

Brasília, DF
Junho, 2017

Autores

Waldir Aparecido Marouelli
Engenheiro agrícola,
doutor em Engenharia
Agrícola e Biosistemas,
pesquisador da Embrapa
Hortaliças, Brasília, DF

**Raphael Augusto de
Castro e Melo**
Engenheiro-agrônomo,
mestre Produção Vegetal,
pesquisador da Embrapa
Hortaliças, Brasília, DF

Marcos Brandão Braga
Engenheiro-agrônomo,
doutor em Irrigação e
Drenagem, pesquisador
da Embrapa Hortaliças,
Brasília, DF

Irrigação no cultivo de brássicas

Foto: Waldir Aparecido Marouelli



Foto: Waldir Aparecido Marouelli



Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Foto: Steven Terry Koike



Introdução

A família Brassicaceae compreende numerosas espécies de plantas de variados usos para o homem, seja como alimentos frescos e industrializados ou como plantas forrageiras, medicinais e ornamentais. Entre as espécies hortícolas pertencentes à família destacam-se o agrião (*Rorippa nasturtium-aquaticum*), o brócolos (*Brassica olearaceae* var. *italica*), a couve (*Brassica olearaceae* var. *acephala*), a couve-chinesa (*Brassica rapa*), a couve-de-bruxelas (*Brassica olearaceae* var. *gemmifera*), a couve-flor (*Brassica olearaceae* var. *botrytis*), a mostarda (*Brassica juncea*), o nabo (*Brassica napus*), o rabanete (*Raphanus sativus*), o repolho (*Brassica olearaceae* var. *capitata*) e a rúcula (*Eruca sativa*).

Por serem sensíveis ao déficit hídrico e apresentarem sistema radicular superficial, hortaliças pertencentes à família das brássicas raramente podem ser cultivadas com sucesso sem o uso da irrigação. Plantas que murcham esporadicamente têm redução de produtividade, enquanto aquelas que murcham frequentemente, sobretudo por longos períodos, podem ter a produção comprometida. Além de retardar o crescimento, reduzir a produtividade e prejudicar a qualidade, plantas submetidas à déficits hídricos são mais suscetíveis, por exemplo, ao ataque de insetos praga, especialmente de pulgões.

Os sistemas de irrigação por aspersão são os mais utilizados na produção de brássicas. Em menor escala são adotados os sistemas por gotejamento e por sulco. Independente daquele empregado, o sistema deve ter eficiência minimamente aceitável para garantir que a água seja fornecida às plantas

de forma uniforme, condição fundamental para a obtenção de altas produtividades. Além de suprir água, a irrigação pode ser usada para o fornecimento de nutrientes às plantas e, no caso da aspersão, para proteção contra geada.

Com exceção do agrião, as brássicas também não toleram excesso de umidade. Além do maior gasto de energia para o seu bombeamento, a aplicação de água em demasia prejudica a aeração do solo e a respiração das raízes, predispõe maior ocorrência de doenças e acarreta perda de nutrientes do solo. Já o molhamento frequente da folhagem pela água de irrigação favorece aumento de doenças de parte aérea, tais como a podridão negra (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) e a podridão mole (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*).

Sendo as brássicas sensíveis tanto à falta quanto ao excesso de água, as regas devem ser realizadas visando a manter o solo com umidade adequada, mas sem que fique encharcado. Apesar de ser uma prática usual na produção de brássicas, as irrigações são comumente realizadas de forma inadequada, geralmente em excesso.

Respostas para questões sobre quando e quanto irrigar requerem um mínimo de conhecimento técnico por parte do irrigante, pois dependem de vários fatores, como da espécie cultivada, da fase da cultura, do tipo de solo, das condições climáticas e do sistema de irrigação.

Nesta circular técnica são apresentadas recomendações e informações atualizadas que possibilitam aos usuários estabelecerem estratégias mais eficazes para a irrigação das principais hortaliças pertencentes à família das brássicas.

Sistemas de irrigação

O cultivo de brássicas no Brasil é realizado tradicionalmente com o uso da irrigação por aspersão. O sistema por gotejamento, apesar de apresentar vantagens importantes em relação à aspersão, é ainda pouco adotado. Bastante comum em outros países, como nos Estados Unidos e na Índia, o sistema por sulco é usado no Brasil apenas por alguns poucos produtores familiares. No caso específico do agrião, pode-se usar o sistema por inundação.

Vantagens e desvantagens, incluindo aspectos técnicos e socioeconômicos, devem ser consideradas na seleção do sistema mais adequado para cada condição específica. O melhor rendimento da cultura, qualquer que seja o sistema, somente será alcançado quando as regas forem realizadas de forma uniforme e precisa. Sistemas com problemas de dimensionamento e de manutenção distribuem água de forma desigual na lavoura, prejudicando o desenvolvimento de plantas e a produção.

Para informações sobre procedimentos para a seleção técnica e econômica de sistemas de irrigação consultar Marouelli e Silva (2011).

Sistemas por aspersão

Os sistemas por aspersão convencional (Figura 1), que podem ser subdivididos em portátil, semi-portátil e fixo, são destacadamente os mais empregados na irrigação de brássicas, o que se deve à maior praticidade e flexibilidade de uso, especialmente em pequenas áreas de produção. Sistemas por aspersão do tipo autopropelido e, principalmente, pivô central são indicados para a irrigação de grandes áreas.

No sistema convencional portátil, todos os componentes são deslocados manualmente na área a ser irrigada. Isso reduz o custo do sistema, mas prejudica a qualidade da irrigação e exige mais mão de obra, além de aumentar o pisoteio na área e danos às plantas. O sistema fixo, onde nenhum dos componentes necessita ser movido durante o ciclo de cultivo, é o que apresenta maior eficiência



Figura 1. Sistema de irrigação por aspersão convencional em lavoura de brócolos.

e menor demanda de mão de obra, mas tem maior custo de implantação. No sistema semi-portátil, parte das tubulações e/ou os aspersores são movidos manualmente a cada irrigação.

Aspersores rotativos de tamanho pequeno e médio, com raio de alcance de até 25 m, geralmente espaçados de 6 m x 6 m até 18 m x 24 m, são os mais empregados. O uso de espaçamento adequado entre os aspersores é básico para que o sistema aplique água com distribuição aceitável. Para condições de vento leve a moderado (1 m s^{-1} a 4 m s^{-1}), o espaçamento deve ser igual a ao raio de alcance do aspersor, ou seja, um aspersor deve jogar água no “pé” dos aspersores adjacentes. Microaspersores e mangueiras micro perfuradas, quando espaçados para molhar toda a superfície do terreno, também se enquadram como aspersão convencional.

Para evitar que o jato de água atinja as plantas, o que prejudica a distribuição de água no terreno e a produção das plantas, os aspersores devem ser instalados acima do dossel da cultura. Outro aspecto importante no dimensionamento e no manejo do sistema de irrigação é que a intensidade de aplicação de água do sistema seja menor que a velocidade de infiltração básica de água no solo, a fim de se evitar o encharcamento do solo, perdas de água e de nutrientes por escoamento superficial e erosão do solo.

No Brasil, o sistema pivô central tem sido usado com sucesso na cultura do repolho (Figura 2) em regiões de relevo plano e microclimas de altitude.

A excelente uniformidade de distribuição de água do pivô central permite a obtenção de altas produtividades, enquanto a diminuta exigência de mão de obra para a operação e manutenção do sistema reduz os custos de irrigação.

Por irrigar áreas circulares, o custo de aquisição do pivô central aumenta com a redução da área irrigada – o custo, por unidade de área, de um pivô de 10 ha pode ser o dobro de um pivô de 100 ha. Assim, a viabilidade econômica de se produzir repolho ou outras brássicas utilizando pivô central em áreas pequenas é menor do que em grandes áreas. Destaca-se, no entanto, que o manejo do sistema é facilitado quanto menor o tamanho do pivô. Dessa forma e considerando que as brássicas requerem regas frequentes, sugere-se não usar pivôs centrais maiores do que 60 ha.

A principal vantagem da aspersão, relativamente ao sistema por sulco, é o fato de poderem ser utilizados nos mais diversos tipos de solo e topografia e demandar menos mão de obra. Relativos ao gotejamento apresentam menor custo de aquisição e de manutenção. No caso dos sistemas pivô central e convencional fixo, a exigência de mão de obra é menor que no gotejamento.

Uma das principais desvantagens da aspersão é o fato da água aspergida sobre as plantas favorecer maior ocorrência de doenças de parte aérea, sobretudo em condições de alta umidade relativa do ar e formação de orvalho. Fungos e bactérias necessitam, em geral, de água livre na superfície vegetal para iniciar o processo infeccioso, sendo o tempo de molhamento foliar aspecto decisivo no estabelecimento da doença. Assim, as irrigações devem ser realizadas no horário em que a secagem das folhas e hastes é mais rápida – geralmente das 10h às 15h. Em condições de orvalho, deve-se irrigar, quando possível, no instante em que as plantas se encontram molhadas a fim de não se aumentar o tempo de molhamento. Adicionalmente, o intervalo entre regas deverá ser o mais espaçado possível.

