Dados Sistema de Produção

Sumário

Irrigação

Embrapa Milho e Sorgo

Sistema de Produção, 1

ISSN 1679-012X 1

Versão Eletrônica
9ª edição | Nov/2015

Cultivo do Milho

Irrigação

Viabilidade da Irrigação de Milho

Antes de adquirir qualquer equipamento, ou construir qualquer estrutura para irrigação, deve-se primeiro determinar se há necessidade de irrigar a cultura naquele local e se é possível irrigar. Em geral, o interesse pela irrigação costuma aumentar quando ocorre estiagem, com quebra ou perda da produção. Por outro lado, muitos agricultores, motivados pelo modismo, ou impulsionados pela pressão comercial e facilidade de crédito, adquirem sistemas de irrigação, sem mesmo verificar se a cultura a ser irrigada necessita ou responde à irrigação, ou se a fonte de água de que dispõem é suficiente para atender à necessidade hídrica da cultura.

A decisão de irrigar ou não deve levar em consideração diversos fatores, entre os quais a quantidade e distribuição da chuva, o efeito da irrigação na produção, a necessidade de água das culturas e a qualidade e disponibilidade de água da fonte. O fator mais importante, que determina a necessidade de irrigação de uma certa cultura em uma região, é a quantidade e distribuição das chuvas. Outras razões para se utilizar irrigação são o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto, a produção na entressafra, o uso mais intensivo da terra e a redução do risco do investimento feito na atividade agrícola.

a. Quantidade e distribuição de chuvas

A necessidade de irrigação diminui na medida em que se move das regiões áridas e semiáridas para as regiões mais úmidas. Geralmente, nas regiões mais úmidas do país, a quantidade de chuvas ao longo do ano é suficiente para o cultivo de pelo menos uma safra de milho. Entretanto, por causa da má distribuição das chuvas, a cultura pode sofrer com a falta de água. É comum, na região dos Cerrados, a ocorrência de veranicos (períodos secos no meio do período chuvoso) que causam quebra na produtividade e na qualidade dos grãos. Se esse tipo de risco não é tolerável, como no caso da produção de sementes, deve-se dispor de irrigação, mesmo que essa aparentemente fique subutilizada durante parte do período chuvoso, lembrando ainda que, nessa região, as culturas de inverno necessitam ser irrigadas. Além do mais, o cultivo de milho-verde para indústria ou consumo in natura, requer irrigações frequentes ao longo de todo o ciclo.

A análise de dados históricos de chuvas ao longo do ano é, portanto, fundamental na tomada de decisão de irrigar. Como exemplo, na Figura 1 são mostradas a precipitação mensal média e a precipitação mensal provável, para o período de 1998 a 2012, em Sete Lagoas, MG. A precipitação provável

representa um certo valor de precipitação que pode ser igualado ou superado com um determinado nível de probabilidade, definido com base no histórico da precipitação. Nota-se que a precipitação média (cuja probabilidade de ocorrência é aproximadamente 50%) é significativamente maior que a precipitação esperada com 75% e 90% de probabilidade. Para a produção de culturas de menor valor comercial, como o milho, pode-se adotar, neste tipo de análise, um nível de probabilidade de 75%.

b. Necessidade de água da cultura do milho

A quantidade de água que o milho utiliza durante o ciclo é chamada demanda sazonal, podendo variar com as condições climáticas da região onde é cultivado. Em regiões semi-áridas, em geral, as plantas requerem uma maior quantidade de água por ciclo.

Há um período durante o ciclo da cultura em que mais água é consumida diariamente. No caso do milho esse período coincide com o florescimento e enchimento de grãos. A quantidade de água usada pela cultura, por unidade de tempo, nesse período, é chamada demanda de pico.

O requerimento de água das culturas é majoritariamente, a quantidade que as plantas transpiram. Como ocorre, simultaneamente, evaporação na superfície do solo, essas duas componentes combinadas são chamadas evapotranspiração (Et), a qual pode ser estimada a partir do consumo de água de uma cultura de referência (Eto) que, para o Brasil, é a grama, que por sua vez é determinada com os dados de clima do local. Os valores de Eto da grama devem ser multiplicados pelos valores do coeficiente de cultura (Kc) para obter a curva de Etc (evapotranspiração da cultura) para o milho. A estimativa da evapotranspiração de referência e do consumo de água da cultura do milho será discutida com detalhes em outro tópico. No presente capítulo, serão empregados dados médios de Eto e será considerado um coeficiente de cultivo de 1, visando exemplificar a análise da necessidade ou não de irrigar a cultura na região de Sete Lagoas, MG.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de evapotranspiração de referência média e provável para o período de 1988 a 1998, em Sete Lagoas, MG. Diferentemente da precipitação (Figura 1), o gráfico mostra a probabilidade de ocorrência de um valor igual ou menor que o indicado. Por esta razão, os valores médios de Eto são menores que os valores associados a uma certa probabilidade (maior que 50%) de ocorrência. Vale lembrar que a evapotranspiração do milho é maior que a evapotranspiração de referência (Kc maior do que 1), no período de pico de consumo. Dois picos de consumo mensal são observados para o exemplo em questão, um em outubro e outro em janeiro. O sistema de irrigação deve ser capaz de fornecer a quantidade sazonal de água à cultura, bem como suprir a demanda de pico. A quantidade sazonal de água requerida pela cultura deve ser comparada com a quantidade de água disponível na fonte durante o ciclo.

c. Comparação entre curvas de precipitação e de evapotranspiração

Quando se plotam as curvas de precipitação mensal junto com as de evapotranspiração de referência mensal (Figura 3) é que se tem uma visão melhor da necessidade ou não de irrigar. O primeiro ponto que chama a atenção no exemplo é que, dada a grande variabilidade interanual da precipitação, dados médios devem ser evitados em favor de dados probabilísticos. O mesmo não é tão necessário com a evapotranspiração, que é mais uniforme. Considerando uma probabilidade de 75%, nota-se que, exceto para o período de novembro, dezembro, janeiro e março, nos demais meses há necessidade de irrigação, mesmo que complementar às chuvas. Um agravante para a situação é a possibilidade de ocorrência de veranicos, como pode ser observado na Figura 4. Nota-se que veranicos com mais de 15 dias podem ocorrer, como é o caso do período de 3 a 29 de fevereiro de 2012, o qual, na ausência de irrigação, poderia causar quebra na produtividade ou danos irreversíveis à cultura do milho.

d. Efeito da irrigação na produtividade do milho

Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, outros fatores contribuem para que a irrigação proporcione um aumento na produtividade da cultura são o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de emprego de uma maior densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação.

Em ensaios experimentais, pode-se observar que vários materiais de milho apresentam boa resposta à irrigação (Tabela 1).

Tabela 1. Produtividade da Cultura do Milho sob Irrigação e com Estresse Hídrico Aplicado na Época do Florescimento. Janaúba, MG, 2000.

Material de Milho	Com Estresse no Florescimento	Sem Estresse	Redução na Produtividade
	kg ha $^{-1}$	kg ha $^{-1}$	%
1	1020	6403	84
5	1027	6167	83
9	2113	9170	77
12	2550	7980	68
7	3697	9407	61
13	2467	6060	59
4	2960	7087	58
2	2970	6903	57
19	830	1923	57
6	2400	5437	56
3	2047	4493	54
16	3830	8077	53
18	3810	7363	48
15	3200	6173	48
11	4160	7587	45
8	4670	8480	45
17	3820	6933	45
10	4077	7013	42
14	3523	5663	38
20	4180	6560	36
BRS 3101	2987	8190	64
P 3041	4447	8523	48

Fonte: Santos, M. X. Dados não publicados.

Alguns deles apresentam também boa tolerância ao estresse hídrico. Vale observar ainda que esse mesmo tipo de análise de produção dos materiais de milho pode ser empregado em situações de escassez de água, onde o objetivo seria maximizar a produção por unidade de volume de água e não por unidade de área cultivada.

A análise de dados de produtividade potencial da cultura, juntamente com dados de custo de produção e preços, é crucial na tomada de decisão de irrigar ou não. Nesse sentido, a utilização de modelos de computador que integram a simulação do crescimento e da produtividade da cultura com aspectos econômicos, constitui-se numa poderosa ferramenta de auxílio à decisão.

e. Fonte de água

Determinada a necessidade de se irrigar a cultura, há que se analisarem as fontes de água, para verificar se são capazes de suprir as necessidades hídricas da cultura com água de boa qualidade.

As principais fontes de água para irrigação são rios, lagos ou reservatórios, canais ou tubulações comunitários e poços profundos.

Vários fatores devem ser considerados na análise da adaptabilidade da fonte para irrigação, entre os quais a distância da fonte ao campo, a altura em que a água deve ser bombeada, o volume de água disponível (no caso de lago ou reservatório), a vazão da fonte no período de demanda de pico da cultura e a qualidade da água.

O volume de água disponível deve atender a necessidade sazonal de água da cultura (no caso de lago ou reservatório) e a vazão da fonte deve suprir a demanda durante todo o ciclo, principalmente durante o período de pico de consumo.

A qualidade da água, em termos de sais, poluentes e materiais sólidos, deve ser analisada. Muitas culturas não toleram sal na água. Poluentes podem contaminar os alimentos e os materiais sólidos podem causar problemas em bombas, filtros e emissores.

Atenção especial deve ser dada às leis de uso da água, em vigor no país. Os usuários são obrigados a requerer outorga para uso da água junto às agências de controle estaduais. Além do mais, como o recurso água está a cada dia mais escasso, há a tendência de aumentar os conflitos entre os usuários. O direito de uso da água de um usuário, localizado à jusante do ponto onde se tenciona captar a água para a irrigação, deve ser preservado, em termos de volume e vazão da fonte e qualidade da água.

Se a decisão, baseada nas informações descritas nos tópicos anteriores, é favorável à irrigação, então o próximo passo é a seleção do método e do sistema de irrigação. Inicialmente, há que se conhecerem os diversos métodos e sistemas de irrigação disponíveis atualmente.

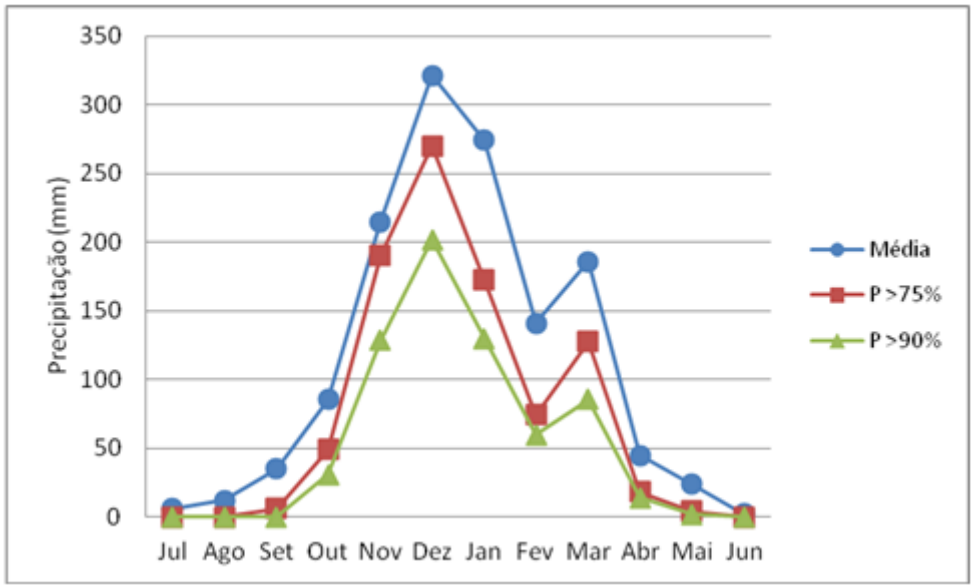

Figura 1 - Dados mensais de precipitação média e provável (probabilidade de ocorrência - P), para o período de 1998 a 2012, Sete Lagoas, MG.

