | X | | | | X |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | X | 0 | 0 | | | X | | | | X |
| 4 | | | | | | X | | | | | X | | | | X |
| 5 | | | | | | X | 0 | | | | 0 | | | | 0 |
| 6 | X | | X | X | X | | X | X | X | | | | | | |
| 7 | | | 0 | | 0 | X | | | | | X | | | | X |
| 8 | | | 0 | | | X | | | | | X | 0 | | | X |
| 9 | | | | | | X | | | | | 0 | | | | X |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | X | | X | X | 0 | | X | X | 0 | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | 0 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | X | | X | X | 0 | | X | X | X | | | | | | |

Fonte: Santos (1983).

- adubos que podem ser misturados; 0- adubos que podem ser misturados pouco antes da aplicação;
X- adubos que não podem ser misturados.

1. Sulfato de amônio

2. Nitrato de sódio e de potássio

3. Nitrocálcio

4. Nitrato de amônio

5. Uréia
6. Cianamida cálcica

7. Superfosfatos

8. Fosfato de amônio

9. Fosfato bicálcico

10. Farinha de ossos
11. Escória de Thomas

12. Fosfatos naturais

13. Cloreto de potássio

14. Sulfato de potássio

15. Calcário

Tabela 10. Índice de acidez de alguns fertilizantes.

| Fertilizante | Índice de acidez |
|---------------------|------------------|
| Fosfato monoamônio | 357 |
| Nitrato de amônio | 185 |
| Nitrato de cálcio | -100 |
| Nitrato de potássio | -115 |
| Uréia | 158 |
| Sulfato de amônio | 550 |

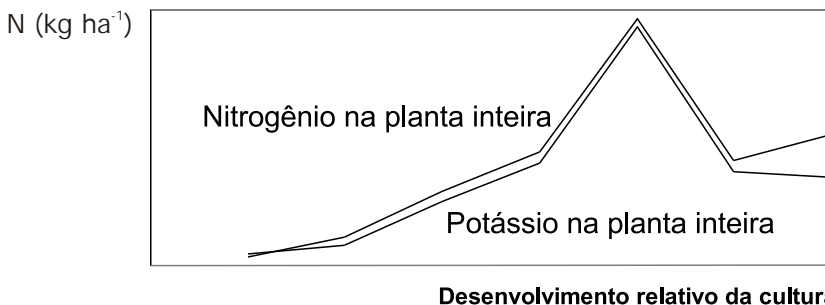


Fig. 4. Acúmulo de nitrogênio e potássio em função do desenvolvimento relativo da cultura de feijão (adaptado de Cobra Netto et al., 1971).

Recomenda-se, para efeito de planejamento, a aplicação de fertilizantes que contém nitrogênio, potássio, zinco e boro, principalmente.

Fósforo também pode ser utilizado em casos em que haja o cuidado da lavagem do sistema de irrigação após a aplicação do produto, pois todos os produtos fosforados apresentam alto poder corrosivo.

Normalmente, os produtos que contém cálcio apresentam baixa solubilidade ocasionando entupimento dos emissores. Devido a esse

problema, cálcio não deve ser colocado como prática rotineira.

A aplicação de micronutrientes na cultura de feijão é recomendada no início do ciclo (3 a 4 trifólios), pois o alvo direto da fertirrigação (ou fertigação) é o solo.

Para aplicação de micronutrientes, deve-se levar em consideração a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação, pois esses elementos podem passar da situação de deficiência para fitotoxidez se não for verificada a oscilação dos valores de lâminas aplicadas em torno da lâmina média.

A aplicação de micronutrientes na cultura de feijão é recomendada em sistemas que apresentam boa uniformidade de distribuição de água. Caso contrário, nos locais onde a aplicação de água de irrigação é bem superior à lâmina média, há o risco de se criar uma coroa de fitotoxidez.

Por outro lado, a aplicação de micronutrientes deve ser feita no intuito de corrigir paulatinamente o solo. Normalmente, adota-se os valores inferiores informados pela pesquisa com constante observação dos sintomas de deficiência nas plantas ou através de análise química foliar. O teor do micronutriente deve ter acréscimo paulatino até que não se observe mais sintoma de deficiência. Enquanto a correção está sendo efetuada, aplicações foliares podem ser planejadas.