O uso da aspersão, por outro lado, minimiza a ocorrência e os danos causados por insetos-pragas, tais como o pulgão da couve (*Brevicoryne brassicae*), o pulgão verde [*Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae)], a lagarta da couve [*Ascia monuste orseis* (Lepidoptera: Noctuidae)] e a

Foto: Raphael Augusto de Carvalho e Melo



Figura 2. Sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central em lavoura de repolho.

lagarta falsa medideira [*Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae)]. A ação mecânica das gotas de água aplicadas sobre as plantas, sobretudo aquelas de maior diâmetro geradas por aspersores rotativos de impacto, possibilita a remoção parcial de ovos e pequenas larvas de insetos, além de desfavorecer a movimentação de alguns tipos de insetos adultos entre plantas.

A irrigação por aspersão pode também diminuir a efetividade de produtos aplicados às folhas para a proteção das plantas. Para minimizar a remoção de produtos, tais como fungicidas e inseticidas, devem ser criadas “janelas” sem irrigação para a realização das pulverizações. Após a pulverização, deve-se esperar pelo menos 1 a 2 dias para se irrigar.

Sistema por gotejamento

Apesar de possibilitar altas produtividades com menor uso de água, o sistema por gotejamento (Figura 3) é ainda pouco utilizado no Brasil na irrigação de brássicas. Por ser mais eficiente no uso da água e aplicá-la de forma localizada junto às raízes das plantas, o sistema por gotejamento é, no

entanto, particularmente indicado para regiões com baixa disponibilidade hídrica ou quando do uso de cobertura do solo com filmes plásticos.

Dentre as dificuldades que limitam o uso do gotejamento por produtores de brássicas destacam-se o alto custo de implantação e de manutenção do sistema e a grande demanda de mão de obra para instalação, retirada do campo e armazenamento do sistema a cada safra. Ademais, a falta de mão de obra especializada para operação e manutenção acarreta perda de eficiência e menor vida útil do sistema. Outros aspectos também contribuem para o menor uso do gotejamento, como o fato das brássicas, comparativamente as solanáceas, serem menos suscetíveis a doenças de parte aérea favorecidas pelo molhamento foliar e o fato do espaçamento entre fileiras de plantas ser relativamente reduzido – 45 cm a 90 cm, podendo chegar a 20 cm no caso da rúcula –, o que aumenta o custo para a instalação do sistema.

No caso de o produtor optar pelo uso do gotejamento, é fundamental que parte dos fertilizantes seja aplicada via água de irrigação. Irrigar por gotejamento sem o uso da fertirrigação geralmente não propicia ganhos econômicos compensadores.

Quando devidamente instalado e manejado, o sistema por gotejamento proporciona alta eficiência. A economia de água e de energia, relativo à aspersão e ao sulco, pode superar 20% e 70%, respectivamente. Outra vantagem do gotejamento é não molhar as plantas e, conseqüentemente, reduzir a ocorrência de doenças de parte aérea. Pode favorecer, no entanto, algumas doenças de solo, resultante da área de saturação temporária criada abaixo dos gotejadores, junto à região de maior concentração de raízes, e maior incidência de insetos-praga, como de pulgões, pelo fato de não “lavar” as plantas.

De um modo geral, é necessária a instalação de uma linha lateral de gotejadores por fileira de plantas. Em solos onde há formação de faixas de molhamento maior que o espaçamento entre fileiras de plantas, pode ser viável a instalação de apenas uma linha de gotejadores entre fileiras duplas de plantas. O uso de fileiras duplas, independente do sistema de irrigação, e o menor espaçamento entre plantas beneficia, por exemplo, a produção de couve-flor



Figura 3. Sistema de irrigação por gotejamento em cultivo protegido de rúcula.

e brócolos para a indústria de congelamento. Para espécies com espaçamento entre fileiras de plantas reduzido, a exemplo da rúcula, o uso de uma linha de gotejadores para cada duas fileiras de plantas é geralmente satisfatório.

O espaçamento entre gotejadores ao longo do tubo gotejador deve permitir a formação de uma faixa contínua e uniforme de molhamento do solo. Isso é alcançado espaçando-se os gotejadores de 50% a 70% do diâmetro do bulbo molhado. O espaçamento recomendado, para a maioria das condições de cultivo, varia de 15 cm a 40 cm, sendo o menor valor para solos mais arenosos ou que formam bulbos reduzidos.

A cobertura do solo com plástico não transparente (*mulching*) é uma prática comumente adotada por produtores que utilizam gotejamento (Figura 4), pois possibilita maior conservação de água no solo e menor incidência de plantas daninhas. Seu uso

reduz a necessidade de irrigação em até 30%, devido basicamente à menor perda de água por evaporação. Por conservar mais água no solo e aumentar a temperatura na camada superficial do solo, o uso de *mulching* plástico pode, no entanto, favorecer maior severidade de doenças de solo, especialmente se as regas forem em excesso.

Sistema por sulco

O sistema de irrigação por sulco (Figura 5) é o que requer, em regra, menor investimento para ser implantado. É, todavia, o que apresenta menor eficiência de irrigação e, conseqüentemente, maior exigência de água. Não deve ser instalado em terrenos declivosos ou com ondulações acentuadas e em solos com alta taxa de infiltração e baixa retenção de água, pois, nessas condições, a eficiência será ainda menor. Outra desvantagem é o uso intensivo de mão de obra, tanto maior quando menor o comprimento dos sulcos.

A irrigação por sulco, por ser uma tecnologia aparentemente simples, é muitas vezes realizada sem qualquer critério técnico. Isso acarreta uso excessivo de água e baixa uniformidade de irrigação, o que reduz a produtividade das brássicas. Para melhor desempenho do sistema é indicado que testes de campo sejam realizados para a correta determinação do comprimento e declividade dos sulcos, além da vazão de água nos sulcos. Em geral, quanto mais fina a textura do solo e/ou menor a taxa de infiltração de água, maior pode ser o comprimento, a declividade e a vazão. Assim feito, lavouras de brássicas irrigadas por sulco

Fotos: Romério José de Andrade



Figura 4. Canteiros de repolho com *mulching* plástico (acima) e colocação prévia de tubos gotejadores sobre a superfície dos canteiros (abaixo).



Foto: Jeff Vanuga (USDA NRSC)

Figura 5. Sistema de irrigação por sulco em campo de produção de sementes brócolos.

podem apresentar produtividades próximas daquelas irrigadas por aspersão ou gotejamento.

Em condições favoráveis – solos planos e pouco permeáveis –, é possível construir sulcos com comprimento acima de 100 m, com sistematização mínima do terreno, e adotar maiores intervalos entre regas, o que reduz o uso de mão de obra e aumenta a eficiência de irrigação. Como tais condições não são normalmente verificadas na grande maioria dos solos brasileiros e a demanda de mão de obra é grande, o sistema tem sido muito pouco adotado no Brasil.

Os sulcos devem ser construídos próximos às fileiras de plantas, ter largura de 20 cm a 30 cm e profundidade de 10 cm a 15 cm. No caso de brócolos, couve-flor e repolho, por exemplo, pode-se usar um sulco de irrigação entre canteiros com fileiras duplas de plantas. Em solos com menor movimentação lateral de água, pode ser vantajoso o plantio em fileiras simples e usar um sulco por fileira de plantas. No caso de brássicas com menor espaçamento entre fileiras de plantas – rúcula –, usar um sulco entre canteiros. A largura dos canteiros, que depende da movimentação lateral de água no solo, deve possibilitar umidade adequada no centro do canteiro para o bom desenvolvimento de plantas.

O uso de *mulching* plástico sobre os canteiros irrigados por sulco, além de reduzir as perdas de água por evaporação, propicia melhor uniformidade de umidade no solo, inclusive na camada superficial do canteiro, o que favorece o melhor estabelecimento e o crescimento inicial das plantas. Por conservar mais água no solo, as irrigações devem ser mais espaçadas ou em menor quantidade.

O fornecimento de água para os sulcos de irrigação pode ser feito com sifões plásticos, a partir de um canal de distribuição de terra ou revestido, ou com tubos “janelados”. Alguns produtores fazem o desvio da água do canal para os sulcos com auxílio de enxada, prática que não garante qualquer controle da quantidade de água aplicada e provoca erosão do solo. O abastecimento dos sulcos pode ainda ser feita, de forma pressurizada, por meio de tubos de PVC e mangueiras flexíveis, o que aumenta custos, mas garante maior economia de água.

Por não molhar as plantas, a irrigação por sulco, similarmente ao gotejamento, atenua a ocorrência de doenças de parte aérea e favorece o manejo de pulverizações para controle fitossanitário, mas pode promover maior ocorrência de doenças de solo, inclusive sua disseminação.

Sistema por inundação

O agrião é uma planta semiaquática originalmente cultivada em áreas inundadas. Pode também ser cultivado em solos mantidos constantemente com alta umidade – entre capacidade de campo e saturação –, por meio de irrigações frequentes, geralmente por aspersão. As demais espécies de brássicas, incluindo o agrião-da-terra (*Barbarea verna*) e o agrião-do-seco (*Lepidium sativum*), apesar de muito sensíveis à falta de água, não podem ser irrigadas por inundação permanente.