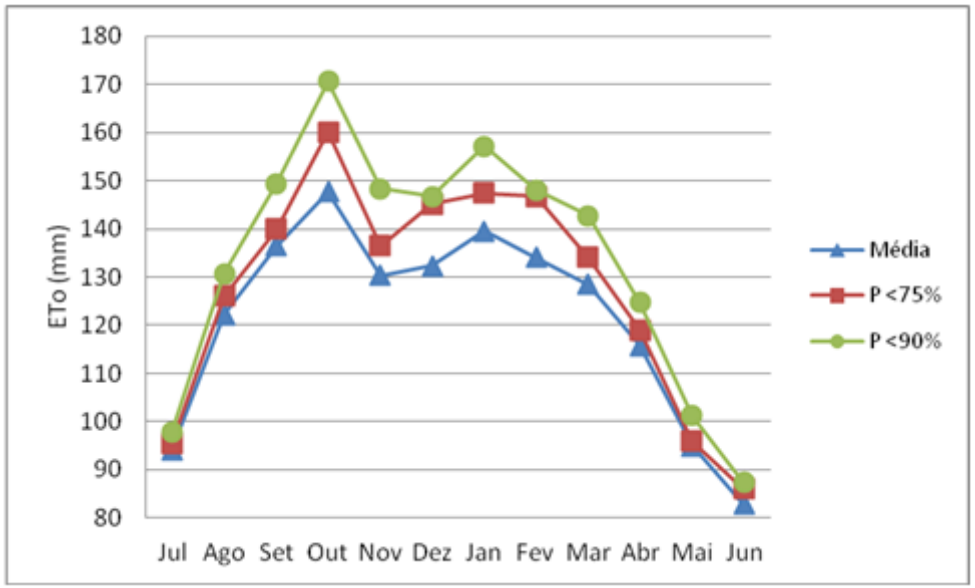

Figura 2 - Dados mensais de evapotranspiração de referência (ETo) média e provável (probabilidade de ocorrência - P), para o período de 1998 a 2012, Sete Lagoas, MG.

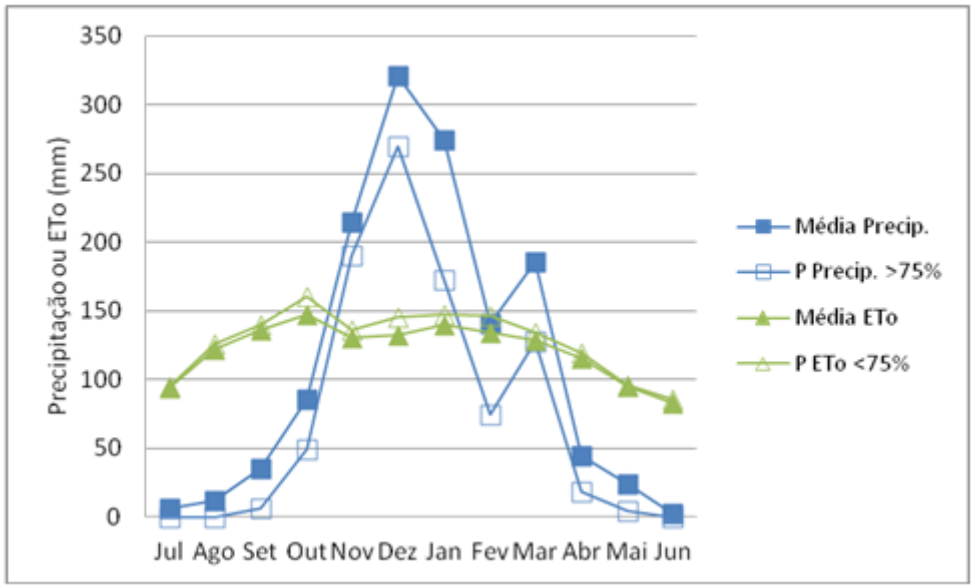

Figura 3 – Comparação ao longo do ano de curvas de precipitação e evapotranspiração médias e prováveis (probabilidade de ocorrência - P), para o período de 1998 a 2012, Sete Lagoas, MG.

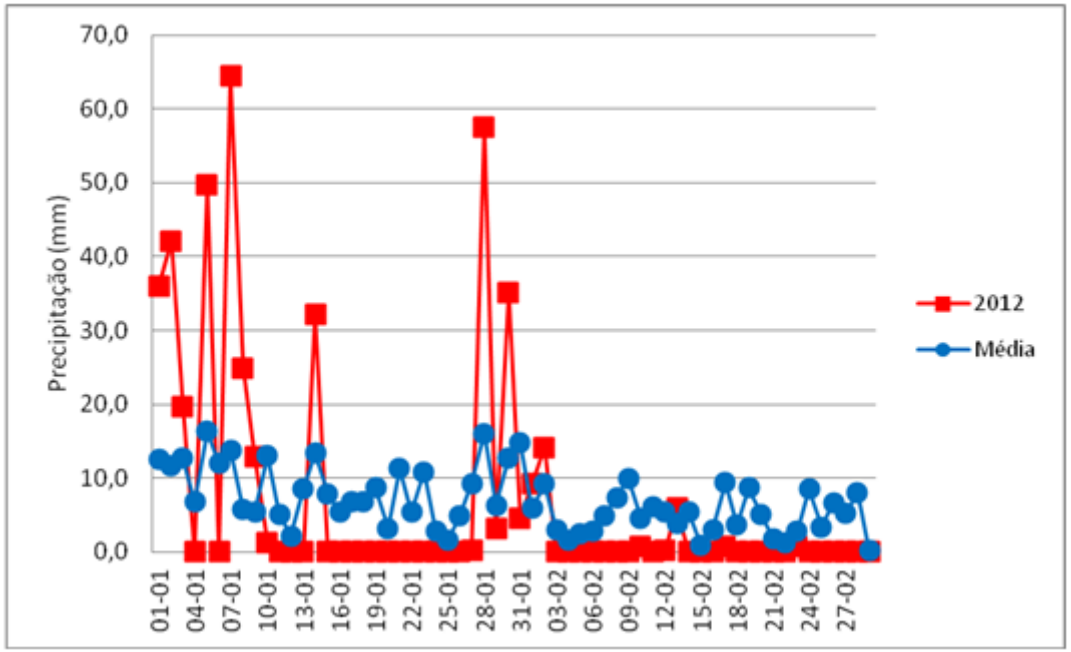

Figura 4 - Precipitação média entre os anos de 1998 e 2012 e dos meses de janeiro e fevereiro de 2012, indicando a ocorrência de veranicos, Sete Lagoas, MG.

Manejo de Irrigação

Introdução

O milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no uso dela , isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Dependendo da produtividade (kg ha^{-1}) alcançada pela cultura, a "produtividade" da água do milho, ou seja, a quantidade de água aplicada e/ou consumida que é "transformada" em peso de grãos, pode atingir patamares mínimos de até 250 litros de água por kg de grãos secos produzidos.
O milho de variedade de ciclo médio, cultivado para a produção de grãos secos, consome de 380 a 550 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. Em termos de lâmina bruta de água aplicada, esses valores podem aumentar sobremaneira em função da baixa eficiência do sistema de irrigação.
O período de máxima exigência de água pelo milho é na fase do embonecamento ou um pouco depois dele, por isso, déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento, em 40 a 50%, e após isso, em 10 a 20%. A extensão do período de déficit também é importante.

A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água, e/ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

No caso de o fator limitante ser a água, deve-se levar em consideração a evapotranspiração da cultura (ETc), chuva (lâmina, intensidade, distribuição e probabilidade de ocorrência), rendimento esperado (agricultura irrigada ou de sequeiro) e água total disponível (ATD) no solo por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular (Z).

Critérios básicos para o manejo da irrigação

O manejo da irrigação da cultura do milho nada mais é do que estabelecer o momento correto de aplicar água e a sua respectiva lâmina (quando e quanto aplicar). Vários critérios podem ser adotados para o manejo da irrigação. Aqui serão discutidos os mais comuns e que são de maior uso prático nas condições atuais.

- Alguns conceitos necessários para programar a irrigação
- Alguns critérios de manejo de irrigação
  - Critério baseado no uso das características físico-hídricas do solo e na estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc)
  - Critério baseado em sensores para monitoramento do potencial ou da umidade do solo
  - Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência (ETo)
  - Irrigação do dia do plantio e dos dias próximos subsequentes
  - Lâmina bruta de irrigação (LB)
  - Consumo total de água da cultura do milho
  - Recursos da informática

Alguns conceitos necessários ao manejo de irrigação

a. Evapotranspiração da cultura (ETc)

Como já mencionado no tópico anterior, a água necessária à cultura é equivalente a sua evapotranspiração (ETc), que é a combinação de dois processos (evaporação da água do solo + transpiração das plantas). Daí, a necessidade hídrica de uma cultura é baseada em sua evapotranspiração potencial ou máxima (ETm) e é expressa, normalmente, em milímetros por dia (mm dia^{-1}). Em situação prática, a ETc é relacionada à evapotranspiração de uma cultura de referência (ETo), que é a grama batatais ou uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 12 cm, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23, em pleno crescimento e sem deficiência de água, de modo a simplificar o processo de estimar a ETc. Então, a ETc pode ser obtida pela equação:

$$ETc = Kc \times ETo \quad \textbf{(1)}$$

em que:
ETc = evapotranspiração da cultura do milho (mm dia^{-1});
Kc = coeficiente da cultura do milho (adimensional);
ETo = evapotranspiração da cultura de referência (mm dia^{-1}).

Com base nos dados meteorológicos disponíveis, seleciona-se um método para o cálculo da ETo. Na literatura especializada encontra-se a descrição de alguns métodos para estimar a ETo. Mais recentemente tem sido recomendada pela FAO a equação de Penman-Monteith. Também muito utilizado é o tanque de evaporação Classe A (ALLEN et al., 1998).

Fonte: Allen et al. 1998.

Figura 5. Tanque de evaporação classe A

b. Coeficiente de cultura (Kc)

Os valores do coeficiente de cultura (Kc) do milho são influenciados pelas características da variedade ou cultivar empregada, época de semeadura, estádio de desenvolvimento da cultura e condições gerais de clima. O milho, por ser uma cultura de ciclo curto ou anual, pode ter o seu estádio de desenvolvimento dividido em 4 fases, para efeito do estudo da evolução dos valores de Kc ao longo do tempo (Figura 5).
De acordo com a Figura 5, os valores de Kc na fase 1 (Kc_1) é constante e é influenciado significativamente pela frequência de irrigação nessa fase. Também o valor de Kc_3 é constante, sendo mais influenciado pela demanda evaporativa predominante. Os valores assumidos para as fases 2 e 4 variam linearmente entre os valores das fases 1 e 3 e fases 3 e 5 (Kc_5), respectivamente, como está apresentado na Figura 5.

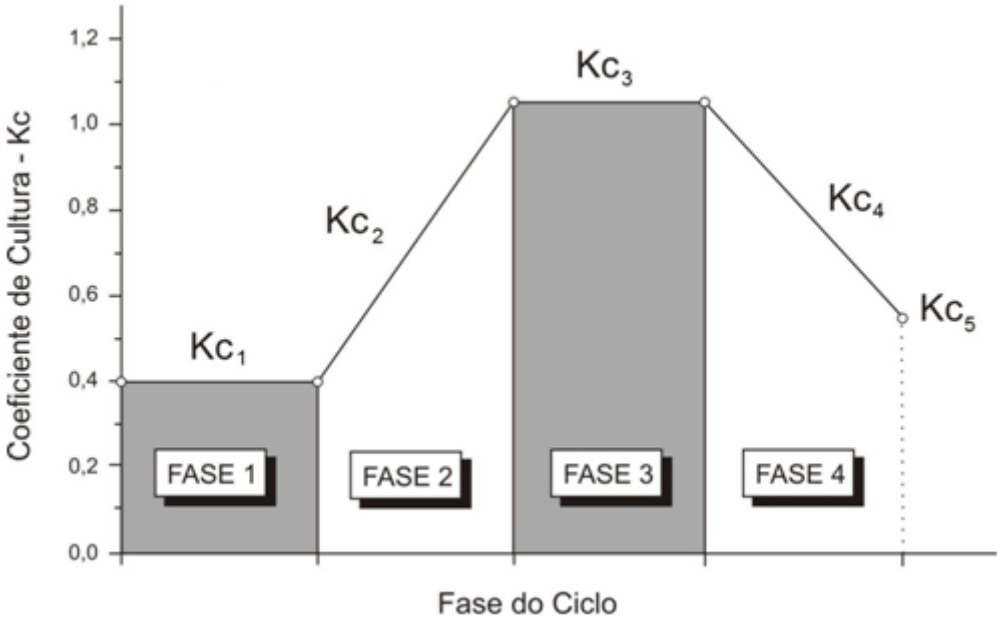

Figura 5 - Coeficientes de cultura (Kc) em função das fases do ciclo de crescimento (Ilustração: Idmar Pedro).

Usando-se uma cultura de milho numa altura padrão de 2 m para a fase 3, obtém-se a Tabela 2 com os valores dos coeficientes de cultura para as fases do ciclo, segundo a demanda evaporativa dominante.

Tabela 2. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para as fases* do ciclo de desenvolvimento do milho, considerando uma altura padrão de 2 m na fase 3, de acordo com a demanda evaporativa dominante (segundo metodologia de ALLEN et al., 1998 adaptada por ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2001).