9.3.3.5. Procedimento para fertigação via pivô central

Para proceder a fertigação, no caso do sistema de irrigação do tipo pivô central, os seguintes passos devem ser contemplados: (i) decidir quanto aplicar; (ii) decidir que tipo de fertilizante a aplicar; (iii) calcular volume aplicado por hectare; (iv) determinar área irrigada; (v) calcular volume por reversão do pivô; (vi) determinar tempo de uma volta do pivô; (vii) calcular vazão de injeção; e (viii) regulação da bomba injetora.

Passo 1. Decidir quanto aplicar

As ações de manejo devem aferir as ações de planejamento. Portanto, pequenos experimentos locais devem ser elaborados no intuito de

ajustar a dose do elemento a ser aplicada por talhão uniforme (a uniformidade deve ser caracterizada utilizando como parâmetro o mapa de rendimento da propriedade rural).

Em função da determinação experimental ao nível de propriedade (caso particular), define-se a quantidade total de nitrogênio a aplicar (60 kg ha^{-1} , neste exemplo) no intuito de obter o rendimento almejado (3.000 kg ha^{-1}), para uma extração total de 180 kg ha^{-1} de nitrogênio, considerando que a fase solo fornece 120 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Supondo um solo arenoso, sugere-se o seguinte procedimento: (i) semeadura: 12 kg ha^{-1} (20% da dose total recomendada); (ii) 3 a 4 trifólios desenvolvidos: 18 kg ha^{-1} (30% da dose total recomendada); e (iii) 6 a 7 trifólios desenvolvidos: 30 kg ha^{-1} (50% da dose total recomendada).

Passo 2. Definir o tipo de fertilizante

Levando-se em consideração as características desejáveis dos fertilizantes, optou-se pela uréia (concentração: 45% de nitrogênio, solubilidade: 700 g l^{-1}).

Passo 3. Calcular volume aplicado por hectare

Para o cálculo do volume de calda fertilizante (C_f , l ha^{-1}), utiliza-se a seguinte expressão:

$$C_f = \frac{D}{C.S} \quad (5)$$

em que D refere-se à dose de nitrogênio a ser aplicada via fertilizante (30 kg ha^{-1} de nitrogênio, neste exemplo), C à concentração de nitrogênio no fertilizante ($0,45 \text{ kg N kg}^{-1}$ de uréia), e S à solubilidade ($0,7 \text{ kg uréia l}^{-1}$).

Sendo assim, tem-se que:

Passo 4. Determinar área efetivamente irrigada

$$C_f = \frac{30 \text{ kg ha}^{-1}}{0,45 \text{ kg kg}^{-1} \cdot 0,7 \text{ kg l}^{-1}} = 95,2 \text{ l ha}^{-1}$$

Em função da avaliação do sistema de irrigação do tipo pivô central, determinou-se o raio efetivamente irrigado ($r = 550$ m, neste exemplo). Para o cálculo da área efetivamente irrigada (A , ha), tem-se que:

$$A = \frac{r^2}{10000} \quad (6)$$

Sendo assim, tem-se que:

$$A = \frac{550 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}} = 95 \text{ ha}$$

Passo 5. Calcular volume por reversão do pivô

Para o cálculo do volume de calda a ser injetada numa reversão do pivô (V_r , l/volta), tem-se que:

$$V_r = A \cdot C_f \quad (7)$$

Sendo assim, tem-se que:

$$V_r = (95 \text{ ha} \text{ volta}^{-1})(95,21 \text{ ha}^{-1}) = 90441 \text{ volta}^{-1}$$

Passo 6. Determinar tempo de uma volta do pivô

Em função do teste de avaliação do sistema de irrigação, determinou-se que a velocidade linear de caminamento da última torre ($V_{ut} = 199 \text{ m h}^{-1}$). Para o cálculo do tempo de uma rotação do pivô (T_r , h), tem-se que:

$$T_r = \frac{2 \cdot r}{V_{ut}} \quad (8)$$

Sendo assim, tem-se que:

$$Tr = \frac{2 \ 550 \text{ m}}{199 \text{ m h}^{-1}} = 17,4\text{h} = 17\text{h}24\text{min}$$