Quando se irriga o agrião por inundação (Figura 6), a quantidade de água aplicada no tabuleiro, vala ou tanque deve ser suficiente para manter a superfície do solo totalmente saturado ou até com uma altura máxima de água de 12 cm sobre o solo. A altura de água deve acompanhar o crescimento das plantas, pois é imprescindível que a folhagem fique fora da água. Para evitar problemas sanitários, como contaminações de natureza microbiológica ao homem e a proliferação de mosquitos, a água deve ser de boa qualidade e ter fluxo constante ao longo da área de cultivo.

Os tabuleiros e tanques usados para cultivo do agrião podem ter tamanhos e formatos variáveis,



Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Figura 6. Sistema de irrigação por inundação em lavoura de agrião-da-água.

mas devem ter a superfície nivelada a fim de se manter uma lâmina de água uniforme sobre o terreno. A declividade, quando necessária, deve ser mínima, apenas para possibilitar um pequeno fluxo de água na área inundada.

Necessidade de água das plantas

A necessidade total de água das brássicas varia de 300 mm a 650 mm, sendo função das condições climáticas, da espécie, do ciclo de cultivo e do sistema de irrigação. A necessidade de água engloba a água transpirada pelas plantas e a evaporada do solo, sendo denominada de evapotranspiração da cultura (ET_c).

Em termos de necessidade de água, o ciclo de desenvolvimento das brássicas pode ser subdividido em pelo menos quatro fases: inicial, crescimento de plantas, formação da produção e pré-colheita. No caso de o estabelecimento da cultura no campo ser realizado por meio de mudas – sistema muito comum no cultivo de brássicas – tem-se ainda a fase de formação de mudas.

A fase inicial compreende o período entre o transplante e o pleno pegamento de mudas. No caso de semeadura diretamente no campo, esta fase vai da semeadura até o estabelecimento inicial de plantas (5-7 dias após o desbaste).

A fase de crescimento de plantas, que é caracterizada pela formação acelerada e abundante de folhas, perdura até 80% do máximo crescimento vegetativo das plantas. Se estende, em geral, até o início de formação de inflorescência para brócolos e couve-flor, de formação de cabeças para repolho, de formação de brotos para couve-de-bruxelas e de expansão de raízes para nabo e rabanete.

Como as brássicas são colhidas muito antes de entrarem em senescência, não existe nenhuma alteração de aparência das plantas que possibilite definir o final da fase de formação da produção e o início da pré-colheita. Para fins de irrigação, pode-se considerar que a fase de formação da produção finaliza de 5 a 10 dias antes da colheita, no caso de brócolos, couve-flor, nabo, rabanete e repolho, enquanto para couve-de-bruxelas encerra-se quando as plantas entram em declínio de produção. No caso de brássicas folhosas, como o agrião, a couve, a mostarda e a rúcula, as fases de formação de

produção e de pré-colheita se sobrepõem, não havendo distinção significativa na demanda de água pelas plantas.

Para fins de manejo da água de irrigação, a ET_c, durante cada fase da cultura, é obtida indiretamente por meio da seguinte expressão:

$$ET_c = K_c \times ETo \quad (1)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

K_c = coeficiente de cultura (adimensional);

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

A ETo, que expressa a lâmina de água evapotranspirada de uma superfície totalmente coberta por uma cultura hipotética (referência), em fase de crescimento ativo, sem qualquer restrição, pode ser determinada por métodos simples, usando apenas dados médios de temperatura e umidade relativa do ar, por exemplo, até métodos mais complexos e precisos.

A escolha do método para o cálculo da ETo depende da disponibilidade de dados climáticos, da escala temporal e precisão requerida e do método de manejo da água a ser adotado. Para manejo em tempo real, a equação de Penman-Monteith, segundo parametrização da FAO (ALLEN et al., 1998), deve ser considerada como primeira opção, pois é a mais precisa. Outra opção para a estimativa diária da ETo é usar dados de evaporação de um tanque Classe A instalado nas imediações da área a ser irrigada (ALLEN et al., 1998; MAROUELLI et al., 2011).

O coeficiente K_c, que incorpora as características da cultura, pode ser afetado por diferentes fatores, com destaque para o sistema e a frequência de irrigação e o manejo da cultura. Valores médios de K_c para diferentes espécies de brássicas são listados na Tabela 1. Para considerar o efeito do uso de *mulching* na ET_c, os valores de K_c devem ser ajustados, sobretudo durante a fase inicial, quando a taxa de transpiração das plantas é diminuída.

Para uso de *mulching* de palhada, os valores de K_c apresentados na Tabela 1 devem ser reduzidos em 20% a 30% durante a fase inicial, 10% a 20%

durante a fase de crescimento de plantas e 5% a 10% durante as fases de formação da produção e de pré-colheita (ALLEN et al., 1998; MAROUELLI et al., 2009). Os maiores percentuais se aplicam para palhadas com mais de 85% de cobertura do solo, brássicas com maior espaçamento entre fileiras de plantas e irrigações frequentes.

Para uso de *mulching* plástico e irrigação por gotejamento, os valores de Kc durante a fase inicial variam ordinalmente de 0,20 a 0,25. Durante as fases de formação da produção e de pré-colheita, os valores de Kc apresentados para gotejamento na Tabela 1 devem ser reduzidos em 15% a 25% (ALLEN et al., 1998).

A tolerância hídrica das brássicas varia ligeiramente entre espécies e a fase de desenvolvimento de plantas. Enquanto o agrião, a couve, a couve-chinesa, a mostarda e a rúcula são sensíveis à deficiência de água no solo durante todo o ciclo de cultivo, os brócolis e a couve-flor são mais sensíveis durante o período de formação de inflorescências, a couve-de-bruxelas durante a formação de brotos, o nabo e o rabanete durante a expansão de raízes e o repolho durante a formação de cabeças.

Limitações hídricas moderadas durante a fase de crescimento de plantas de brócolos, couve-flor e, principalmente, repolho pode não comprometer a produtividade quando o suprimento de água nas

fases seguintes for adequado. De qualquer forma, baixa disponibilidade de água no solo durante a fase inicial de pagamento de mudas é crítica para todas as brássicas.

Além de reduzir a produtividade, a falta de água durante a fase de formação da produção deprecia a qualidade de cabeças de repolho, de inflorescências de brócolos e couve-flor – desigualdade de formato, tamanho e compacidade – e de raízes de rabanete e nabo – desigualdade de tamanho e formato. Já a ocorrência de oscilações bruscas de água no solo – irrigações ou chuvas abundantes após vários dias ou semanas sem irrigação ou de seca – favorece rachaduras de cabeças de repolho e, principalmente, de raízes tuberosas de rabanete.

O excesso de água no solo, sobretudo em solos com problemas de drenagem, também prejudica a produção de brássicas – exceto o agrião –, pois favorece condições de aeração inadequada ao bom desenvolvimento de plantas e de raízes e maior incidência de doenças de solo. Irrigações em excesso acarretam ainda lixiviação de nutrientes, sobretudo de nitrogênio e de potássio.

Para manter umidade adequada na camada superficial do solo e evitar perda de água por percolação profunda, as irrigações devem ser frequentes e em pequena quantidade até o

Tabela 1. Coeficiente de cultura (Kc) durante as fases inicial (I), crescimento de plantas (II), formação da produção (III) e pré-colheita (IV) de diferentes espécies de brássicas, conforme o sistema de irrigação.

Espécie	Aspersão / sulco				Gotejamento			
	I ⁽¹⁾	II ⁽²⁾	III	IV	I	II ⁽²⁾	III	IV
Agrião	1,05	1,10 ⁽³⁾	1,20	1,20	---	---	---	---
Brócolos	0,85	0,85	1,05	1,00	0,55	0,70	1,00	1,00
Couve	0,85	0,85	1,05	1,00	0,55	0,70	1,00	1,00
Couve chinesa	0,85	0,85	1,05	1,00	0,70	0,75	1,00	0,95
Couve-de-bruxelas	0,85	0,85	1,05	0,95	0,55	0,70	1,00	0,95
Couve-flor	0,85	0,85	1,05	1,00	0,55	0,70	1,00	1,00
Mostarda (folha)	0,85	0,85	1,05	1,05	0,80	0,80	1,00	1,05
Nabo	0,85	0,80	1,10	0,95	0,55	0,65	1,05	0,95
Rabanete	0,85	0,80	0,90	0,85	0,80	0,75	0,90	0,85
Repolho	0,85	0,85	1,05	1,00	0,55	0,70	1,00	1,00
Rúcula	0,85	0,85	1,05	1,05	0,80	0,80	1,00	1,05

⁽¹⁾Para turno de rega (TR) de 1 dia, considerar Kc = 1,00-1,10, e para TR ≥ 3 dias, Kc = 0,60-0,75, sendo os maiores valores para solos de textura fina.

⁽²⁾Valores médios – Kc aumenta de forma contínua durante a fase.

⁽³⁾Também se aplica à fase de rebrotação (≅ 2 semanas após o corte na colheita).

Obs.: Durante a fase de formação de mudas considerar Kc = 1,15; no caso de *mulching* de palhada, considerar Kc = 0,90.