Demanda Evaporativa Dominante**	TI*** na fase 1 (dias)	Kc1+	Kc2	Kc3	Kc4	Kc5
BAIXA ETo < 2,5 mm dia $^{-1}$	1	1,10	1,10 a 1,14	1,14	1,14 a 0,35	0,35
	2	1,03	1,03 a 1,14			
	3	0,95	0,95 a 1,14			
	4	0,88	0,88 a 1,14			
	5	0,80	0,80 a 1,14			
	6	0,73	0,73 a 1,14			
MODERADA 2,5 < ETo < 5,0 mm dia $^{-1}$	1	1,00	1,00 a 1,23	1,23	1,23 a 0,35	0,35
	2	0,91	0,91 a 1,23			
	3	0,83	0,83 a 1,23			
	4	0,75	0,75 a 1,23			
	5	0,66	0,66 a 1,23			
	6	0,58	0,58 a 1,23			

ALTA	1	0,87	0,87 a 1,29	1,29	1,29 a 0,35	0,35
5,0 < ETo < 7,5 mm dia $^{-1}$	2	0,78	0,78 a 1,29			
	3	0,70	0,70 a 1,29			
	4	0,62	0,62 a 1,29			
	5	0,53	0,53 a 1,29			
	6	0,45	0,45 a 1,29			
	1	0,82	0,82 a 1,36			
	2	0,73	0,73 a1,36			
MUITO ALTA	3	0,65	0,65 a 1,36	1,36	1,36 a 0,35	0,35
ETo > 7,5 mm dia $^{-1}$	4	0,57	0,57 a 1,36			
	5	0,48	0,48 a 1,36			
	6	0,40	0,40 a 1,36			

* fases do ciclo de desenvolvimento de acordo com a Figura 5.

** segundo as faixas da evapotranspiração de referência (ETo).

*** Turno de irrigação.

+ Se for realizado plantio direto sobre palhada, os valores de Kc_1 deverão ser reduzidos em cerca de 50%.

c. Água disponível no solo

Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, ele é também o "reservatório" de água para as plantas. A água total disponível no solo (CAD), que pode ser absorvida pela planta, é definida como a água contida no solo que está entre a umidade da capacidade de campo (CC - ou limite superior da água disponível) e a umidade no ponto de murcha permanente (PMP - ou limite inferior da água disponível). Verificou-se que, na maioria dos solos e na maioria das situações, o solo se encontra na CC quando o potencial matricial da água (Ψm) contido nele oscilar na faixa entre -10 (solos arenosos e latossolos em geral) e -30 kPa (solos argilosos). Também foi verificado que o valor desse potencial para o PMP é de -1500 kPa. Em laboratório, tanto CC quanto PMP podem ser determinados com o mesmo equipamento utilizado para determinar a curva de retenção.

Alguns critérios de manejo de irrigação

O manejo da irrigação da cultura do milho nada mais é do que estabelecer o momento correto de aplicar água e a sua respectiva lâmina (quando e quanto aplicar). Vários critérios podem ser adotados para o manejo da irrigação. Aqui serão discutidos os mais comuns e que são de maior uso prático nas condições atuais.

a. Uso das características físico-hídricas do solo e da estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc)

O turno de rega ou de irrigação (TI) é normalmente variável de acordo com a variabilidade temporal da evapotranspiração da cultura (ETc). Entretanto, um critério de manejo de irrigação com o TI variável, apesar de ser o ideal, muitas vezes torna-se de difícil operacionalidade em condição prática. Na adoção de um TI fixo, parte-se do pressuposto que a ETc diária possui um valor constante, que pode ser obtido pela média diária prevista para todo o

período de desenvolvimento da cultura ou pelo valor crítico estabelecido no dimensionamento do sistema de irrigação. Entretanto, estes são valores que não retratam o dia-a-dia da ETc da cultura no campo. O que se recomenda é que se adote um TI fixo para cada uma das 4 fases relatadas no item referente à seleção do coeficiente de cultura (Figura 5), de modo que tornar-se-á necessário que se considere a ETc média diária reinante em cada uma dessas fases. Este critério normalmente é empregado quando se trabalha com dados históricos (de no mínimo 15 anos) da evapotranspiração de referência (ETo) para o local do cultivo. Dessa forma, o turno de irrigação (TI) e a lâmina líquida (LL) a serem determinados, para cada uma das 4 fases do ciclo do milho, são dados por:

$$TI_i = \frac{Arm_i}{ETc_i} \quad \textbf{(2)}$$

$$LL_i = TI_i \times ETc_i \quad \textbf{(3)}$$

em que:
i = índice correspondente à fase (Figura 5) do ciclo da cultura do milho (i = 1, 2, 3 ou 4);
TI_i = turno de irrigação na fase i, em dias;
Arm_i = lâmina de água armazenada no solo na fase i que será usada como suprimento para a cultura (mm);
ETc_i = evapotranspiração da cultura média diária na fase i, em mm/dia;
LL_i = lâmina líquida de irrigação na fase i, em mm.

A lâmina de água que fica armazenada no solo (Arm) e que se pode tornar disponível à planta é representada pela equação:

$$Arm = \frac{(CC - PMP)}{10} \times f \times d \times Z \quad \textbf{(4)}$$

O coeficiente f estabelece o ponto da água no solo em que não haverá perda de rendimento da cultura em decorrência do estresse hídrico provocado por demanda evaporativa elevada. Assim, maior demanda evaporativa normalmente exigirá menores valores de f e vice-versa. Para as condições de demanda evaporativa constantes na Tabela 1, os valores de f podem ser de 0,75; 0,60; 0,50 e 0,40 para baixa, moderada, alta e muito alta demanda, respectivamente. A profundidade efetiva do sistema radicular (Z_{max}) para o milho pode ser considerada entre 40 e 50 cm, entretanto, dependendo das circunstâncias, impedimentos no solo de ordem física e/ou química podem alterar esses valores, de modo que é preferível que se realize teste em campo para que se encontre o valor mais compatível com a realidade local. É claro que na fase inicial o sistema radicular vai-se desenvolvendo a partir da profundidade de semeadura até atingir o seu pleno desenvolvimento, que deve ocorrer no término da fase 2. Pode ser considerado que o seu desenvolvimento é linear a partir da profundidade de semeadura até atingir a fase 3, como está representado na Figura 6. Geralmente, no cálculo do TI pela equação 2 é muito comum a não obtenção de número inteiro, ou seja, o TI com fração de dias. O que se faz comumente é o arredondamento para o próximo valor inteiro inferior, de modo que o coeficiente de depleção (f) fique ajustado para um valor menor ao originalmente adotado. Isso se faz por medida de segurança para não submeter a cultura aalgum tipo de estresse hídrico. Entretanto, quando o seu valor na casa decimal for superior a oito décimos (> 0,8), não é problema o seu arredondamento para o próximo número inteiro superior, desde que se analise o que ocorre com o valor de f. Desse modo, haverá a necessidade de corrigir a LL obtida pela equação 3 em função do TI corrigido, com a consequente mudança do valor de f também.

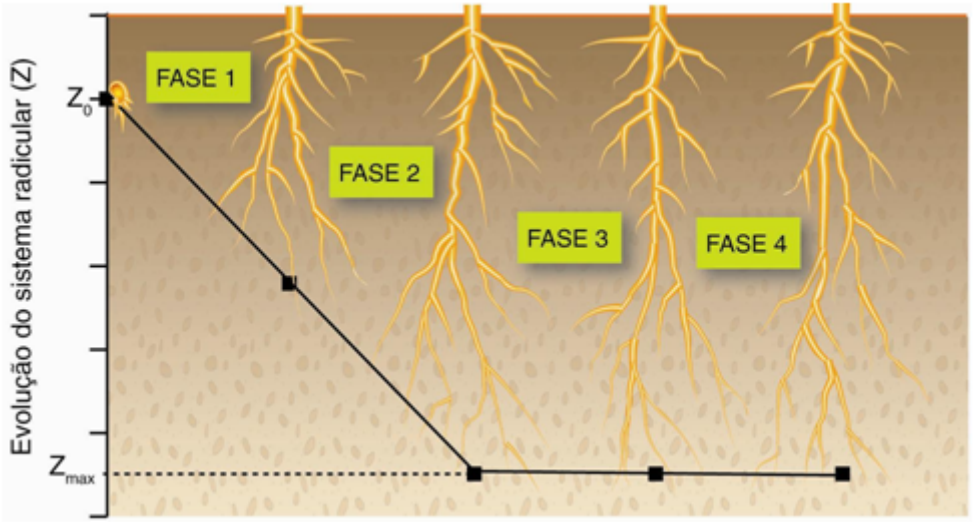

Figura 6 - Evolução do crescimento do sistema radicular do milho em função da fase vegetativa (Ilustração: Idmar Pedro)

Exemplo:
Quais são a lâmina líquida de irrigação (LL) e o turno de irrigação (TI) da cultura do milho em cada uma de suas 4 fases, cujos dados do local do plantio são:
CC = 35% peso; PMP = 26% peso; d = 1,1 g/cm³; Z (fase 1) = 20 cm; Z (demais fases) = 40 cm; f (todas as fases) = 0,5; ETc (fase 1) = 2,5 mm/dia; ETc (fase 2) = 3,6 mm/dia; ETc (fase 3) = 5,2 mm/dia; ETc (fase 4) = 3,1 mm/dia?

Solução:
O que se deseja é: LL_i e TI_i, sendo i = 1, 2, 3 e 4, correspondentes a cada uma das fases da cultura.

As lâminas de água que ficam armazenadas no solo (Arm_i) em cada uma das 4 fases (equação 4) são:

$$Arm_1 = \frac{(35-26)}{10} \times 0{,}5 \times 1{,}1 \times 20$$

$$Arm_1 = 9{,}9\ mm$$

$$Arm_2 = Arm_3 = Arm_4 = \frac{(35-26)}{10} \times 0{,}5 \times 1{,}1 \times 40$$

$$Arm_2 = Arm_3 = Arm_4 = 19{,}8\ mm$$

Os turnos de irrigação em cada fase (TI_i; – equação 2) serão:

$$TI_1 = \frac{Arm_1}{ETc_1} = \frac{9,9}{2,5} = 4\ dias$$

$$TI_2 = \frac{Arm_2}{ETc_2} = \frac{19,8}{3,6} = 5\ dias$$

$$TI_3 = \frac{Arm_3}{ETc_3} = \frac{19,8}{5,2} = 4\ dias$$

$$TI_4 = \frac{Arm_4}{ETc_4} = \frac{19,8}{3,1} = 6\ dias$$

As lâminas líquidas de irrigação de cada fase (LL_i – equação 3) serão:

$$LL_1 = TI_1 \times ETc_1 = 4 \times 2,5 = 10,0\ mm$$

$$LL_2 = TI_2 \times ETc_2 = 5 \times 3,6 = 18,0\ mm$$

$$LL_3 = TI_3 \times ETc_3 = 4 \times 5,2 = 20,8\ mm$$

$$LL_4 = TI_4 \times ETc_4 = 6 \times 3,1 = 18,6\ mm$$

b. Sensores para monitoramento do potencial ou da umidade do solo

Os equipamentos que possuem sensores que monitoram o potencial matricial (tensiômetros e blocos de resistência elétrica) e o conteúdo de água no solo (TDR e sonda de nêutrons) podem ser empregados também para se fazer o manejo de irrigação.
O tensiômetro funciona adequadamente na faixa de potencial de 0 a -80 kPa, o que não representa grande problema, porque a maior parte da água facilmente disponível dos solos usados em agricultura está retida dentro dessa faixa de potencial. Quando há necessidade de se extrapolar essa faixa (potenciais < -80 kPa), podem-se empregar os blocos de resistência elétrica, mas há necessidade da calibração desses para cada tipo de solo. Em ambos os casos, haverá a necessidade também da obtenção da curva de retenção do solo, ou pelo menos das umidades na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PMP) e do potencial de referência para se fazer a irrigação (Ψir).

Para o caso do milho, o potencial de referência para se efetuar a irrigação (Ψir) é variável de acordo com o clima local e a época de plantio. Porém, de um modo geral, para garantir que as plantas não se submetam a estresses hídricos severos, pode-se considerar o Ψir em torno de -70 kPa. É claro que cada caso deve ser estudado em suas condições peculiares. Estudos de Resende et al. (2000) indicam o potencial de -70 kPa em condições de verão no

Cerrado e em qualquer época no Semiárido e de -300 kPa no inverno no Cerrado. As medições do potencial ou da umidade devem ser feitas em pelo menos 3 a 4 pontos representativos da área cultivada e no mínimo a duas profundidades (Figura 7): uma na zona de máxima atividade radicular (ponto A - que corresponde aproximadamente na região mediana da profundidade efetiva do sistema radicular, para a cultura em seu máximo desenvolvimento) e outra nas proximidades da parte inferior da zona radicular (ponto B). No caso do milho, o que pode ser considerado, quando só se dispuser de equipamento para monitorar o potencial ou a umidade do solo, é que se realizem irrigações frequentes (turno de irrigação de 1 ou 2 dias) até os 15 dias após a semeadura (DAS) e de 15 a 30 DAS se instalem os sensores a 10 cm (ponto A) e 20 cm de profundidade (ponto B). Após os 30 DAS, os sensores são aprofundados para 20 cm (ponto A) e 40 cm (ponto B) (Figura 7). As medições no ponto A são as que devem ser utilizadas para definir o momento da irrigação e as no ponto B servem para se verificar se a irrigação foi realizada em excesso com risco de lixiviação de solutos.