Passo 7. Calcular vazão de injeção

Para o cálculo da vazão de injeção (Q_{inj} , l h^{-1}), utiliza-se a seguinte expressão:

$$Q_{inj} = \frac{V_r}{Tr} \quad (9)$$

Sendo assim, tem-se que:

$$Q_{inj} = \frac{9044\text{l}}{17,4\text{h}} = 520 \text{ l h}^{-1}$$

Passo 8. Regulagem da bomba injetora

Conhecendo-se a pressão no ponto de injeção (6 kgf cm^{-2}), faz-se a regulagem da bomba injetora (escala: 25 mm), em função catálogo fornecido pelo fabricante, para obtenção da vazão requerida (520 l h^{-1}).

A Tabela 11 ilustra a variação de vazão da bomba injetora do tipo pistão em função da pressão de serviço no ponto de injeção (quanto maior for a pressão no ponto de injeção, menor será a vazão de injeção), bem como da regulagem do curso do pistão (quanto maior for o curso do pistão, maior será a vazão de injeção).

Cabe salientar que o catálogo fornecido pelo fabricante deve ser aferido nas condições reais de trabalho. A limpeza do filtro de sucção deve ser feita periodicamente para não afetar vazão de injeção. Para tal, na prática costuma-se utilizar manômetro de mercúrio para facilitar a conferência periódica.

Em função do exposto, verifica-se facilmente que a vazão de injeção

(Q_{inj} , $l\ h^{-1}$) pode assim ser calculada:

$$Q_{inj} = \frac{D.V_{ut}.r}{20000.C.S} \tag{10}$$

Tabela 11. Catálogo fornecido pelo fabricante (exemplo hipotético).

| Pressão ($kgf\ cm^{-2}$) | | Escala (mm) | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|-------------|-----|------------|-----|-----|-----|
| | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 5 | Q | 295 | 420 | 545 | 670 | 795 | 920 |
| 6 | ($l\ h^{-1}$) | 270 | 395 | <u>520</u> | 645 | 770 | 895 |
| 10 | | 255 | 380 | 505 | 630 | 755 | 880 |
| 15 | | 215 | 340 | 465 | 590 | 715 | 840 |

Passo 9. Concentração de nitrogênio na água de irrigação

A concentração de nitrogênio na água de irrigação precisa ser checada para evitar o problema de "queima". De maneira geral, por segurança, esse valor não deve exceder 2,0 a 3,0% no caso de folha, e 1,5 a 2,0% no caso de flor.

A concentração de nitrogênio na água de irrigação (C_{ni} , %) pode ser calculada pelo produto da concentração de nitrogênio na calda fertilizante (C_{nc} , %) pela razão de diluição (R_d , adimensional), através da seguinte expressão:

$$C_{nc} = 100.C.S \tag{11}$$

$$C_{nc} = 100\ (0,45\ kg\ kg^{-1})\ (0,7\ kg\ kg^{-1}) = 31,5\%$$

$$R_d = \frac{Q_{inj}}{Q_{sist}} \tag{12}$$

$$Cni = Cnc.Rd \quad (13)$$

Em que Qsist refere-se à vazão do sistema de irrigação ($l \text{ h}^{-1}$).

$$Qsist = \frac{10000.I.A}{Tr} \quad (14)$$

Supondo uma lâmina de irrigação $I = 4,2 \text{ mm}$, correspondente à regulagem do temporizador de 100%, tem-se que:

$$Qsist = \frac{10000.(4,2).(95)}{17,4} = 229310 \text{ l h}^{-1}$$

$$Rd = \frac{520}{229310} = 0,00227$$

$$Cni = (31,5).(0,00227) = 0,07\%$$

Na prática, em sistemas de irrigação do tipo pivô central, a concentração de nitrogênio na água de irrigação não é fator limitante.

Passo 10: Tempo de lavagem

A lavagem do sistema de irrigação deve ser feita logo após a aplicação do produto químico, no intuito de minimizar problemas de corrosão.

$$T_L = \frac{15 \text{ d}^2 L}{Qsist} \quad (15)$$

onde T_L se refere ao tempo (min) de lavagem, d ao diâmetro (m) da tubulação, L à distância (m) entre o ponto de injeção ao final da tubulação, e $Qsist$ à vazão ($m^3 \text{ h}^{-1}$) do sistema de irrigação.