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Marouelli et al. (2011) e Zotarelli et al. (2015).

estabelecimento das mudas. A quantidade de água aplicada e o intervalo entre regas devem ser majorados à medida que as plantas se desenvolvem e as raízes se aprofundam. Plantas adultas apresentam profundidade efetiva do sistema radicular de 25 cm a 40 cm, dependendo do tipo de solo e da espécie. As raízes presentes na camada de solo até 10 cm ou 15 cm são responsáveis pela extração de mais de 50% de toda a água usada pelas plantas.

Manejo da água de irrigação

A irrigação de brássicas no Brasil, similarmente ao verificado nas demais hortaliças, é geralmente realizada sem qualquer critério técnico que garanta o fornecimento preciso de água às plantas. As regas são normalmente realizadas em excesso, até em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Mesmo irrigando em demasia, de modo a garantir o pleno suprimento de água à cultura, as plantas são frequentemente submetidas a condições de déficit hídrico. Ao melhorar a qualidade da irrigação é possível obter ganhos de produtividade e redução no uso de água e de energia da ordem de 10% a 30%.

Entende-se por manejo da água de irrigação um conjunto de procedimentos que possibilite determinar quando e quanto irrigar uma lavoura, de modo que as plantas não sofram com a falta ou o excesso de água e produzam próximo de seu potencial, com a aplicação de menor quantidade de água possível. No caso das brássicas, irrigar visando atingir a máxima produtividade geralmente induz à obtenção de maior rendimento econômico.

Existem vários métodos que podem ser usados para o manejo de água na irrigação das brássicas, incluindo métodos simples e de baixo custo, até aqueles complexos e de alta precisão, que usam processos computacionais e sensores de última geração.

Embora a murcha das folhas no início da tarde seja um indicador sobre quando irrigar, critérios menos empíricos e mais precisos podem ser usados para apontar o momento correto de se irrigar. A quantidade de água a ser aplicada pode ser determinada com base na umidade do solo ou na ETc ocorrida desde a última irrigação.

Métodos com melhor precisão no controle da irrigação fundamentam-se no conhecimento, por parte do usuário, de propriedades físico-hídricas do solo, de características da cultura e/ou de fatores climáticos associados à ETc. Tais métodos demandam o uso de equipamentos para monitorar, em tempo real, a tensão, umidade ou disponibilidade de água no solo e/ou para cálculo da ETc, além de pessoal qualificado.

A seguir são apresentados quatro métodos para o manejo da água de irrigação – turno de rega pré-calculado, tato-aparência, tensão de água no solo e balanço de água no solo –, assim como indicadores de manejo para as principais espécies de brássicas e de estratégias específicas de manejo durante as fases de formação e de pegamento de mudas.

O método do turno de rega é o mais simples e de menor custo. Por usar dados climáticos históricos para cálculo da ETc, sua precisão é prejudicada por variações climáticas. O método do tato-aparência, que tem baixo custo e é de uso simplificado, apresenta melhor precisão que o primeiro. A decisão sobre quando irrigar é tomada a partir de observações da consistência (tato) e da aparência visual de amostras de solo retiradas na zona radicular da cultura com auxílio de um trado. Os métodos da tensão e do balanço de água no solo são os que possibilitam manejar as irrigações de forma mais precisa, pois utilizam sensores para a determinação diária da tensão da água no solo ou da ETc, respectivamente.

Destaca-se que na descrição de cada método de manejo são apresentados procedimentos apenas para a determinação do momento de se irrigar e da lâmina de água real necessária a ser aplicada a cada irrigação. Procedimentos para os cálculos da lâmina total e do tempo de irrigação são contemplados ao final deste item, pois independem do método de manejo adotado.

Método do turno de rega pré-calculado

O método do turno de rega pré-calculado, também denominado de calendário de irrigação, possibilita determinar de forma rápida, antecipada e sem a necessidade de equipamentos, sensores ou cálculos complexos, turnos de regas e lâminas de irrigação para cada fase da cultura. Para tal, são necessários dados climáticos médios históricos para a estimativa da ETc e informações sobre a capacidade de

retenção de água do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Quando e quanto irrigar são determinados por:

$$TR_{\max} = \frac{LFD}{ETC_{\text{hist}}} \quad (2)$$

$$LFD = DTA \times Z_r \times f_r \times f_{Am} \quad (3)$$

em que:

TR_{\max} = turno de rega máximo a ser adotado (dia);

LFD = lâmina de água facilmente disponível no solo (mm);

ETC_{hist} = evapotranspiração da cultura com base em série histórica (mm dia⁻¹);

DTA = disponibilidade total de água no solo (mm cm⁻¹);

Z_r = profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

f_r = fator de reposição de água ao solo (decimal);

f_{Am} = fração de área molhada (decimal).

A determinação de ETo para estimativa de ETC_{hist} , usando a equação 1, deve ser realizada com dados climáticos mensais médios disponíveis na região. Valores de ETo, com base na temperatura e umidade relativa média do ar, podem ser estimados, por exemplo, a partir da Tabela 2. Dados históricos de temperatura e umidade relativa do ar (normais climatológicas) para dezenas de localidades no Brasil estão disponíveis na página do Instituto Nacional de Meteorologia (2016).

Tabela 2. Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹), conforme a temperatura e a umidade relativa (UR_m) média do ar.

UR _m (%)	Temperatura (°C)											
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
40	2,8	3,4	4,0	4,6	5,2	5,7	6,3	6,9	7,6	8,2	9,0	9,7
45	2,8	3,4	3,9	4,5	5,0	5,6	6,1	6,7	7,3	7,9	8,6	9,3
50	2,8	3,3	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	7,0	7,6	8,2	8,9
55	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,4
60	2,7	3,1	3,6	4,1	4,5	4,9	5,4	5,9	6,3	6,8	7,4	8,0
65	2,6	3,0	3,4	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
70	2,5	2,9	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,6	7,1
75	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
80	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2
85	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7
90	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,3

Fonte: Marouelli et al. (2017).

A disponibilidade total de água no solo, que é dependente das características físico-hídricas específicas de cada solo, pode ser determinada em laboratórios especializados. A título de sugestão, solos de textura grossa (classes texturais arenosa, areia franca e franco arenosa) apresentam DTA da ordem de 0,5 mm cm⁻¹, de textura média (classes texturais franca, franco siltosa, franco argilo arenosa e siltosa) de 1,2 mm cm⁻¹ e de textura fina (classes texturais franco argilo siltosa, franco argilosa, argilo arenosa, argilo siltosa, argilosa e muito argilosa) de 2,0 mm cm⁻¹. Muitos solos argilosos de Cerrado caracterizam-se, no entanto, pela elevada estabilidade estrutural (formação de agregados maiores) e moderada retenção de água (1,0 mm cm⁻¹ a 1,2 mm cm⁻¹).

A profundidade efetiva do sistema radicular das brássicas, a partir da fase de produção, pode variar de menos de 25 cm, como para o rabanete e a rúcula, a mais de 50 cm, a exemplo do nabo. Além da espécie, é afetada pela idade das plantas, tipo e fertilidade do solo, entre outras variáveis, devendo ser avaliada na própria lavoura. A avaliação das raízes pode ser visual por meio da abertura de uma trincheira perpendicular à fileira de planta – assumir como profundidade efetiva aquela na qual ainda se pode identificar, sem grandes dificuldades, a presença de raízes no perfil do solo.

Valores de fator de reposição de água ao solo são apresentados na Tabela 3. Além de depender da espécie, pode variar com o sistema de irrigação, a fase da cultura, ETo e o tipo de solo.

Tabela 3. Fator de reposição (f_r) e tensão-limite de água ao solo (kPa) para diferentes espécies de brássicas, conforme o sistema de irrigação.

Espécie	f_r (decimal) ⁽¹⁾		Tensão (kPa) ⁽²⁾	
	Aspersão / Sulco	Gotejamento	Aspersão / Sulco	Gotejamento
Agrião	0,05-0,15	---	5-10	---
Brócolos	0,30-0,50	0,25-0,40	20-40	10-25
Couve	0,25-0,35	0,20-0,30	20-35	10-25
Couve-chinesa	0,25-0,35	0,20-0,30	20-30	10-20
Couve-de-bruxelas	0,30-0,50	0,25-0,40-	20-40	10-25
Couve-flor	0,30-0,50	0,25-0,40	25-45	10-25
Mostarda (folha)	0,20-0,30	0,15-0,30	15-25	10-15
Nabo	0,35-0,50	0,20-0,40	25-45	10-20
Rabanete	0,20-0,30	0,15-0,30	10-20	10-15
Repolho	0,40-0,55	0,25-0,45	35-60	15-30
Rúcula	0,20-0,30	0,15-0,30	10-20	10-15

⁽¹⁾Menores valores para períodos críticos ao déficit hídrico, $ET_o > 6 \text{ mm dia}^{-1}$ e solos de textura fina.

⁽²⁾Menores valores para períodos críticos ao déficit hídrico, $ET_o > 6 \text{ mm dia}^{-1}$ e solos de textura grossa.

Fonte: adaptado de Kemble e Sanders (2000), Shock et al. (2007) e Marouelli et al. (2011; 2015).