Controlando-se a irrigação por meio desses sensores instalados no solo, o momento de irrigar fica completamente independente do estabelecimento prévio de turnos de irrigação. Contudo, deve-se acompanhar o desenvolvimento do sistema radicular, para determinar a zona ativa das raízes (Z_i) e considerar a leitura do potencial ou da umidade feita no ponto médio dessa profundidade como a indicadora de quando irrigar.

Usando-se este método como manejo de irrigação, a lâmina líquida de irrigação por fase da cultura (LL_i) é dada por:

$$LL_i = \frac{(CC - U_{ir})}{10} \times d \times Z_i \quad \textbf{(5)}$$

em que:

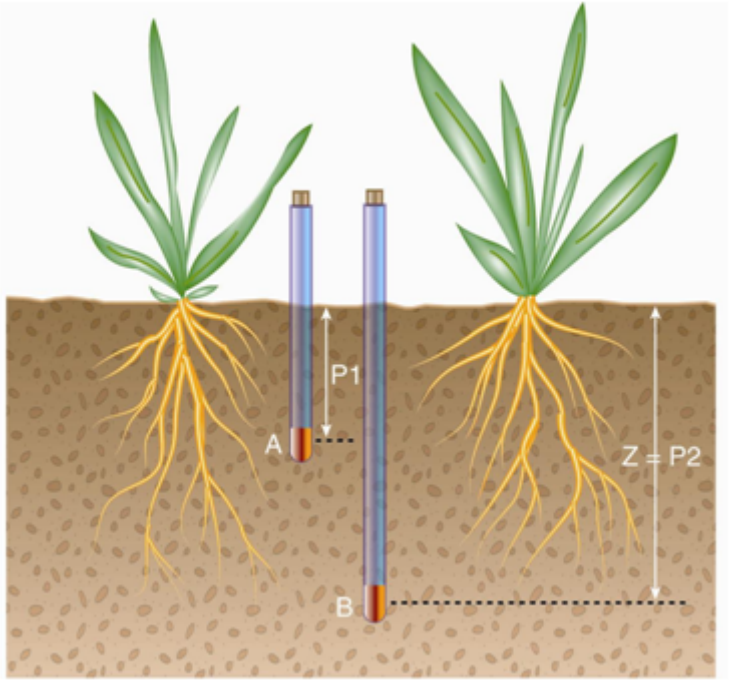

Figura 7 - Profundidade de instalação de sensores no solo (Ilustração: Idmar Pedro).

LLi = lâmina líquida de irrigação na fase i, em mm;
CC = umidade do solo na capacidade de campo, em %peso;
Uir = umidade do solo no ponto A correspondente ao potencial referente ao momento de se efetuar a irrigação (Ψir = -70 kPa), em %peso;
d = densidade do solo, em g cm^{-3};
Zi = profundidade efetiva do sistema radicular na fase i, em cm.
10 = constante necessária para conversão de unidades.

Observa-se que o coeficiente de depleção (f) não aparece explícito na equação 5, porque esse fator está implícito ao se estabelecer um limite mínimo de umidade no solo para reinício da irrigação (U_{ir}). No entanto, quando se utilizam instrumentos que medem apenas o potencial matricial (como o tensiômetro), é necessário converter o valor de Ψir em U_{ir} por meio da curva de retenção do solo.

Exemplo:

Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho na fase 3, cujos dados do local do plantio são:

CC = 35% peso; umidade no solo no ponto A da Figura 4, que corresponde à umidade crítica para efetuar a irrigação (U_{ir}) = 30% peso; d = 1,1 g/cm3; Z (fase 3) = 40 cm. O sensor no solo que é a referência para se proceder a irrigação da cultura está localizado no ponto A, conforme a Figura 4? Solução:

O que se deseja é LL_3 (equação 5) que corresponde à fase 3 da cultura:

$$LL_3 = \frac{(35-30)}{10} \times 1{,}1 \times 40$$

$$LL_3 = 22{,}0\ mm$$

c. Sensores de solo conjuntamente com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência (ETo)

Este critério tem a vantagem de se poder programar a irrigação sem conhecimento prévio das características físico-hídricas do solo, como, por exemplo, a sua curva de retenção e do clima. O sensor de potencial ou de umidade do solo indicará o momento de irrigar, conhecendo-se antecipadamente o limite mínimo do potencial (Ψir) ou do conteúdo de água (U_{ir}) no solo a partir do qual se realizará a irrigação. Por exemplo, como já visto para o milho, o valor de Ψir pode ser de -70 kPa lido num tensiômetro.

A lâmina líquida de irrigação é determinada pelo somatório da evaporação da cultura acumulada desde a última irrigação, conforme a equação:

$$LL_i = \sum_{j=1}^{n} (Kc_i \times ETo_j) \quad \textbf{(6)}$$

em que:

LL_i= lâmina líquida de irrigação na fase i (mm);
i = índice correspondente à fase do ciclo do milho (i = 1, 2, 3 ou 4);
j = índice correspondente ao dia da coleta do dado da ETo;
n = número máximo de dias de coleta dos dados de ETo até que o potencial (Ψir) ou umidade de irrigação (U_{ir}) seja atingido;
Kc_i = coeficiente de cultura na fase i;
ETo_j = evapotranspiração de referência no dia j.

Este critério de manejo se adapta bem quando se utiliza o tensiômetro para estabelecer o momento da irrigação e o tanque Classe A para a estimativa da ETo diária, havendo, neste caso, a necessidade de multiplicar a evaporação da água do tanque (ECA) por um coeficiente de tanque (Kp), conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Coeficiente de tanque (Kp) para diferentes condições de cobertura de solo, de níveis de umidade relativa média do ar e de vento de 24 h (DOORENBOS; PRUITT, 1977)*

	Caso A: tanque exposto em local coberto com vegetação verde				Caso B: tanque exposto em local de solo nu			
UR** média (%)		Baixa < <40	Média 40 – 70	Alta > 70		Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 70
Vento (km/dia)	Bordadura (R) m				Bordadura (R) m			
Leve	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
< 175	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
(<2 m/s)	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Mode-	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
rado	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
175-425	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
(2-5m/s)	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
425-700	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
(5-8m/s)	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
Forte	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
> 700	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
(>8 m/s)	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

* para obter ETo: ETo = Kp x ECA (ECA é a evaporação da água no tanque Classe A)

** umidade relativa (UR)

Exemplo:

Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho na fase 3, cujo momento da irrigação é estabelecido com um sensor no solo (tensiômetro) quando indica o valor de -70 kPa? A evaporação do tanque Classe A (ECA) foi medida diariamente conforme a tabela abaixo (o vento local durante as medições de ECA esteve abaixo de 2 m/s, a umidade relativa abaixo de 40% e o tanque estava sobre grama verde num raio de 100 m).

dia	Potencial da água no solo (kPa)	ECA (mm)
20	-5	7,2
21	-10	6,1
22	-23	5,9
23	-47	7,8
24	-58	4,7
25	-70	6,6

Solução:
O primeiro passo é determinar o coeficiente do tanque (Kp) e, em seguida, os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo). Pela Tabela 2, para UR < 40%, velocidade do vento < 2 m/s e raio de bordadura com vegetação verde de 100 m, o valor de Kp = 0,70 (Tabela 2). Com isso, obtêm-se os valores da ETo (ETo = Kp x ECA) da seguinte forma:

dia	Potencial de água no Solo (kPa)	ECA (mm)	ETo (mm) Kp = 0,70
20	-5	7,2	5,04
21	-10	6,1	4,27
22	-23	5,9	4,13
23	-47	7,8	5,46
24	-58	4,7	3,29
25	-70	6,6	4,62

O coeficiente de cultura (Kc) para uma condição de ETo moderada (média de 4,47 mm/dia) na fase 3 do milho é 1,23 (Tabela 1), portanto usando-se a equação 6 determina-se a lâmina líquida de irrigação na fase 3 (LL_3):

$$LL_3 = Kc_3 \times \sum_{j=1}^{6} ETo_6$$

$$LL_3 = 1{,}23 \times (5{,}04 + 4{,}27 + 4{,}13 + 5{,}46 + 3{,}29 + 4{,}62)$$

$$LL_3 = 1{,}23 \times 26{,}81 = 33{,}0\ mm$$

d. Irrigação do dia do plantio e dos dias próximos subsequentes

É recomendável que a irrigação do dia do plantio ou da semeadura se faça de modo a umedecer uma profundidade de solo pré-estabelecida até a capacidade de campo. Essa camada de solo a considerar deverá ser de no mínimo a profundidade máxima efetiva do sistema radicular anteriormente discutida.

Assim, a equação para calcular a lâmina líquida de plantio é semelhante à equação 5 e é escrita da seguinte forma:

$$LL_{plantio} = \frac{(CC - U_{in})}{10} \times d \times Prof \quad \textbf{(7)}$$

em que:

$LL_{plantio}$ = lâmina líquida de irrigação a ser aplicada no dia do plantio, em mm;
CC = umidade do solo na capacidade de campo, em %peso;
U_{in} = umidade inicial do solo, ou seja, no dia do plantio, em %peso;
d = densidade do solo, em g cm^{-3};
Prof = profundidade do solo que se deseja umedecer até a capacidade de campo (CC), em cm. Recomenda-se que Prof = profundidade efetiva máxima do sistema radicular (Z_{max});
10 = constante necessária para conversão de unidades.

A umidade inicial (U_{in}) pode ser determinada pelo método gravimétrico por meio de amostra retirada do local até a profundidade (Prof). Dependendo da condição climática, como, por exemplo, após um período de seca prolongado, o seu valor poderá até ser menor do que o ponto de murcha permanente (PMP). Logo após o plantio, a semente necessitará de umidade no solo para iniciar o processo de germinação ou de desenvolvimento. A reserva de água no solo necessária à germinação se limita à profundidade de semeadura (Zo) e um pouco além dela. Portanto, é de fundamental importância manter o solo sempre úmido nesse período de pré-emergência. A maior perda de água pelo solo nesse período é por causa da evaporação pela sua superfície.
Exemplo:
Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho no dia do plantio, considerando-se que se deseja umedecer o perfil do solo até atingir a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z_{max}) de 40 cm e que a umidade inicial (Uin) média entre 0 e 40 cm era de 28% peso? Dados: CC = 36% peso e d = 1,1 g/cm^3.
Solução:

Usando-se a equação 7 para determinar a LL obtém-se:

$$LL_{plantio} = \frac{(36-28)}{10} \times 1{,}1 \times 40$$

$$LL_{plantio} = 0{,}8 \times 1{,}1 \times 40 = 35{,}2\ mm$$

e. Lâmina bruta de irrigação (LB)

A lâmina bruta de irrigação (LB) é baseada na lâmina líquida de irrigação (LL), eficiências do sistema e na necessidade de lâminas extras de lixiviação, para o caso de controle de salinização em áreas propícias. Desse modo, a LB é dada por:

$$LB = \frac{LL}{Ef} + Lr \quad \textbf{(8)}$$

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação, em mm;
LL = lâmina líquida de irrigação, em mm;
Lr = lâmina complementar necessária para lavagem do solo, em situação propícia à salinização do solo, em mm;
Ef = eficiência de irrigação, em decimal.

A eficiência (Ef) representa a porcentagem da água total aplicada à cultura que foi beneficamente utilizada para o uso consuntivo da cultura. Ef é basicamente uma função da uniformidade de aplicação, mas depende também de perdas menores (escoamento superficial, vazamentos, fluxos na rede e drenagem), perdas inevitáveis (percolação profunda, por causa do padrão de molhamento no solo, e chuva fora de época) e perdas evitáveis (resultantes de programação inadequada). Em regiões úmidas, que possuem um período de chuvas regulares, que promovem a lavagem do solo, é desnecessário o uso da Lr. Entretanto, em regiões de chuvas escassas, como em locais áridos e semiáridos, há necessidade de considerar esse termo no cálculo da LB. Os valores da eficiência são obtidos em função da uniformidade de aplicação que o sistema de irrigação empregado pode fornecer. Por isso, é importante realizar testes de uniformidade de aplicação de água nos diversos sistemas de irrigação existentes.

f. Consumo total de água da cultura do milho

O consumo total de água da cultura do milho varia em função das condições climáticas e da cultivar utilizada. Para a ocorrência de uma condição ideal de evapotranspiração máxima, ou seja, as plantas sem sofrer qualquer tipo de estresse (abiótico ou biótico), os valores aproximados do consumo de água pela cultura por fase do ciclo fenológico (conforme a Figura 5) estão apresentados na Tabela 4, em função de demandas evaporativas baixa, moderada, alta e muito alta.