9.4. Aplicação de Produtos Químicos Utilizando Sistemas Acoplados ao Sistema de Irrigação

9.4.1. Controle químico foliar

Dentre os diferentes fatores que afetam a quantidade de princípio ativo que atinge o alvo folha, o volume de água por unidade de área ($L\ ha^{-1}$) é o principal fator no caso da quimigação foliar.

A Fig. 5 ilustra a variação da quantidade do princípio ativo que atinge o alvo folha (Q_{paa} , massa de princípio ativo por unidade de planta) em função da calda utilizada. Há uma faixa Até o valor de calda crítica inferior (C_{CRIT}^I), há um acréscimo da quantidade de princípio ativo que atinge o alvo folha devido à limitação de solubilidade e volume de calda. Acima do valor de calda crítica superior (C_{CRIT}^S), há a limitação de área foliar (ou índice de área foliar quando se deseja expressar por unidade de área de solo explorado pela cultura), arquitetura da planta, natureza da folha (presença de cerosidade, principalmente) e lavagem do produto devido ao tamanho da gota e ao volume de água.

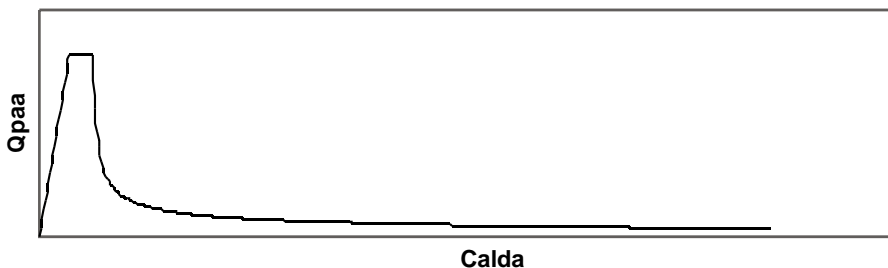


Fig. 5. Representação esquemática da variação da quantidade do princípio ativo que atinge o alvo folha (Q_{paa}) em função da calda utilizada.

9.4.2. Irrigação e quimigação foliar: critérios de projeto

A técnica de irrigação e quimigação foliar têm critérios antagônicos de projeto (Tabela 12).

Tabela 12. Critérios de projeto referentes às técnicas de irrigação e quimigação (alvo folha).

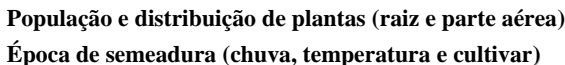
| Técnica | Critério de projeto |
|------------|--|
| Irrigação | A vazão do sistema de irrigação ⁽¹⁾ (Q_{si} , $m^3 h^{-1}$) é calculada em função da máxima evapotranspiração máxima (ET_m , $mm dia^{-1}$), que ocorre próximo ao florescimento, da área irrigada (A_i , ha) e do tempo de funcionamento diário (T_{fd} , $h dia^{-1}$) |
| Quimigação | A vazão de um suposto sistema de quimigação ⁽²⁾ (Q_{sq} , $m^3 h^{-1}$) poderia ser calculada em função da área a ser “irrigada” (A_i , ha), do tempo de funcionamento (T_f , h) do equipamento para aplicar uma lâmina máxima equivalente ao volume máximo armazenável na folha (V_m , $L ha^{-1}$), o qual é dependente do índice de área foliar ⁽³⁾ (IAF , $m^2 m^{-2}$) e da lâmina média (l , mm) de água sobre a folha (valor dependente da arquitetura da planta e natureza da folha). |

$$(1) \quad Q_{si} = \frac{10 \cdot ET_m \cdot A_i}{T_{fd}} \quad (2) \quad Q_{sq} = \frac{10 \cdot IAF \cdot l \cdot A_i}{T_f}$$

(3) IAF: índice de área foliar (relação entre a área das folhas de uma dada cultura pela área de solo que essa cultura explora).