A fração de área molhada expressa o valor médio de molhamento no perfil de solo explorado pelas raízes. Na irrigação por aspersão deve ser considerada igual a 1,00, pois todo o terreno é irrigado. Na irrigação por sulco e, principalmente, por gotejamento deve ser avaliada no local de cultivo, pois é afetada por diversos fatores. Em lavouras irrigadas por gotejamento pode variar de 0,55 a 0,95, sendo os maiores valores para solos de textura fina e menores espaçamentos entre fileiras de plantas (rabanete e rúcula). A fração de molhamento na irrigação por sulco variar de 0,80 a 1,00.

Determinados o turno de rega e a ET_c , para uma determinada fase da cultura, a lâmina de água real necessária a ser aplicada por irrigação é determinada por:

$$LRN = TR \times ET_c \quad (4)$$

em que:

LRN = lâmina de água real necessária por irrigação (mm);

TR = turno de rega (dia).

O cálculo do turno de rega se torna pouco relevante quando se irriga por gotejamento, pois as regas podem ser diárias ou, até mesmo, mais frequentes. É importante ressaltar que regas frequentes devem estar associadas, necessariamente, com a aplicação de pequenas lâminas de água.

A precisão do método do turno de rega é aceitável especialmente em regiões áridas e semiáridas ou durante estações secas – nessas condições existe uma menor variabilidade climática em relação à média histórica. Para outras condições climáticas pode ser necessário ajustar os valores pré-calculados de turno de rega e de lâmina de irrigação, a depender da ocorrência de chuvas ou de variações climáticas bruscas.

Tabelas para a estimativa da ET_c , em função da temperatura e umidade relativa do ar (valores médios mensais históricos), e do turno de rega, em função da ET_c e da textura do solo, foram desenvolvidas e apresentadas por Marouelli et al. (2017) para diferentes espécies de brássicas irrigadas por aspersão.

Método do tato-aparência

Alguns produtores decidem o momento de irrigar suas lavouras a partir de observações visuais da umidade do solo na superfície do terreno. Essa avaliação não fornece, em regra, interpretação confiável sobre a real necessidade de irrigação, exceto durante a fase inicial de estabelecimento das plantas, pois as raízes se aprofundam no perfil do solo à medida que as plantas crescem.

Precisão minimamente aceitável para se decidir quando irrigar pode ser alcançada amostrando-

se o solo de 30% a 50% da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (amostra “rasa”), em pelo menos três pontos representativos da área irrigada, e interpretando qualitativamente a disponibilidade de água.

As amostras de solo podem ser retiradas com auxílio de um trado do tipo meia-cana (Figura 7), de 25 mm de diâmetro, a uma distância de 15 cm a 30 cm da planta, sendo o menor valor para solos arenosos e/ou quando as raízes são ainda pouco desenvolvidas. Caso se irrigue por gotejamento, coletar as amostras de 10 cm a 30 cm de distância do gotejador.

Um guia prático e interpretativo que possibilita ao usuário estimar a água disponível no solo (AD) e, conseqüentemente, a necessidade de se irrigar, é apresentado na Tabela 4. A estimativa de AD é feita por meio de observações da consistência e da aparência visual do solo (Figura 8). As avaliações devem ser realizadas diariamente, preferencialmente no início da manhã.

As irrigações devem ser realizadas sempre que a maioria das amostras “rasas” apontar que a faixa de

AD_{solo} é igual ou menor que a faixa-limite de água disponível no solo (AD_{irriga}) indicada na Tabela 5 para se irrigar a hortaliça de interesse.

A fim de exemplificar o uso da Tabela 5, considerar o caso da cultura da couve-flor irrigada por aspersão em solo de textura fina. Nesse caso específico, deve-se irrigar considerando a faixa de AD_{irriga} de 75% a 100%. Assim, as regas devem ser efetivadas sempre que a avaliação do solo indicar que pelo menos duas amostras “rasas”, de um total de três, apresentarem AD_{solo} na faixa de 75% a 100% ou inferior. Por outro lado, não irrigar quando apenas uma ou nenhuma das amostras indicar solo com AD_{solo} na faixa de 75% a 100%.

Para usuários que não dispõem de informações sobre a capacidade de retenção de água do solo cultivado, a lâmina de água a ser aplicada por irrigação pode ser ajustada por tentativas à medida que as regas vão sendo realizadas. O ajuste é alcançado avaliando-se a umidade do solo em duas profundidades – 30% a 50% (camada “rasa”) e 100% a 120% (camada “profunda”) da profundidade efetiva do sistema radicular – e em pelo menos três pontos representativos da área, como a seguir:

- A primeira irrigação pode ser feita deixando o sistema de irrigação funcionar pelo tempo que o produtor já estava acostumado.
- Ao final da irrigação, a avaliação da umidade do solo na camada “rasa” deverá indicar AD_{solo} igual a 100% (capacidade de campo), lembrando que para a água atingir essa profundidade pode demorar de uma hora, em solos mais arenosos, até quatro horas, em solos argilosos. Se depois desse tempo a maioria dos locais avaliados ainda indicarem solo com AD_{solo} menor que 100% é porque a lâmina de água aplicada foi insuficiente. Nesse caso, aumentar o tempo da próxima irrigação em 20%.
- No dia seguinte à irrigação avaliar a umidade do solo na camada “profunda”. Se a avaliação indicar solo com AD_{solo} acima de 50% a 75%, no caso de solos com textura grossa, e acima de 25% a 50% para as demais texturas de solo, é porque se aplicou água em excesso. Nesse caso, reduzir o tempo das próximas irrigações em 20%.
- Quando a irrigação for suficiente para que a AD_{solo} atinja 100% na camada “rasa” e que não haja

Foto: Waldir Aparecido Marouelli

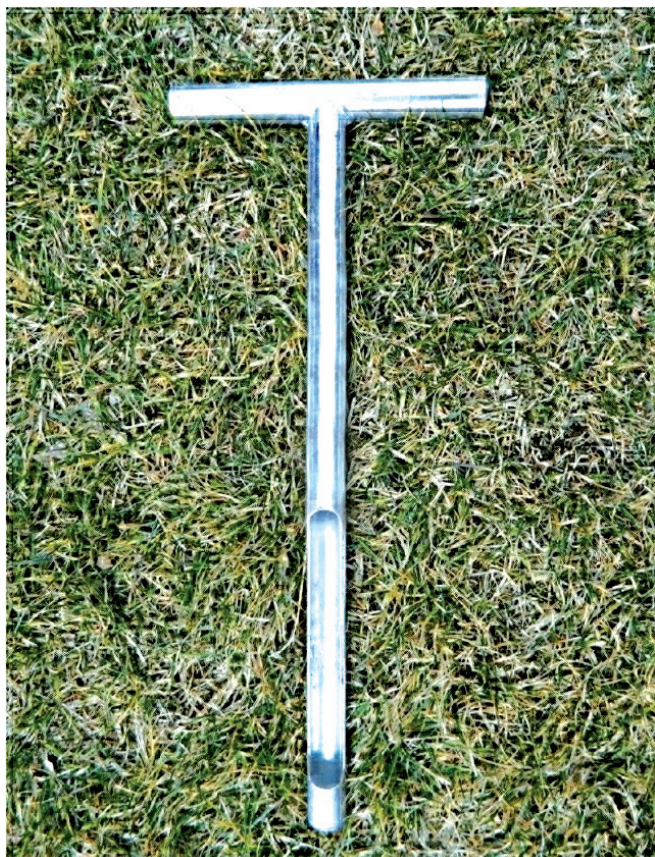


Figura 7. Trado do tipo meia-cana para a amostragem e avaliação da disponibilidade de água no solo pelo método do tato-aparência.

Tabela 4. Guia interpretativo prático para estimar a água disponível no solo (AD_{solo}), conforme sua textura, consistência e aparência visual.

AD_{solo} (%)	Textura			
	Grossa ⁽¹⁾	Moderadamente grossa ⁽²⁾	Média ⁽³⁾	Moderadamente fina e fina ⁽⁴⁾
0-25	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, por vezes formando torrão que raramente se conserva	Duro, esturricado, às vezes com grânulos soltos na superfície
25-50	Seco, não forma torrão	Sinais de umidade, mas não forma torrão	Forma torrão, algo plástico, mas com grânulos	Maleável, formando torrão
50-75	Seco, não forma torrão	Tende a formar torrão que raramente se conserva	Forma torrão, algo plástico, que às vezes desliza entre os dedos ao ser comprimido	Forma torrão que desliza entre os dedos na forma de lâmina ao ser comprimido
75-100	Tende a se manter coeso; às vezes, forma torrão, que se rompe facilmente	Forma torrão que se rompe facilmente e não desliza entre os dedos	Forma torrão muito maleável que desliza facilmente entre os dedos	Ao ser comprimido, desliza entre os dedos na forma de lâmina escorregadiça
100 (CC ⁽⁵⁾)	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido, não perde água, mas umedece a mão

⁽¹⁾Classes texturais: arenosa, areia franca.

⁽²⁾Classes texturais: franco arenosa, franca.

⁽³⁾Classes texturais: franca, franco siltosa, franco argilo arenosa, siltosa.