Tabela 4. Valores aproximados do consumo de água pela cultura do milho (em mm), por fase do ciclo fenológico e total, em função da demanda evaporativa (valores previstos para consumo total e adaptados de Allen et al. (1998) para consumo por fase, segundo a demanda evaporativa).

Demanda evaporativa*	Fase 1**	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Total
Baixa	70	130	175	75	450
Moderada	65	140	210	85	500
Alta	60	150	240	100	550
Muito Alta	60	165	260	115	600

*Demanda evaporativa conforme a Tabela 1.
**Fases do ciclo fenológico como mostradas na Figura 5.

g. Recursos da informática

Para a programação da irrigação da cultura do milho, há alguns recursos computacionais disponíveis, como uma planilha eletrônica publicada por Albuquerque (2007), ou o *software* Irrigafácil que está disponível na web (IRRIGAFÁCIL, 2013).

Métodos de irrigação

O interesse pela irrigação, no Brasil, emerge nas mais variadas condições de clima, solo, cultura e socioeconomia. Não existe um sistema de irrigação ideal, capaz de atender satisfatoriamente a todas essas condições e aos interesses envolvidos. Em conseqüência, deve-se selecionar o sistema de irrigação mais adequado para uma certa condição e para atender aos objetivos desejados. O processo de seleção requer análise detalhada das condições apresentadas (cultura, solo e topografia), em função das exigências de cada sistema de irrigação, de forma a permitir a identificação das melhores alternativas.

Com a expansão rápida da agricultura irrigada no Brasil, muitos problemas têm surgido, em conseqüência do desconhecimento das diversas alternativas de sistemas de irrigação, conduzindo a uma seleção inadequada do melhor sistema para uma determinada condição. Esse problema tem causado o insucesso de muitos empreendimentos, com conseqüente frustração de agricultores com a irrigação e, muitas vezes, degradação dos recursos naturais.

Principais métodos e sistemas de irrigação

Método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Basicamente, são quatro os métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação. Para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação, que podem ser empregados. A razão pela qual há muitos tipos de sistemas de irrigação é a grande variação de solo, clima, culturas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o sistema de irrigação deve ser adaptado. Uma abordagem detalhada dos métodos e sistemas de irrigação e suas adaptabilidades às mais diversas condições de clima, solo e culturas é feita no documento "Seleção do Sistema de Irrigação". Nesse tópico serão comentados apenas os métodos e sistemas mais apropriados para a cultura do milho.

Irrigação por superfície

No método de irrigação por superfície (Figura 5), a distribuição da água se dá por gravidade através da superfície do solo. As principais vantagens do método de superfície são: (1) - menor custo fixo e operacional; (2) - requer equipamentos simples; (3) - não sofre efeito de vento; (4) - menor consumo de energia quando comparado com aspersão; (5) - não interfere nos tratos culturais; (6) - permite a utilização de água com sólidos em suspensão. As principais limitações são: (1) - dependência de condições topográficas; (2) - requer sistematização do terreno; (3) - o dimensionamento envolve ensaios de campo (4) - o manejo das irrigações é mais complexo; (5) - requer freqüentes reavaliações de campo para assegurar bom desempenho; (6) - se mal planejado e mal manejado, pode apresentar baixa eficiência de distribuição de água; (7) - desperta pequeno interesse comercial, em função de utilizar poucos equipamentos.

Foto: G. Bizzarri, FAO

Figura 8. Irrigação por superfície na cultura do milho.

Para a cultura do milho, o sistema de irrigação por superfície mais apropriado é o de sulcos, os quais são localizados entre as fileiras de plantas, podendo ser um sulco para cada fileira ou um sulco para duas fileiras (Figura 6). Nos terrenos com declividade de até 0,1%, os sulcos podem ser em nível ou com pequena declividade. Para declividades de até 15%, os sulcos podem ser construídos em contorno ou em declive, o que permite lances de sulcos com comprimento maior.

Fotos: Camilo L. T. Andrade

Figura 9. Áreas preparadas com sulcos e após plantio e irrigação, ambas sistematizadas com laser.

Irrigação por aspersão

No método da aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre a cultura na forma de chuva (Figura 7). As principais vantagens dos sistemas de irrigação por aspersão são: (1) - facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia; (2) - apresenta potencialmente maior eficiência de distribuição de água, quando comparado com o método de superfície; (3) - pode ser totalmente automatizado; (4) - pode ser transportado para outras áreas; (5) - as tubulações podem ser desmontadas e removidas da área, o que facilita o tráfego de máquinas. As principais limitações são: (1) - os custos de instalação e operação são mais elevados que os do método por superfície; (2) - pode sofrer influência das condições climáticas, como vento e umidade relativa; (3) - a irrigação com água salina, ou sujeita a precipitação de sedimentos, pode reduzir a vida útil do equipamento e causar danos a algumas culturas; (4) - pode favorecer o aparecimento de doenças em algumas culturas e interferir com tratamentos fitossanitários; (5) - pode favorecer a disseminação de doenças cujo veículo é a água.

Os sistemas mais usados de irrigação por aspersão são apresentados e discutidos a seguir.

Foto: Camilo L. T. Andrade

Figura 10. Irrigação por aspersão convencional em área experimental de milho.

(A) Aspersão Convencional

Podem ser fixos, semifixos ou portáteis. Nos sistemas fixos, tanto as linhas principais quanto as laterais permanecem na mesma posição durante a irrigação de toda a área. Em alguns sistemas fixos, as tubulações são permanentemente enterradas.

Nos sistemas semifixos, as linhas principais são fixas (geralmente enterradas) e as linhas laterais são movidas, de posição em posição, ao longo das linhas principais. Nos sistemas portáteis, tanto as linhas principais quanto as laterais são móveis (Figura 8).

Foto: Camilo L. T. Andrade

Figura 11. Sistema de aspersão portátil com laterais móveis.

Os sistemas semifixos e portáteis requerem mão-de-obra para mudança das linhas laterais. São recomendados para áreas pequenas, geralmente com disponibilidade de mão-de-obra familiar. Todavia, é possível utilizar minicanhões no lugar dos aspersores, o que permite a irrigação de áreas maiores, em condições de pouco vento e quando a uniformidade da irrigação não é crucial.

(B) Autopropelido

Um único canhão ou minicanhão é montado num carrinho, que se desloca longitudinalmente ao longo da área a ser irrigada. A conexão do carrinho aos hidrantes da linha principal é feita por mangueira flexível. A propulsão do carrinho é proporcionada pela própria pressão da água (Figura 9.

Foto: Camilo L. T. Andrade

Figura 12. Sistema de irrigação autopropelido.

É o sistema que mais consome energia e é bastante afetado por vento, podendo apresentar grande desuniformidade na distribuição da água. Produz gotas de água grandes que, em alguns casos, pode causar problemas de encrostamento da superfície do solo. Existe também o risco de as gotas grandes promoverem a queda de flores e pólen de algumas culturas. Presta-se para irrigação de áreas retangulares de até 70 ha , com culturas e situações que podem tolerar menor uniformidade da irrigação.

(C) Pivô Central

Consiste de uma única lateral, que gira em torno do centro de um círculo (pivô). Segmentos da linha lateral metálica são suportados por torres em formato de "A" e conectados entre si por juntas flexíveis. Um pequeno motor elétrico, colocado em cada torre, permite o acionamento independente dessas (Figura 10).

O suprimento de água é feito através do ponto pivô, requerendo que a água seja conduzida até o centro por adutora enterrada ou que a fonte de água esteja no centro da área. Pivôs podem ser empregados para irrigar áreas de até 117 ha. O ideal, todavia, é que a área não ultrapasse 50 a 70 ha , embora o custo por unidade de área tenda a reduzir à medida em que aumenta a área. Quanto a limitações de topografia, alguns autores afirmam que, para vãos entre torres de até 30 metros , declividades de até 30% na direção radial podem ser suportadas, enquanto outros autores indicam que essa declividade máxima só pode ser tolerada na direção.

Foto: Walfrido Machado Albernaz. Emater-MG

Figura 13. Sistema pivô central.

Tangencial (ao longo dos círculos). Pivôs centrais com laterais muito longas, quando não corretamente dimensionados em função da taxa de infiltração da água no solo, podem apresentar sérios problemas de erosão no final da lateral devido à alta taxa de aplicação de água necessária nessa área. Podem também apresentar problemas de "selamento" (impermeabilização) da superfície, em função da textura do solo. São sistemas que permitem alto grau de automação.

(D) Deslocamento linear

A lateral tem estrutura e mecanismo de deslocamento similar à do pivô central, mas desloca-se continuamente, em posição transversal e na direção longitudinal da área. Todas as torres deslocam-se com a mesma velocidade. O suprimento de água é feito através de canal ou linha principal, dispostos no centro ou na extremidade da área (Figura 11). A água é succionada diretamente do canal ou mangueiras são empregadas para conectar hidrantes da linha principal à linha lateral. A bomba desloca-se junto com toda a lateral, o que requer conexões elétricas mais complicadas ou a utilização de motores de combustão interna. É recomendado para áreas retangulares planas e sem obstrução.

Figura 14. Sistema de irrigação por deslocamento linear.
Fonte: FOCKINK.

(E) LEPA

São sistemas tipo pivô central ou deslocamento linear equipados com um mecanismo de aplicação de água mais eficiente. No LEPA ("low energy precision application"), as laterais são dotadas de muitos tubos de descida, onde são conectados bocais que operam com pressão muito baixa. A água é aplicada diretamente na superfície do solo, o que reduz as perdas por evaporação e evita o molhamento das plantas (Figura 12). O solo deve ter alta taxa de infiltração ou ser preparado com sulcos e microdepressões.

Figura 15. Sistema de irrigação do tipo LEPA.
Fonte: USDA-ARS.

Irrigação localizada

No método da irrigação localizada a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso ou "tripa") ou superficiais (microaspersores). A proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total, o que pode resultar em economia de água. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto, através de irrigações freqüentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição, como é o caso da produção de milho verde. O custo inicial é relativamente alto, tanto mais alto quanto menor for o espaçamento entre linhas laterais, sendo recomendado para situações especiais como pesquisa, produção de sementes e de milho verde. É um método que permite automação total, o que requer menor emprego de mão-de-obra na operação. Os principais sistemas de irrigação localizada são o gotejamento, a microaspersão e o gotejamento subsuperficial. A seguir, apresentam-se os sistemas mais usados.

(A) Gotejamento

No sistema de gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo (Figura 13). Os gotejadores podem ser instalados sobre a linha, na linha, numa extensão da linha, ou ser manufaturados junto com o tubo da linha lateral, formando o que popularmente denomina-se "tripa". A vazão dos gotejadores é inferior a 12 l/h.

A grande vantagem do sistema de gotejamento, quando comparado com o de aspersão, é que a água, aplicada na superfície do solo, não molha a folhagem ou o colmo das plantas. Comparado com o sistema subsuperficial, as vantagens são a facilidade de instalação, inspeção, limpeza e reposição, além da possibilidade de medição da vazão de emissores e avaliação da área molhada. As maiores desvantagens são os entupimentos, que requerem excelente filtragem da água e a interferência nas práticas culturais quando as laterais não são enterradas.

Foto: Camilo L. T. Andrade

Figura 16. Sistema de irrigação por gotejamento em área experimental de milho.

(B) Subsuperficial

Atualmente, as linhas laterais de gotejadores ou tubos porosos estão sendo enterrados, de forma a permitir a aplicação subsuperficial da água (Figura 14). A vantagem desse sistema é a remoção das linhas laterais da superfície do solo, o que facilita o tráfego e os tratos culturais, além de uma vida útil maior. A área molhada na superfície não existe ou é muito pequena, reduzindo ainda mais a evaporação direta da água do solo. As limitações desse sistema são as dificuldades de detecção de possíveis entupimentos ou reduções nas vazões dos emissores.

A instalação das laterais pode ser mecanizada, o que permite utilizar o sistema em grandes áreas.

Figura 17. Sistema de irrigação localizada subsuperficial instalado com detalhe do equipamento de instalação à direita.
Fonte: T-Tape, EUA Fonte: Plasto, Israel.