A título de ilustração, supondo uma área irrigada de 100 ha com uma evapotranspiração de pico de 6 mm/dia (normalmente ocorre na época de maior índice de área foliar (época do florescimento) que coincide com a época de máxima sensibilidade à deficiência hídrica) (Fig. 6), pode-se calcular a vazão do sistema de irrigação do tipo pivô central com 20 horas para completar uma rotação na regulação do temporizador de 100%, tem-se a seguinte vazão do sistema:

$$Q_{si} = \frac{10 \cdot ET_p \cdot A_i}{T_{fd}} = \frac{10 (6 mm \, dia^{-1}) (100 ha)}{20 h \, dia^{-1}} = 300 m^3 h^{-1} \quad (16)$$



Ainda nessa mesma localidade, supondo um índice de área foliar 3 na época do florescimento, assumindo uma lâmina média de água sobre a folha de 0,1 mm ($L = 0,1$ mm), tem-se o seguinte volume máximo armazenável na folha:

(17)

e a seguinte vazão do suposto sistema de quimigação:

$$Q_{sq} = \frac{10.IAF.L.Ai}{Tf} = \frac{10.(3m^2 \ m^{-2})(100ha)(0,1mm)}{20} = 15m^3 \ h^{-1} \quad (18)$$

Pelo exposto, verifica-se que se o projeto fosse dimensionado em função da técnica quimigação foliar, ter-se-ia nesse caso (sistema de irrigação do tipo pivô central) uma lâmina mínima de apenas 0,3 mm (regulagem do temporizador de 100%: 20 horas por rotação) e uma lâmina máxima de 3 mm (regulagem do temporizador de 10%: 200 horas por rotação), o que inviabilizaria o manejo da irrigação devido à ordem de grandeza da demanda evapotranspiratória da cultura de feijão.

9.5. Referências Bibliográficas

- BOTREL, T.A. Hidráulica de microaspersores e de linhas laterais para irrigação localizada. Piracicaba 1984. 78p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- COBRA NETTO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. Roxinho). Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP. Piracicaba, v.28, p.257-274, 1971.
- COELHO, R.D. Caracterização Física do Sistema de Irrigação Pivô Central (LEPA) Operando em Condições de Microrelevo Condicionado. São Carlos, 1996. 178p. Tese. (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A.L. Quimigação na cultura do feijão. In: Folegatti, M.V. (Ed.) Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças Guaíba: Agropecuária, 1999. Cap.5, p.393-432.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Tecnologia para produção do feijão irrigado. 2 ed. ver. Piracicaba, Publique. 1997. 182p.

LYLE, W.M.; BORDOVSKY; J P. Chemical Application with the multifunction LEPA System. Transactions of the ASAE. v. 29, n.6, p.1699-1706, 1997.

MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987. 667p.

MAIA, L.A.F. Desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Piracicaba 1994. 158p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MARCHETTI, D. Irrigação por pivô central. Brasília: EMBRAPA, 1983. 23p. (Circular Técnica. Número 1)

OMARY, M.; CAMP, C.R.; SADLER, E.J. Center pivot irrigation system modification to provide variable water application depths. Applied Engineering in Agriculture. v. 13, n.2, p.235-239, 1997.

SANTOS, J.Q. Fertilizantes - Fundamento e aspectos práticos da sua aplicação. ed. Europa- América. Portugal. 1983.243 p.

SCHIMIDT. W. Quimigação: Características, vantagens e desvantagens. In: SEMINÁRIO DE QUIMIGAÇÃO, 1., Barreiras, 1997. Anais. São Paulo: DowElanco, 1997. p.46-54.

SUMNER, H. R.; GARVEY, P. M.; HEERMANN, D.F.; CHANDLER, L.D. Center pivot irrigation attached sprayer. Applied Engineering in Agriculture. v. 13, n.3, p.323-327, 1997.

SUMNER, H.R.; DOWLER, C.C.; GARVEY, P.M. Application of agrichemicals by chemigation, pivot-attached sprayer systems and conventional Center pivot irrigation attached sprayer. Applied Engineering in Agriculture. v. 16, n.2, p.103-107, 2000.

TECH TIPS: Hanging plastic pipes growing in popularity. Irrigation Advances, v.8, n.1, p.9-12, 1999.

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiro
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari
Bonifácio Hideyuki Nakaso
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores-Executivos

Embrapa Agropecuária Oeste

José Ubirajara Garcia Fontoura
Chefe-Geral

Júlio Cesar Salton
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Josué Assunção Flores
Chefe-Adjunto de Administração