⁽⁴⁾Classes texturais: franco argilo siltosa, franco argilosa, argilo arenosa, argilo siltosa, argilosa, muito argilosa.

⁽⁵⁾CC – capacidade de campo.

Obs.1: muitos solos de textura fina e moderadamente fina de Cerrado caracterizam-se pela elevada estabilidade estrutural (formação de agregados maiores), devendo ser considerados, para uso dessa tabela, como de textura média.

Obs.2: torrão se forma comprimindo-se fortemente um punhado de solo com a mão.

Obs.3: solo desliza entre os dedos polegar e indicador ao ser comprimido e esfregado entre os dedos.

Fonte: adaptado de Swarner et al. (1959).



Fotos: Waldir Aparecido Marouelli

Figura 8. Avaliação da água disponível (AD_{solo}) em um solo típico de textura média pelo método do tato-aparência: a) coleta da amostra com trado; b) condição de saturação; c) 100% de AD_{solo} (capacidade de campo); d) 75-100% de AD_{solo} (úmido); e) 50-75% de AD_{solo} (moderadamente úmido); f) 25-50% de AD_{solo} (moderadamente seco); g) 0-25% de AD_{solo} (seco); h) 0% de AD_{solo} (ponto de murcha permanente).

Tabela 5. Faixa-limite de água disponível no solo (%) para irrigar diferentes espécies de brássicas (AD_{irriga}), conforme a textura do solo e sistema de irrigação.

Espécie	Aspersão ou sulco			Gotejamento ⁽⁴⁾
	Textura			
	Grossa ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾	Fina ⁽³⁾	
Agrião	100	100	100	---
Brócolis, couve, couve-chinesa, couve-de-bruxelas e couve-flor	50-75	50-75	75-100	75-100
Mostarda, nabo, rabanete e rúcula	50-75	75-100	75-100	75-100
Repolho	25-50	50-75	50-75	75-100

⁽¹⁾Classes texturais: arenosa, areia franca, franco arenosa.

⁽²⁾Classes texturais: franca, franco siltosa, franco argilo arenosa, siltosa.

⁽³⁾Classes texturais: franco argilo siltosa, franco argilosa, argilo arenosa, argilo siltosa, argilosa, muito argilosa.

⁽⁴⁾Considerar a mesma faixa de AD_{irriga} independente da textura do solo.

Obs.: muitos solos de textura fina de Cerrado caracterizam-se pela elevada estabilidade estrutural (formação de agregados maiores), devendo ser considerados, para uso dessa tabela, como de textura média.

Fonte: Marouelli & Braga (2016).

excesso de água na camada “profunda” é porque a lâmina de água está bem ajustada. Isso, muitas vezes, somente é conseguido após vários ciclos de irrigação, sobretudo se existir uma grande diferença entre a lâmina inicial considerada e a lâmina “correta”.

- Quando se tem um tempo de irrigação devidamente ajustado e as amostragens de solo passam a ser realizadas numa maior profundidade, devido ao crescimento das raízes, o tempo de irrigação pode ser aumentado proporcionalmente. Por exemplo, se as amostragens eram realizadas a 10 cm e numa fase seguinte passam a ser feitas a 20 cm, é só aumentar o tempo de irrigação em 100%.

O ajuste por tentativas da lâmina de irrigação pode ser alcançado mais rapidamente usando-se valores médios de quantidade de água facilmente disponível no solo apresentados na Tabela 6. Nesse caso, a lâmina de água real necessária é estimada pela seguinte equação:

$$LRN = A_{FD} \times Z_r \times f_{Am} \quad (5)$$

em que:

A_{FD} = quantidade de água facilmente disponível no solo ($mm\ cm^{-1}$).

Método da tensão de água no solo

A tensão matricial de água no solo exerce importante papel no processo de absorção de água

pelos plantas. Além de indicar o momento de irrigar, a tensão pode também ser considerada no cálculo da lâmina de água de irrigação, caso se disponha da curva de retenção de água do solo.

Valores de tensão-limite de água no solo que possibilitam maximizar a produtividade de diferentes espécies de brássicas são apresentados na Tabela 3. Menores valores de tensão-limite devem ser considerados para lavouras irrigadas por gotejamento, durante as fases mais críticas ao déficit hídrico, condições de alta demanda evaporativa da atmosfera e solos mais arenosos.

Tabela 6. Água facilmente disponível no solo ($mm\ cm^{-1}$), conforme a textura e a água disponível no solo (AD_{solo}) no momento da irrigação.

AD_{solo} (%)	Textura		
	Grossa ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾	Fina ⁽³⁾
0-25	0,45	1,05	1,75
25-50	0,35	0,75	1,25
50-75	0,20	0,45	0,75
75-100	0,10	0,15	0,25
100 ⁽⁴⁾	---	0,10	0,15

⁽¹⁾Classes texturais: arenosa, areia franca, franco arenosa.

⁽²⁾Classes texturais: franca, franco siltosa, franco argilo arenosa, siltosa.

⁽³⁾Classes texturais: franco argilo siltosa, franco argilosa, argilo arenosa, argilo siltosa, argilosa, muito argilosa.

⁽⁴⁾Sugestão de A_{FD} específica para agrião-da-água.

Obs.: muitos solos de textura fina de cerrado caracterizam-se pela elevada estabilidade estrutural (formação de agregados maiores), devendo ser considerados, para uso dessa tabela, como de textura média.

Fonte: Marouelli & Braga (2016).

O monitoramento diário da tensão pode ser feito usando sensores que medem diretamente a tensão de água, como o tensiômetro e o Irrigas®, ou a umidade do solo, como sensores capacitivos e do tipo TDR. Tensiômetros (Figura 9), apesar de muito usados para a medição da tensão, apresentam sérios problemas de funcionamento quando não são adequadamente instalados e mantidos. Sensores capacitivos e TDR, além de requererem calibração prévia, são muito caros para a maioria dos produtores de hortaliças. O Irrigas® (Figura 10), por outro lado, é um sensor simples, que apresenta boa precisão, baixo custo e não requer manutenção. Desenvolvido pela Embrapa, o Irrigas® está disponível nas versões comerciais de 15 kPa, 25 kPa e 40 kPa (MAROUELLI; CALBO, 2009; MAROUELLI et al., 2015).

Sensores usados para indicar o momento de se irrigar devem ser instalados de 40% a 50% da profundidade efetiva do sistema radicular e a uma distância de 10 cm a 25 cm da planta e/ou do gotejador.

Definido o momento de irrigar, a lâmina de água real necessária por irrigação é calculada por:

$$LRN = (\theta_{cc} - \theta_{ui}) \times Z_r \times f_{Am} \quad (6)$$

em que:

θ_{ui} = umidade do solo no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Para usuários que não dispõem da curva de retenção de água do solo, a lâmina de água pode



Foto: Waldir Aparecido Marouelli

Figura 10. Sensor Irrigas®, incluindo cápsula porosa, tubo flexível, cuba de leitura e recipiente de água para leitura, para avaliação da tensão de água no solo.

ser estimada, à título de sugestão, pela equação 7, a partir dos valores médios de água facilmente disponível no solo apresentados na Tabela 7.

$$LRN = A_{FD} \times Z_r \times f_{Am} \quad (7)$$

em que:

A_{FD} = água facilmente disponível no solo (mm cm^{-1}).

Informações de ordem prática sobre o uso de tensiômetros podem ser obtidas em Marouelli (2008), enquanto para sensores Irrigas® consultar Marouelli e Calbo (2009) e Marouelli et al. (2015).

Tabela 7. Água facilmente disponível no solo (mm cm^{-1}), conforme a tensão de água e a textura do solo.

Tensão (kPa)	Textura ⁽¹⁾		
	Grossa	Média	Fina
10	0,15	0,20	0,25
15	0,20	0,32	0,45
20	0,23	0,41	0,60
25	0,25	0,48	0,70
30	0,29	0,54	0,78
40	0,33	0,63	0,90
50	0,35	0,72	1,00
75	0,38	0,80	1,15

⁽¹⁾Muitos solos argilosos de Cerrado caracterizam-se pela elevada estabilidade estrutural, devendo ser considerados, para uso dessa tabela, como de textura média.

Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2011).

Foto: Waldir Aparecido Marouelli



Figura 9. Tensiômetros instalados em lavoura de repolho para manejo da água de irrigação.

Método do balanço de água no solo

O método do balanço de água requer o controle diário da precipitação, lâmina de irrigação, ET_c , escoamento superficial e percolação profunda de água. As perdas de água por percolação profunda e por escoamento superficial são desprezíveis quando não se irriga em excesso e a intensidade de aplicação de água do sistema de irrigação é menor que a capacidade de infiltração de água do solo. Assim, na forma mais simples do balanço, as irrigações devem ser realizadas quando a relação a seguir for verdadeira.

$$\sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - Pe_i) \geq LFD \quad (8)$$

em que:

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas;

Pe = precipitação efetiva (mm dia⁻¹).

A ET_c deve ser determinada usando procedimento que permita seu cálculo diário e em tempo real, com destaque para a equação de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998), e coeficientes K_c recomendados para a cultura de interesse (Tabela 1).