Subirrigação

Com a subirrigação, o lençol freático é mantido a uma certa profundidade, capaz de permitir um fluxo de água adequado à zona radicular da cultura. Geralmente, está associado a um sistema de drenagem subsuperficial. Havendo condições satisfatórias, pode-se constituir no método de menor custo. No Brasil, esse sistema de irrigação tem sido empregado com relativo sucesso no projeto do Formoso, estado de Tocantins.

Seleção do método de irrigação

O primeiro passo no processo de seleção do sistema de irrigação mais adequado para uma certa situação consiste em selecionar antes o método de irrigação. Vários fatores podem afetar a seleção do método de irrigação. Os principais são sumarizados na Tabela 2 e discutidos a seguir, juntamente com outros fatores importantes.

Tabela 2. Fatores que afetam a seleção do método de irrigação.

Método	Fatores			
	Declividade	Taxa de Infiltração	Sensibilidade da Cultura ao Molhamento	Efeito do Vento
Superfície	Área deve ser plana ou nivelada artificialmente a um limite de 1%. Maiores declividades podem ser empregadas tomando-se cuidados no dimensionamento.	Não recomendado para solos com taxa de infiltração acima de 60 mm/h ou com taxa de infiltração muito baixa	Adaptável à cultura do milho, especialmente o sistema de sulcos.	Não é problema para o sistema de sulcos.
Aspersão	Adaptável a diversas condições	Adaptável às mais diversas condições	Pode propiciar o desenvolvimento de doenças foliares	Pode afetar a uniformidade de distribuição e a eficiência
Localizada	Adaptável às mais diversas condições.	Todo tipo. Pode ser usado em casos extremos, como solos muito arenosos ou muito pesados.	Menor efeito de doenças que a aspersão. Permite umedecimento de apenas parte da área.	Nenhum efeito no caso de gotejamento
Subirrigação	Área deve ser plana ou nivelada.	O solo deve ter uma camada impermeável abaixo da zona das raízes, ou lençol freático alto que possa ser controlado.	Adaptável à cultura do milho desde que o solo não fique encharcado o tempo todo. Pode prejudicar a germinação.	Não tem efeito.

Fonte: Adaptado de Turner (1971) e Gurovich (1985).

Topografia

Se a área a ser irrigada é plana ou pode ser nivelada sem gasto excessivo, pode-se empregar qualquer um dos quatro métodos. Se a área não é plana, deve-se limitar ao uso de aspersão ou localizada, para as quais a taxa de aplicação de água pode ser ajustada para evitar erosão. O método de irrigação por superfície pode ser desenvolvido em áreas com declividades de até 15%. Aspersão pode ser empregada em áreas de até 30%, enquanto gotejamento pode ser implementado em áreas com declives de até 60%.

A presença de obstrução na área (rochas, voçorocas, construções) dificulta o emprego do método de superfície e subirrigação, mas pode ser contornada com os métodos de aspersão e, principalmente, com o método de irrigação localizada.

Áreas com formato e declividade irregulares são mais facilmente irrigáveis com métodos de aspersão e localizada do que com o método de superfície.

Solos

Solos com velocidade de infiltração básica maior que 60 mm/h devem ser irrigados por aspersão ou com irrigação localizada. Para velocidades de infiltração inferiores a 12 mm/h, em áreas inclinadas, o método mais adequado é o da irrigação localizada. Para valores intermediários de velocidade de infiltração, os quatro métodos podem ser empregados.

Nos casos em que os horizontes A e B são pouco espessos, deve-se evitar a sistematização (prática quase sempre necessária nos sistemas de irrigação por superfície), de forma a evitar a exposição de horizontes com baixa fertilidade. No caso de lençol freático alto, deve-se dar preferência a métodos de irrigação por superfície ou subirrigação. Entretanto, em solos com problemas potenciais de salinidade, deve-se evitar os métodos de superfície e subirrigação, dando-se preferência aos métodos de aspersão e localizada.

O emprego de irrigação por aspersão ou localizada em solos com reduzida capacidade de retenção de água, em geral, propicia melhor eficiência.

Cultura

No caso da cultura do milho, os sistemas mais apropriados são o de sulcos e subirrigação (muito pouco utilizados no Brasil), aspersão convencional, autopropelidos, pivô central (o mais empregado) e gotejamento (uso crescente entre as empresas de semente e produtores de milho verde).

Na escolha do sistema de irrigação para produção comercial de milho, os aspectos mais importantes a serem considerados são o retorno econômico e a questão fitossanitária. Deve-se observar também a rotação de culturas, de forma que o sistema de irrigação atenda a todas as culturas a serem cultivadas no sistema de produção. Para essa situação, o sistema mais flexível é o de aspersão convencional ou pivô central. Em cultivos de milho que podem proporcionar maior retorno econômico e em situações de escassez de água, pode-se empregar sistemas mais eficientes e mais caros, como o gotejamento.

Clima

A freqüência e a quantidade das precipitações que ocorrem durante o ciclo das culturas ditam a importância da irrigação para a produção agrícola. Nas regiões áridas e semi-áridas é praticamente impossível produzir sem irrigação. Todavia, em regiões mais úmidas, a irrigação pode ter caráter apenas complementar e os sistemas de menor custo, como subirrigação e sulcos, se atenderem a outros requisitos (descritos posteriormente), devem ser selecionados para esse caso.

Em condições de vento forte, a uniformidade de distribuição de água pode ser muito prejudicada no método da aspersão e, portanto, ele deve ser evitado. O sistema de irrigação por pivô central apresenta melhor desempenho, em condições de vento, que os sistemas autopropelidos e convencionais, particularmente quando utilizado o sistema LEPA. Praticamente não há efeito de vento em sistemas de irrigação localizada e subirrigação.

As perdas de água por evaporação direta do jato, nos sistemas de aspersão, podem chegar a 10%, sem considerar a evaporação da água da superfície das plantas.

Sistemas de aspersão podem ser empregados para proteção contra geadas. Entretanto, isso só é possível em sistemas de aspersão fixos, dimensionados para permitir que toda a área possa ser irrigada simultaneamente.

Disponibilidade e qualidade de água para irrigação

A vazão e o volume total de água disponível durante o ciclo da cultura são os dois parâmetros que devem inicialmente ser analisados para a determinação, não só do método mais adequado, mas também da possibilidade ou não de se irrigar, conforme foi discutido em tópico anterior. A vazão mínima da fonte deve ser igual ou superior à demanda de pico da cultura a ser irrigada, levando-se em consideração também a eficiência de aplicação de água do método. Pode-se considerar a construção de reservatórios de água, o que, todavia, onera o custo de instalação.

Sistemas de irrigação por superfície, em geral, requerem vazões maiores com menor freqüência. Sistemas de aspersão e localizada podem ser adaptados a fontes de água com vazões menores. Sistemas de irrigação por superfície são potencialmente menos eficientes (30-80%) quando comparados com sistemas de irrigação por aspersão (75-90%) e localizada (80-95%).

A altura de bombeamento da água, desde a fonte até a área a ser irrigada, deve ser considerada quando da seleção do método de irrigação. À medida em que essa altura aumenta, sistemas de irrigação mais eficientes devem ser recomendados, de forma a reduzir o consumo de energia.

Fontes de água com elevada concentração de sólidos em suspensão não são recomendadas para utilização com sistemas de gotejamento devido aos altos custos dos sistemas de filtragem. Todavia, tais impurezas não seriam problema para os métodos de irrigação por superfície.

A presença de patógenos nocivos à saúde humana pode determinar o método de irrigação de culturas consumidas in natura, como é o caso de hortaliças. Sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão não são adequados para esses casos. Todavia, gotejamento, sobretudo gotejamento enterrado, e métodos superficiais podem ser empregados.

Finalmente, deve-se considerar o custo da água na seleção do método. Quanto maior o custo da água, mais eficiente deve ser o método de irrigação. Vale aqui lembrar que o Brasil está atualmente implementando as outorgas de água, conseqüência da Lei 9433/97, que determina a cobrança pelo uso da água em todo o país.

Aspectos econômicos, sociais e ambientais

Parece óbvio que a meta principal da implementação de qualquer atividade agrícola, envolvendo irrigação, seja a obtenção do máximo retorno econômico. Todavia, os impactos nos aspectos sociais e ambientais do projeto não podem ser ignorados.

Cada sistema de irrigação potencial, adequado a uma certa situação, deve ser analisado em termos de eficiência econômica. Pode-se empregar a relação benefício-custo do projeto ou retorno-máximo para se determinar sua eficiência econômica. O projeto que apresentar melhor desempenho econômico deve, então, ser selecionado. A análise econômica de sistemas de irrigação é geralmente complexa, devido ao grande número de variáveis envolvidas. Deve-se empregar planilhas ou programas de computador para auxiliar nos cálculos. A descrição dessas ferramentas foge ao escopo deste trabalho.

Como regra geral, sistemas de irrigação de custo inicial elevado, como os de irrigação localizada, são recomendados para cultivos de maior valor, como sementes e milho verde. Os custos operacionais, principalmente energia, são geralmente maiores nos sistemas de irrigação por aspersão, intermediários nos de irrigação localizada e menores nos sistemas superficiais. Os custos de manutenção são geralmente elevados nos sistemas de irrigação por superfície, o que pode levar à frustração de muitos irrigantes.

Fatores como a geração de emprego, a produção local de alimentos e a utilização de equipamentos produzidos localmente devem também ser considerados na seleção dos métodos de irrigação. Se há incentivos governamentais para um ou mais desses fatores, deve-se levá-los em consideração

na análise econômica. Finalmente, os impactos ambientais de cada método, como erosão, degradação da qualidade da água e destruição de habitats naturais, devem ser considerados. Tais efeitos podem ser considerados na análise econômica, na forma de multas ou incentivos governamentais, ou analisados em termos de limites toleráveis.

Fatores humanos

Diversos fatores humanos, de difícil justificativa lógica, podem influenciar a escolha do método de irrigação. Hábitos, preferências, tradições, preconceitos e modismo são alguns elementos comportamentais que podem determinar a escolha final de um sistema de irrigação.

De forma geral, existe uma certa desconfiança entre os agricultores com relação à inovação tecnológica. Tecnologias já assimiladas são prioritariamente consideradas e suas inconveniências aceitas como inevitáveis, o que dificulta a introdução de sistemas de irrigação diferentes daqueles praticados na região.

O nível educacional dos irrigantes pode influir na seleção de sistemas de irrigação. A irrigação por superfície tem sido praticada com sucesso por agricultores mais tradicionais em diferentes regiões do mundo. Todavia, os sistemas de irrigação por superfície são pouco empregados no Brasil, à exceção da cultura do arroz no Sul. Sistemas de aspersão e localizada requerem algum tipo de treinamento dos agricultores.

Considerações finais

A seleção do sistema de irrigação mais adequado é o resultado do ajuste entre as condições existentes e os diversos sistemas de irrigação disponíveis, levando-se em consideração outros interesses envolvidos. Sistemas de irrigação adequadamente selecionados possibilitam a redução dos riscos do empreendimento, além de uma potencial melhoria da produtividade e da qualidade ambiental.

Quimigação

Introdução

A Quimigação consiste em aplicar uma solução, ou calda, de agroquímicos (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida ou nematicida) por meio do sistema de irrigação. Quando se trata de produtos que atuam no solo, a aplicação, em princípio, pode ser feita por meio de qualquer método de irrigação: gravitacional, aspersão ou localizado. Porém, a plicação de produtos com atividade foliar somente é viável nos sistemas de irrigação por aspersão: laterais portáteis (convencional), pivô central, rolão e outros.

Uma vez que a solução estará misturada à água de irrigação, a uniformidade de aplicação do agroquímico se confunde com a da aplicação da água e portanto é necessário que essa uniformidade seja elevada, para que se obtenha uma boa uniformidade de aplicação do produto. A quimigação é praticamente restrita aos métodos pressurizados (aspersão e irrigação localizada).

Os sistemas pressurizados vêm sendo cada vez mais utilizados nesse processo, devido ao movimento turbulento da água, que ajuda a manter o material químico uniformemente distribuído nas tubulações. Essa característica contribui na obtenção de boa uniformidade de aplicação. Esses sistemas podem ser usados para aplicar diversos produtos químicos, como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e até mesmo outros produtos não tradicionais, como bioinseticidas e vírus. A injeção é feita na tubulação principal ou lateral e o ponto de aplicação será o aspersor ou emissor. No caso da cultura do milho, pelas suas características de densidade de plantio, a irrigação localizada tem pouco uso comercial.

A injeção dos produtos pode ser efetuada utilizando-se diferentes métodos e equipamentos (Costa & Brito, 1994), porém, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimigação depende do cálculo correto de váriáveis como taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetada, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada na área irrigada, concentração do produto na água de irrigação, entre outros.