Procedimentos para o cálculo da precipitação efetiva são geralmente complexos, pois vários fatores estão envolvidos. Um método simplificado é *apresentado por* Marouelli et al. (2011).

A lâmina de água facilmente disponível no solo (LFD) pode ser calculada pela equação 3. Dispondo-se da curva de retenção de água do solo, usar a equação 6 ($LFD = LRN$) para sua determinação.

Definido quando irrigar, a lâmina necessária para repor a água transpirada pelas plantas e a perda por evaporação é calculada por:

$$LRN = \sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - Pe_i) \quad (9)$$

O manejo de água pelo método do balanço também pode ser realizado a partir de um turno de rega prefixado, o qual deve ser igual ou menor ao determinado usando a equação 2.

Manejo durante as fases de formação e pegamento de mudas

O estabelecimento de campos de produção de brássicas é realizado quase sempre com o uso de mudas, geralmente preparadas em bandejas de 128, 200 ou 288 células. A produção de mudas em sementeiras e em copos plásticos está atualmente restrita a produtores com menor disponibilidade de acesso a esses insumos.

As regas na produção de mudas devem ser realizadas por aspersão, seja com microaspersores, mangueira com bico de regador ou regador manual com crivos finos. O importante é não usar jatos ou gotas de água de grosso calibre para não arrancar as sementes, retirar substrato da bandeja ou prejudicar as mudas.

Devido ao reduzido volume de substrato existente em cada célula, sobretudo em bandejas com maior número de células, e a grande porosidade dos substratos utilizados, o controle de irrigação durante toda a fase de formação de mudas é bastante crítico. As irrigações devem ser leves e frequentes a fim de garantir a formação de mudas de boa qualidade. Deve-se irrigar antes que as plântulas apresentem qualquer sintoma visual de falta de água. Em geral, são requeridas de uma a quatro irrigações por dia. Apesar da fase de produção de mudas ser muito sensível ao déficit hídrico, o excesso de água é também prejudicial. Água em demasia prejudica a troca de gases entre as raízes e o ambiente e provoca lixiviação de nutrientes.

A quantidade de água aplicada por irrigação depende do tipo e da quantidade de substrato em cada célula. Em termos práticos, sugere-se irrigar o suficiente para dar início ao escoamento de água na parte inferior das bandejas, mas não acarretar drenagem superior a 10% do volume total aplicado.

O manejo de água na produção de mudas em copos e, principalmente, em sementeiras é mais fácil, pois as plantas se desenvolvem em ambientes que podem armazenar maior quantidade de água. Ressalta-se, no entanto, que mudas produzidas em sementeiras são normalmente retiradas e transplantadas com raízes nuas, o que as tornam mais suscetíveis às adversidades climáticas e à falta de água. Da semeadura até

cerca de uma semana após a emergência de plântulas, irrigar duas vezes por dia. Em condições de clima ameno e solos com alta retenção de água, uma *única irrigação* no final da tarde pode ser suficiente. Com o crescimento das raízes até as mudas estarem formadas, irrigar de forma mais espaçada – 1 a 2 dias. O uso de copos pode demandar irrigações mais frequentes.

As mudas devem ser transplantadas em solo *úmido*. A irrigação antes do transplantio, caso necessária, deve ser suficiente para umedecer o solo (capacidade de campo) até cerca de 30 cm de profundidade. Após o transplantio, realizar uma irrigação leve (5 mm a 10 mm) visando eliminar bolsões de ar e promover um contato direto do solo com as raízes das mudas. Em dias muito quentes e secos, deve-se optar por transplantar as mudas no final da tarde.

As demais irrigações, até o pegamento de mudas, devem ocorrer quando a disponibilidade de água na camada superficial do solo (0 cm a 10 cm) for reduzida para 75% a 85% ou quando as plantas apresentarem sintomas de murcha. Para a maioria das condições, uma rega *diária* é normalmente suficiente. Em solos mais arenosos e condições de alta ETo podem ser necessárias duas regas por dia, enquanto em solos argilosos e condições de clima ameno as regas podem ser mais espaçadas (2 a 4 dias).

Apesar das mudas recém-transplantadas serem sensíveis à falta de água, o excesso favorece a ocorrência de doenças de solo. Portanto, nunca irrigar em excesso, sobretudo em solos pesados e com problemas de drenagem.

Ao se irrigar por gotejamento, os tubos gotejadores devem ser inicialmente posicionados de 5 cm a 15 cm das plantas, dependendo do tipo de solo. Posteriormente, devem ser afastados para evitar excesso de água junto ao colo das plantas.

Na irrigação por sulco as mudas devem ser transplantadas na inclinação lateral dos sulcos, dentro da faixa molhada, para que não sofram falta de água. Nunca devem ser transplantadas no fundo dos sulcos para não prejudicar o movimento da água e evitar problemas associados ao excesso de umidade.

Lâmina total e tempo de irrigação

Independente da estratégia de manejo adotada, a lâmina total de irrigação para sistemas por aspersão e gotejamento pode ser calculada pela equação 10, enquanto a equação 11 deve ser considerada para sistemas por sulco.

$$LTN = \frac{LRN}{E_i \times (1 - LR)} \quad (10)$$

$$LTN = \frac{LRN}{1 - LR} \quad (11)$$

em que:

LTN = lâmina de água total necessária (mm);

E_i = eficiência de irrigação (decimal);

LR = fração de lixiviação requerida (decimal).

A eficiência de irrigação, que deve ser avaliada em testes de campo, depende das características, estado de manutenção e manejo do sistema, além da velocidade do vento quando se irrigar por aspersão. Em sistemas por aspersão, varia normalmente de 0,60 a 0,75 para convencional portátil, 0,65 a 0,80 para convencional semi-portátil e autopropelido, 0,70 a 0,85 para convencional fixo e 0,80 a 0,90 para pivô central. Para gotejamento, considerar de 0,80 a 0,85, para solos arenosos, e de 0,85 a 0,95, para solos argilosos. As maiores eficiências ocorrem em sistemas bem dimensionados e com manutenção adequada e, no caso da aspersão, para condições sem vento. Para sistemas com problemas de dimensionamento e de manutenção, a eficiência pode ser ainda menor, o que compromete o desempenho da cultura.

A água de irrigação, sobretudo em regiões áridas e semiáridas, pode apresentar concentrações de sais capazes de salinizar o solo e prejudicar o rendimento da cultura. Havendo risco de salinidade – condutividade elétrica da água acima de 0,7 dS m⁻¹ –, se faz necessário aplicar uma fração de água adicional (LR) para manter o balanço adequado de sais na zona radicular. Procedimentos para o cálculo de LR estão disponíveis em publicações específicas (AYERS; WESTCOT, 1991; ALMEIDA, 2010).

O tempo de irrigação necessário para se aplicar a lâmina de água total necessária depende da capacidade de provimento de água do sistema de irrigação. Para aspersão convencional, o tempo de irrigação é determinado por:

$$T_i = 60 \times \frac{LTN}{I_a} \quad (12)$$

em que:

T_i = tempo de irrigação (min);

I_a = intensidade de aplicação de água do sistema (mm h^{-1}).

A intensidade de aplicação de água do sistema varia com o diâmetro de bocais, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores, podendo ser obtida em catálogos técnicos do fabricante do aspersor ou em testes de campo.

Para pivô central e autopropelido deve-se selecionar a velocidade de deslocamento do sistema que seja suficiente para aplicar uma lâmina igual ou ligeiramente superior a LTN.

Para gotejamento, o tempo de irrigação é determinado por:

$$T_i = 60 \times \frac{LTN \times S_L \times S_g}{V_g} \quad (13)$$

em que:

S_L = espaçamento entre linhas laterais de gotejadores (m);

S_g = espaçamento entre gotejadores (m);

V_g = vazão do gotejador (L h^{-1}).

Em plantios realizados em canteiros, deve-se considerar o espaçamento médio entre linhas de gotejadores. Nesse caso, S_L deve ser obtido dividindo-se a largura da base do canteiro pelo número de linhas de gotejadores sobre o canteiro.

O tempo de irrigação no sistema por sulco deve ser igual ao requerido para a água atingir o final do sulco (tempo de avanço) mais o necessário para infiltrar a LTN (tempo de oportunidade). O tempo de avanço e a velocidade de infiltração básica de água nos sulcos dependem de cada tipo de solo e das características dos próprios sulcos, devendo ser determinados em avaliações de campo (BERNARDO et al., 2006).

Fertirrigação

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação é uma prática indicada para sistemas por aspersão e, principalmente, por gotejamento. Deve ser realizada, no entanto, somente quando o sistema apresentar uniformidade de distribuição de água acima de 80%. A fertirrigação não é, portanto, indicada em sistemas por sulco ou inundação.

Pela facilidade de aplicação, os fertilizantes podem ser fornecidos de forma parcelada para atender as necessidades nutricionais das plantas. O parcelamento permite que a fertilidade do solo seja mantida próxima ao nível ótimo exigido pelas plantas durante todo o ciclo de cultivo, aumentando a eficiência de absorção pelas plantas, minimizando perdas de nutrientes por lixiviação e possibilitando incrementos de produtividade.