Além dos cálculos operacionais feitos corretamente, é necessário assegurar-se de que o sistema, tanto de irrigação quanto de injeção, está funcionando de acordo com os parâmetros para os quais está ajustado, ou seja, que a vazão calculada corresponde àquela efetiva no sistema, ou que a taxa de injeção desejada estará realmente ocorrendo no campo. Portanto, tão importante quanto os cálculos operacionais, é também proceder à calibração periódica dos equipamentos (Brito & Costa, 1998).

Informações preliminares sobre produtos

A quimigação requer que os produtos usados estejam em solução, ou que possam ser disponibilizados em forma líquida, ou fluida. Portanto, se os materiais usados não forem originalmente fluidos, é necessário preparar a solução desejada, antes de proceder à injeção. Para tanto, é importante conhecer algumas características dos produtos, como solubilidade, conteúdo do elemento ou princípio ativo desejado, densidade e/ou concentração e limite de tolerância pelas culturas, entre outros.

Aplicação via aspersão com laterais portáteis (Convencional)

A injeção de produtos químicos pode ser realizada utilizando vários métodos (Costa & Brito, 1994). Pelo fato de o sistema permanecer estacionário durante a aplicação de água, é comum a utilização de depósitos hermeticamente fechados, constituídos de fibra de vidro, ou de metal protegido contra a ação corrosiva dos agroquímicos. Nesse caso, o volume do depósito é função da área a ser irrigada, do método de injeção e das condições de suprimento de água.

A quantidade do produto a ser aplicada, por hectare, depende da dose recomendada e é determinada a partir das análises laboratoriais ou do receituário agronômico. A quantidade total do produto requerida pela cultura pode ser parcelada em diversas aplicações, conforme as exigências da mesma em cada estádio de desenvolvimento. O tipo e concentração da solução a ser aplicada depende das recomendções agronômicas estabelecidas para a cultura e do manejo a ser usado na aplicação.

A área a ser irrigada e o tempo requerido por cada posição da(s) linha(s) lateral(ais) são informações que devem estar disponíveis, para que se possa calcular as quantidades de produto/solução a injetar. O tempo é função da capacidade do sistema de irrigação, da capacidade de retenção de água no solo, do clima e da cultura.

Quantidade do produto injetada por lateral

A aplicação de agroquímicos, num sistema de aspersão com laterais portáteis, consiste de várias etapas, cujos cálculos são apresentados na sequência seguinte (Frizzone et al. 1985):

Quantidade de produto a ser injetada

Para calcular a quantidade de produto a ser injetada, pode-se usar a fórmula:

$$Q_i = \frac{E_a E_l N_a P_d}{10.000}$$ (eq. 1)

onde Q_i é a quantidade de produto, ou princípio ativo, a ser aplicada por linha lateral (kg); E_a é o espaçamento entre aspersores na linha lateral (m); E_l é o espaçamento entre laterais (m); N_a é o número de aspersores na linha lateral; P_d é a dose recomendada do produto ou princípio ativo (kg/ha).

Quantidade de produto sólido a ser colocada no tanque

Quando o produto, no seu estado original, é sólido, é necessário preparar a solução no tanque, podendo-se usar a equação:

$$Q_p = \frac{C_a Q V_a}{q_i P}$$ (eq. 2)

em que Q_p é quantidade de produto a ser colocada no tanque (g); C_a é a concentração desejada do elemento ou princípio ativo na solução na saída dos aspersores (g/m^3, mg/L ou ppm); Q é a vazão do sistema de irrigação (m^3/h); Va é a capacidade do tanque (m^3); q_i representa a taxa de injeção (m^3/h); P é a porcentagem do elemento no produto, expresso em valor decimal. Vale mencionar que a presença de Ca na fórmula deve-se ao fato de que alguns produtos, dependendo de sua concentração na água, podem produzir efeitos de queima ou toxidez na folhagem. Ao utilizar algum produto dessa natureza, deve-se verificar o limite recomendável de concentração.

Número necessário de tanques do produto (NT)

Para estabelecer o número de tanques que serão necessários para comportar a solução, ou calda, a ser injetada, faz-se o cálculo seguinte:

$$N_T = \frac{P_d A}{P Q_p}$$ (eq. 3)

onde Q_p representa a quantidade do produto (sólido) em cada tanque, que nesta fórmula é comumente usado em kilograma (kg), diferentemente da (eq. 2); A é a área irrigada, em cada posição da linha lateral (ha), e os outros termos já foram anteriormente definidos.

Exemplo 1: Pretende-se aplicar nitrogênio (N) numa área, utilizando-se uréia, com um sistema de irrigação com laterais portáteis (convencional), em que cada lateral é composta de 12 aspersores, com vazão individual de 3 m^3/hr, espaçamento igual entre linhas e entre aspersores, de 18 m. As seguintes informações são disponíveis:

- concentração desejada na água de irrigação, C_a = 250 ppm de N;
- capacidade de injeção da bomba, q_i = 0,50 m^3 /h;
- capacidade do tanque, V_a = 400 L (0,40 m^3);
- dose recomendada do nutriente (N), Pd = 50 kg/ha de N;

Calcular:

a. a quantidade de nutriente (N) a ser aplicado, por lateral;
b. a quantidade de fertilizante sólido (uréia), a ser colocada em cada tanque;
c. o número necessário de tanques, por aplicação.

Solução:

a. quantidade de N a ser injetada, em cada lateral.
   Usando a eq. 1, tem-se:
   $$Q_i = \frac{(18)(18)(12)(50)}{10.000} = 19{,}44 kg$$
   como a uréia tem 45% de N, esses 19,44 kg equivalem a 43,2 kg de uréia.
b. quantidade de fertilizante sólido (uréia), a ser colocada em cada tanque.
   Como cada lateral contém 12 aspersores, com vazão individual de 3 m^3/h, a vazão na lateral, Q, será de 36 m^3/h. A uréia contém 45% de N, ou 0,45. Usando a eq. 2, calcula-se:

$$Q_p = \frac{(250)(36)(0,4)}{(0,50)(0,45)} = 16.000g = 16kg$$

que é a quantidade de uréia sólida a ser colocada em cada tanque.
A solubilidade da uréia é de 120 kg/100L. Como o tanque tem capacidade de 400 litros, para diluir 16 kg de uréia, isso equivale a uma solubiidade de 4 kg/100L, bastante inferior à da uréia. Portanto, o produto será facilmente diluído.

c. Número necessário de tanques (NT).
A área irrigada a cada posição da lateral, considerando o espaçamento de 18 x 18 m, será de 12 x 324 m^2 = 3.888 m^2, ou aproximadamente 0,39 ha. Usando a eq. 3, obtém-se:

$$N_t = \frac{(50)(0,39)}{(0,45)(16)} \cong 2,7$$

Portanto, serão necessários 3 tanques. Multiplicando-se o número de tanques pela quantidade de uréia a ser colocada em cada um (3 x 16), obtém-se o total de 48 kg, portanto superior ao valor encontrado no final do item (a) do exemplo, 43,2 kg, devendo-se a diferença a erros de arredondamento. Nesse caso pode-se ajustar a quantidade do produto a ser colocada em cada tanque para 43,2/3 = 14,4 kg.

Aplicação via pivô central

O sistema pivô central tem sido amplamente usado para quimigação, graças à sua facilidade de automação e possibilidades de aplicação eficiente da água. O comprimento da lateral do sistema é bastante variado, dependendo da necessidade do produtor, das características topográficas e das dimensões da área a ser irrigada, variando de 60m até aproximadamente 650m, correspondendo a uma área irrigada de 1,31 a 133ha, respectivamente. Os métodos de injeção empregados normalmente utilizam as bombas de deslocamento positivo, que se caracterizam por baixas vazões e altas pressões, ideais para aplicação de produtos químicos via pivô central.

Cálculo da taxa de injeção

A taxa de injeção de produtos químicos via pivô central deve ser constante durante a aplicação de uma determinada dose na área irrigada. Esta condição é necessária porque o equipamento opera com um deslocamento contínuo e uniforme para aplicação da lâmina de água requerida.

A taxa de injeção de determinado produto químico depende da dose do produto a ser distribuída na área, da velocidade de deslocamento do equipamento, da área irrigada e da concentração do produto no tanque de injeção. Estas variáveis estão todas relacionadas e a taxa de injeção pode ser calculada pela equação:

$$q_i = \frac{P_d r^2 v_t V_a}{20.000 r_t Q_p}$$ (eq. 4)

onde q_i é a taxa de injeção (L/min); P_d é a dose do produto na área irrigada (kg ou L/ha); vt é velocidade do pivô na última torre (m/min); r_t é a distância do ponto do pivô até a última torre (m); r é o raio irrigado do pivô central; Q_p é a quantidade do produto no tanque de injeção (kg ou L); e V_a é o volume de água no tanque em que o produto é diluído (L). Na constante 20.000 está embutida a unidade m^2/ha. Na prática, geralmente, a taxa de injeção é pré-fixada, calculando-se a quantidade do produto a ser diluída em um determinado volume de água.

Dependendo da concentração da solução injetada, de sua taxa de injeção e da vazão do sistema de irrigação, poderão surgir efeitos indesejáveis, como precipitação de sais da água, corrosão dos materiais componentes do equipamento, toxicidade das plantas ou contaminação do ambiente. Por isso, considera-se muito importante obter a concentração final do produto injetado na água de irrigação e avaliar as possibilidades de dano ao equipamento de irrigação e ao sistema de produção utilizado. O cálculo da concentração do produto na água de irrigação, C_a (mg/L), pode ser realizado utilizando a seguinte expressão:

$$C_a = \frac{q_i\left(\frac{Q_p}{V_a}\right)}{60Q} 10^6$$ (eq. 5)

onde Q representa a vazão do sistema de irrigação (L/s).

Quando o sistema não dispõe de um medidor de vazão, recomenda-se estimar seu valor a partir de informações sobre a lâmina média aplicada e a uniformidade de distribuição de água do equipamento, utlizando a seguinte fórmula:

$$Q = 3,636(10)^{-5} \frac{r^2 L_i}{U_i}$$ (eq. 6)

onde L_i é a lâmina média aplicada (mm/d); e U_i representa o índice de uniformidade adotado, expresso em forma decimal;
O número de tanques a serem utilizados na aplicação depende do tamanho do pivô, da capacidade do reservatório de injeção utilizado, da velocidade de deslocamento do equipamento e da taxa de injeção empregada. Pode ser calculado da seguinte forma:

$$N_T = \frac{2\pi r_t q_i}{v_t V_a}$$ (eq. 7)

em que NT representa o número de tanques necessários para a aplicação em um círculo completo; as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

Exemplo 2: Deseja-se aplicar uma dose de 20 kg/ha de uréia, através de um pivô central com raio irrigado de 400 m. O equipamento irá deslocar-se numa velocidade de 2,5 m/min, na última torre, que se encontra a 385 m do ponto pivô. Pretende-se dissolver 360 kg do fertilizante, de uma só vez, em 800 L de água no tanque de injeção.

Pede-se determinar:

a. a taxa de injeção necessária para aplicar uréia uniformemente;
b. a concentração do produto na água de irrigação, sabendo que a vazão no sistema de irrigação é de 47,5 L/s;
c. o volume total de solução necessário para aplicação da dose requerida em toda a área desse pivô central.

Solução:

Sendo o raio irrigado de 400m, a área total é p $(400)^2$ = 502.654 m^2, ou 50 ha. Com a dose de 20 kg/ha, isso representa um total de 1000 kg de uréia a serem aplicados.

a. Taxa de injeção:
Usando a eq. 4
$$q_i = \frac{(20)(400)^2(2,5)(800)}{20.000(385)(360)} = 2,31 L/\min$$

b. Concentração do produto na água de irrigação:
Aplicando o valor obtido acima na eq. 5
$$C_a = \frac{(2,31)(\frac{360}{800})}{60(47,5)} 10^6 \cong 365 mg/L$$
Se fosse o caso de produto com maior nível de toxidez, este valor de concentração deverá ser comparado ao limite tolerável pela cultura.

c. Volume total de solução:
Redistribuindo os termos da eq. 7

$$\text{Volume total} = N_T V_a = \frac{2\pi r_t q_i}{v_t} = \frac{2\pi(385)(2,31)}{(2,5)} = 2.234L$$

o que equivale aproximadamente a 2,8 tanques de 800 L, ou seja, serão usados 3 tanques. Ajustando-se os 1000 kg de uréia para 3 tanques, deverão ser diluídos 333 kg de uréia por tanque.

O equipamento de pivô central deve estar bem ajustado para promover uma aplicação eficiente. Em geral, equipamentos com uniformidade de distribuição acima de 85% são considerados adequados para a quimigação.

Calibração

Na produção agrícola são usados diferentes tipos de equipamentos e técnicas de medição. Uma vez tomada a decisão de "quimigar", deve-se ter em mente que uma calibração bem feita é essencial para a segurança do operador, segurança ambiental e para a economia do empreendimento. Erros de calibração podem resultar no desperdício de grandes somas em químicos, além do risco de contaminação que isso representa.

Para que a uniformidade de distribuição dos produtos químicos seja efetiva na área irrigada, ela deve ser similar à uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação. O processo de calibração dos sistemas envolvidos na quimigação deve ser iniciado com a checagem do coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação empregado. Após esse procedimento, pode-se iniciar a calibração dos equipamentos de injeção dos produtos químicos e do sistema de irrigação.

O sistema de injeção é o equipamento usado para adicionar o produto à água de irrigação. As peças individuais incluem: bomba injetora, tubo de calibração, tanque-depósito com agitador e as conexões e tubulações associadas. Conforme sugestões da Universidade de Nebraska (1996), para segurança e precisão na aplicação, deve-se ter sistemas diferentes de injeção para pesticidas e fertilizantes. Os sistemas são semelhantes, mas as capacidades são diferentes. Pesticidas geralmente são aplicados com bombas de diafragma de baixo volume, que podem ser ajustadas durante o bombeamento, portanto agilizando o processo de calibração. Os tanques normalmente tem a capacidade de 200 a 400 L. A taxa de injeção de pesticidas, em média, está em torno de 30 a 200 mL/min. Portanto, um tubo de calibração de 1000 mL é adequado. Em contraste, os fertilizantes são aplicados em quantidades relativamente grandes, e tanques com capacidade de até 4000 L são comuns.

Geralmente os equipamentos vêm com recomendações dos fabricantes, com o objetivo de diminuir a margem de erros durante o processo de injeção. Entretanto, as possibilidades de aplicação de produtos químicos são muito variadas, em função das características dos produtos e dos sistemas de irrigação. Por isso, é de bom senso que, junto com as informações dos fabricantes, haja monitoramento dos sistemas de injeção, em intervalos regulares ou no começo de cada operação, com o objetivo de assegurar a aplicação uniforme e segura do produto.

A calibração dos equipamentos de injeção é relativamente simples e direta, se um mínimo de material é colocado à disposição para esse procedimento. Nesse material, incluem-se basicamente um cilindro graduado com capacidade de até 20 litros, para coletar o efluente do sistema de injeção, um hidrômetro e um cronômetro.

Os passos requeridos para uma calibração acurada são (Universidade de Nebraska, 1996):

- determinação da área a ser tratada;cálculo da quantidade de químico necessária;determinação do tempo de aplicação (ou de revolução, no caso de pivô central);cálculo da taxa de injeção;
- conversão da taxa de injeção para as unidades do tubo de calibração.

A calibração é conduzida pelo ajuste da taxa de injeção de produto da bomba injetora, para injetar a quantidade correta do produto. Pequenos erros na entrada de produtos podem causar taxas mais altas ou mais baixas de aplicação e pode-se obter resultados insatisfatórios.

Dentre os vários tipos de equipamento de injeção, os sistemas baseados no venturi e as bombas injetoras de pistão e diafragma são os mais usados na injeção de fertilizantes nitrogenados (Moreira & Stone, 1994). O processo de calibração, quando se usa venturi, é feito determinando-se a vazão derivada, que é uma parte da vazão total que passa pelo tanque de solução. A determinação dessa vazão é feita instalando-se um hidrômetro na mangueira entre o ponto de tomada de água na tubulação de irrigação e o tanque de solução. Após a determinação da vazão derivada, é feita a calibração, isto é, a vazão derivada é ajustada à taxa de aplicação do produto determinada antecipadamente.

Por exemplo, deseja-se aplicar uma solução de agroquímico a uma taxa de 20 L em 10 minutos. Com o sistema em funcionamento e o tanque com água, mede-se o tempo gasto para passar os 20 litros pelo hidrômetro; se o tempo for menor que os 10 minutos necessários, é sinal de que o registro está muito aberto e deve ser fechado um pouco. Se maior, está muito fechado e deve ser aberto um pouco mais. Este procedimento deve ser repetido até obter a vazão desejada de 20 litros em 10 minutos. Na ausência de um hidrômetro, pode-se utilizar o cilindro graduado e coletar a vazão derivada em um tempo preestabelecido, ou determinar o tempo de uma vazão preestabelecida. Em ambos os casos, deve-se utilizar a unidade de litros por minuto (L/min) (Moreira & Stone, 1994).

As bombas injetoras de pistão são bastante apropriadas para a injeção de fertilizantes nitrogenados. Nesse equipamento, a taxa de injeção do produto químico é determinada pelo número de golpes dados por um pistão de determinado comprimento e diâmetro. Normalmente, a relação taxa de injeção por número de golpes é fornecida pelo fabricante através de catálogos, o que não deve impedir que se faça uma nova calibração a cada aplicação, uma vez que os valores dessa relação estão sujeitos a variações resultantes de alterações na pressão diferencial a que o injetor é submetido.

O procedimento de calibração é o seguinte (Moreira & Stone, 1994): com a bomba instalada e o sistema de irrigação em funcionamento, abre-se lentamente o registro de entrada de água localizado na parte inferior da bomba. A bomba imediatamente entra em funcionamento. Ligado à bomba, um contador registra o número de golpes do pistão. A cada movimento do pistão, a bomba injeta determinada vazão, que deve ser medida por meio de um cilindro graduado. Como a quantidade de produto por área é calculada antecipadamente, ajusta-se o funcionamento da bomba injetora a esses valores. Isto é feito mediante a abertura do registro de água, que regula a freqüência dos golpes, que normalmente são de um a doze por minuto, o que corresponde a aproximadamente a 30 a 360 L/h de solução.

Em seguida, são apresentados procedimentos de calibração para sistemas de irrigação por laterais portáteis, pivô central e gotejamento, extraidos de Moreira & Stone (1994).

Sistema de aspersão por laterais portáteis (convencional)

(a). Determinar a área irrigada por uma linha lateral. Multiplicar o espaçamento entre laterais ao longo da linha principal pelo comprimento da lateral. Se mais de uma linha lateral funciona simultaneamente, multiplicar também pelo número de laterais.

Exemplo:

6 laterais com 240 m de comprimento cada, espaçadas entre si de 6 m. (240m x 6m x 6) / (10.000m2/ha) = 0,86 ha.

$$A = \frac{\pi r^2}{10000}$$

(b). Determinar a quantidade necessária do produto químico por hectare (especificação do produto).

Exemplo:

Dose de 4 L/ha.

(c). Determinar a quantidade total de produto químico necessária, multiplicando-se a área irrigada pela quantidade do produto por hectare: 0,86 ha x 4 L/ha = 3,44 L do produto.

(d). Determinar a quantidade de água a ser aplicada durante a irrigação de uma lateral (calculada na elaboração do projeto de irrigação).

Exemplo:

28 mm de água devem ser aplicados na irrigação de uma lateral.

(e). Determinar a taxa de aplicação de água do sistema de irrigação (obtida de tabelas, em função das características do aspersor em uso).

Exemplo:

De acordo com a tabela de aspersores, a taxa de aplicação de água será de 7mm/h.

(f). Determinar o tempo de irrigação, dividindo-se a quantidade de água a ser aplicada (item 4) pela taxa de aplicação de água (item 5): (28 mm) / (7mm/h) = 4 h de irrigação.

Recomenda-se que alguns produtos, como herbicidas, sejam aplicados durante a primeira metade do tempo de irrigação, ou durante as primeiras duas horas.

(g). Encher parcialmente o tanque de solução com água, deixando espaço suficiente para a adição do produto químico. Acionar o agitador do tanque e adicionar o produto.

Exemplo:

Para um tanque de 50 L, adicionar aproximadamente 46,5 L de água, ligar o agitador e adicionar os 3,44 L do produto para completar o volume total.

(h). Determinar a taxa de injeção, dividindo o total de litros no tanque (item 7) pelo tempo, em horas, requerido para aplicar o produto (item 6):
50 L/2 h = 25 L/h.

(i). Ajustar a taxa de injeção da bomba para 25 L/h, para assegurar a aplicação correta do produto químico.

(j). Se a solução for aplicada no final do tempo de irrigação, deixar o sistema de irrigação em funcionamento por tempo suficiente, após o término da injeção, para assegurar que a solução foi completamente removida do sistema.

Pivô central

(a). Determinar a área irrigada pelo pivô central. O cálculo é:
onde A é área irrigada (ha) e r é o raio máximo molhado (m).

Exemplo:

Se r = 280 m

$$\text{Área} = \pi \frac{(280x280)}{10000} \cong 24{,}6 \text{ ha}$$

(b). Determinar a quantidade total de produto químico a ser aplicado, multiplicando-se a área irrigada pela quantidade de produto por hectare.

Exemplo:

Supondo-se uma dose recomendada para o produto de 3 L/ha, tem-se:
Volume = 24,6 ha x 3 L/ha = 73,8 L do produto, a serem injetados.

(c). Encher parcialmente o tanque de solução com água e deixar espaço suficiente para a adição do produto químico. Acionar o agitador do tanque e adicionar o produto.

Exemplo:

Num tanque de 200 L, adicionar aproximadamente 126 L de água, ligar o agitador e adicionar os 73,8 L do produto, para completar o volume total.

(d). Determinar a velocidade de deslocamento do pivô central. A velocidade rotacional do pivô é dada geralmente em metros por minuto.

Exemplo:

Distância percorrida em 10 minutos = 200 metros.

$$\text{Velocidade} = \frac{200}{10} = 2 \text{m/min}$$

(e). Determinar o tempo de uma revolução completa do pivô central. A circunferência e a velocidade rotacional do pivô são necessárias nesse cálculo. A circunferência (C) é calculada pela fórmula:

$$C = 2.\pi.r$$

onde r é o raio medido do centro até a ultima torre do pivô (m).

Exemplo:

Raio do pivô = 250 metros

$$C = 2 \times \pi \times 250 = 1.570,8 \text{ m}$$

O tempo de revolução é calculado dividindo-se a circunferência pela velocidade de deslocamento do pivô:

$$\frac{1570,8m}{2m/min} = 785,4 \text{ min} = 13,1 \text{ h por revolução}$$

(f). Determinar a taxa de aplicação/injeção do produto, que é obtida dividindo-se a quantidade de solução necessária para a quimigação (item 3) pelo tempo de revolução do pivô (item 5):

$$\text{Taxa de aplicação/injeção} = 200 \text{ L de solução/ } 13,1 \text{ h} \approx 15,3 \text{ L/h}$$

(g). Ajustar a taxa de injeção da bomba injetora para 15,3 L/h, para assegurar a correta aplicação do produto.

(h). Deixar o pivô central em operação por tempo suficiente (normalmente em torno de 5 minutos) após o término da injeção, para assegurar que a solução foi completamente removida do sistema de irrigação.

Autores deste tópico: Camilo de Lelis Teixeira de Andrade,Paulo Emilio Pereira de Albuquerque,Ricardo A. L. Brito

Expediente

Embrapa Milho e Sorgo

Comitê de publicações

Sidney Netto Parentoni
Presidente

Elena Charlotte Landau
Secretário executivo

Flávia Cristina dos Santos
Guilherme Ferreira Viana
Eliane Aparecida Gomes
Flávio Tardin
Paulo Afonso Viana
Rosangela Lacerda de Castro
Membros

Corpo editorial

Israel Alexandre Pereira Filho
Editor(es) técnico(s)

Antonio Claudio da Silva Barros
Guilherme Ferreira Viana
Revisor(es) de texto

Rosangela Lacerda de Castro
Normalização bibliográfica

Enilda Alves Coelho
Arnaldo Macedo Pontes
Editoração eletrônica

Embrapa Informação Tecnológica

Selma Lúcia Lira Beltrão
Rúbia Maria Pereira
Coordenação editorial

Corpo técnico

Cláudia Brandão Mattos (Auditora)
Karla Ignês Corvino Silva (Analista de Sistemas)
Talita Ferreira (Analista de Sistemas)
Supervisão editorial

Cláudia Brandão Mattos
Mateus Albuquerque Rocha (SEA Tecnologia)
Projeto gráfico

Embrapa Informática Agropecuária

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Silvia Maria Fonseca Silveira Massruha
Coordenação técnica

Corpo técnico

Leandro Henrique Mendonça de Oliveira (Suporte operacional)
Publicação eletrônica

Dácio Miranda Ferreira (Infraestrutura de servidor)
Suporte computacional

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
Todos os direitos reservados, conforme Lei nº 9.610

Embrapa Informação Tecnológica
Fone: (61) 3448-4162 / 3448-4155 Fax: (61) 3272-4168