Os nutrientes mais comumente fornecidos via água são os com maior mobilidade no solo, como o nitrogênio e o potássio. Os demais, sobretudo aqueles com baixa mobilidade, devem ser providos em pré-plantio, preferencialmente, de forma convencional no sulco de plantio ou no canteiro.

Para gotejamento, recomenda-se aplicar de 10% a 30% da dosagem total de nitrogênio e de potássio em pré-plantio, de forma a se ter uma reserva no solo suficiente para o crescimento inicial das plantas. A dosagem restante é fornecida via fertirrigação à medida que as plantas se desenvolvem (Tabela 8). Fertirrigações, em solos de textura grossa, devem ser realizadas de duas a três vezes por semana, enquanto em solos de texturas média e fina pode-se adotar frequência semanal.

A aplicação de cálcio, fósforo e outros nutrientes via gotejamento pode ser vantajoso dependendo da disponibilidade no solo e da exigência da cultura. Fertirrigação com fósforo e cálcio pode, no entanto, causar problemas de entupimento de gotejadores, dependendo da qualidade da água de irrigação e da mistura com outros fertilizantes.

A injeção de fertilizantes na tubulação de irrigação pode ser feita com dispositivos do tipo Venturi (Figura 11), tanque de diferencial de pressão e bombas injetora (diafragma e pistão). Os fertilizantes devem ser previamente solubilizados e a solução injetada não deve conter sobrenadantes, precipitados ou qualquer resíduo.

Tabela 8. Dosagens relativas (%) de nitrogênio (N) e potássio (K) para fornecimento via fertirrigação por gotejamento ao longo do ciclo de cultivo de brássicas, em relação ao total recomendado.

Nutriente	Período relativo ao ciclo (%)									
	Transplântio ⁽¹⁾	10	20	30	40	50	60	70	80	90
N	15	0	15	20	20	15	10	5	0	0
K	25	0	15	20	20	15	5	0	0	0

⁽¹⁾% de nutriente a ser aplicado de forma convencional em pré-plantio, relativo ao total recomendado.

Fonte: adaptado de Bar-Yosef (1999) e Hochmuth e Smajstrla (2003).

Foto: Waldir Aparecido Marouelli



Figura 11. Dispositivo do tipo Venturi para injeção de solução de fertilizantes na tubulação de irrigação.

Em lavouras irrigadas por aspersão, aplicar um terço do nitrogênio em pré-plantio e parcelar o restante em duas a três fertirrigações ao longo do ciclo da cultura. Potássio e cálcio também podem ser aplicados via aspersão.

A aplicação de fertilizantes via irrigação envolve três fases. Na primeira, aplica-se somente água até se atingir o equilíbrio hidráulico do sistema. Na segunda, faz-se a injeção da solução de fertilizantes na tubulação de irrigação. Na terceira, aplica-se somente água para lavar o sistema, a fim de minimizar problemas de corrosão e entupimento

de gotejadores e de melhorar a incorporação dos fertilizantes na zona radicular. O tempo de aplicação do fertilizante na segunda fase é, em regra, equivalente à 2/3 do tempo total de irrigação, não devendo ser inferior a 10 minutos.

Irrigação para proteção contra geada

A ocorrência de geadas, sobretudo a geada branca, é comum na Região Sul do Brasil, podendo também ocorrer nas regiões Sudeste e Centro-oeste. São provocadas pelo resfriamento intenso de superfícies expostas, que perdem energia durante noites de céu limpo e sem vento, sob o domínio de massas polares de ar frio. Sob tais condições, as plantas perdem calor e se resfriam durante a madrugada, passando a gerar mais ar frio, que se acumula nas partes baixas do terreno.

Em noites favoráveis à ocorrência de geadas, a diferença entre a temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico e a temperatura de relva pode chegar a 6 °C. Geadas fracas ocorrem com temperatura mínima de relva inferior a 0 °C, geadas moderadas com temperatura menor que -2 °C e geadas severas com temperatura menor que -6 °C.

Diferentemente da geada branca (Figura 12), a geada negra típica ocorre quando o ar está muito seco, sem qualquer deposição de gelo sobre as plantas. Ventos extremamente frios desidratam os tecidos expostos, provocando a queima das plantas. É menos comum que a geada branca, mas provoca danos maiores.

Apesar de algumas cultivares de repolho de inverno, de couves com folhas frisadas (tipo *kale*) e de outras espécies de brássicas serem tolerantes a baixas temperaturas, danos severos às plantas podem causar quebras de produção e até a morte de plantas dependendo da intensidade da geada e da frequência de ocorrência.



Figura 12. Lavoura de brócolos após ocorrência de geada.

A irrigação por aspersão convencional é um dos métodos diretos mais efetivos de proteção contra geada. Tem sido usada na Região Sul do Brasil em áreas de produção de hortaliças e de frutas, incluindo em lavouras de brássicas.

O consumo de energia para operação de sistemas de irrigação por aspersão visando proteção contra geada é menor do que com aquecedores. A exigência de mão de obra também é menor do que para outros métodos de proteção. As principais desvantagens da irrigação por aspersão são o alto custo de instalação do sistema e o grande volume de água necessário. Em muitos casos, a aplicação de lâminas de água muito grandes acarreta problemas de encharcamento do solo e de lixiviação de nutrientes.

Apesar de ser um método eficaz de proteção, sobretudo contra geadas fracas e moderadas, o uso incorreto da aspersão pode agravar as injúrias causadas às plantas pela geada. Se o sistema de irrigação falhar, for inadequado ou manejado de forma imprópria, as plantas poderão ficar muito mais frias do que aquelas não irrigadas. O uso da aspersão pode ainda não proteger as plantas em temperaturas de relva inferior a $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Quando se usa irrigação para proteção contra geada, a própria água aspergida pode congelar sobre as plantas. A água ao congelar libera calor, reduzindo o resfriamento e mantendo da temperatura das folhas e ramos por volta de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, acima, portanto, da temperatura letal às plantas.

Para tal, o gelo formado sobre as plantas deve ser mantido sempre molhado – presença de gotas de água caindo do gelo – por meio da irrigação por aspersão. Se o gelo secar e a água proveniente do gelo começar a evaporar, o gelo se tornará ainda mais frio do que a temperatura do ar, provocando congelamento dos tecidos vegetais e/ou injúrias às plantas. Portanto, o princípio básico para se usar a irrigação por aspersão com um mínimo de segurança é entender a necessidade de manter sempre molhado todo o gelo formado sobre as plantas.

Aspersores e microaspersores devem ser instalados a pelos menos 30 cm acima do dossel para que a água seja aplicada de forma uniforme sobre as plantas. Como as plantas devem ser molhadas praticamente durante toda a noite e início da manhã, até que a temperatura do ar comece a subir, todos os aspersores da área a ser protegida devem permanecer funcionando de forma contínua e simultânea. Para tal, é imprescindível garantir o pleno abastecimento de água e de energia para o funcionamento do conjunto moto-bomba. Nesse caso, o uso de moto-bombas diesel é mais aconselhado que as elétricas.

Sistemas do tipo pivô central e autopropelido *não* devem ser usados para proteção contra geada, pois não aplicam água de forma contínua sobre as plantas. Por não molhar as plantas, sistemas por gotejamento também não oferecem proteção contra geada.

A proteção contra geada propiciada pela aspersão é limitada pela intensidade de aplicação de água do sistema de irrigação. A intensidade mínima de aplicação, que depende da temperatura do ar, da altura de plantas, da velocidade de rotação dos aspersores e da velocidade do vento, varia normalmente de 2 mm h^{-1} a 6 mm h^{-1} (Tabela 9).

Para que aspersores rotativos sejam efetivos na proteção contra geada, as plantas devem ser molhadas em intervalos de tempo de 30 a 60 segundos, ou seja, os aspersores devem apresentar velocidade angular de 1 rpm a 2 rpm. Aspersores com corpo de bronze ou de latão e com mola protegida são recomendados especialmente no caso de geadas severas, pois operam de forma mais consistente e são menos susceptíveis a travamento devido à congelamento. No caso de aspersores com dois bocais, o menor deve ser fechado durante as regas de proteção contra geada.

Tabela 9. Intensidade de aplicação de água (mm h^{-1}) de sistemas de irrigação por aspersão convencional para proteção de plantas contra geada, conforme a temperatura mínima de relva, o porte da cultura e a velocidade angular dos aspersores (rpm), para condições com velocidade do vento até $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Temperatura mínima (°C)	Porte baixo ($\leq 25 \text{ cm}$)		Porte alto ($> 25 \text{ cm}$)	
	2 rpm	1 rpm	2 rpm	1 rpm
	-2,0	2,0	2,5	2,5
-4,0	3,0	3,5	4,0	4,5
-6,0	4,5	5,0	5,0	6,0

Obs.: Reduzir a intensidade de aplicação de água em $0,5 \text{ mm h}^{-1}$ para condições sem vento e aumentar em $0,5 \text{ mm h}^{-1}$ para condições com vento próximo a $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Fonte: adaptado de Snyder e Melo-Abreu (2005).

É fundamental que o sistema de irrigação seja eficiente e distribua água de forma uniformidade sobre as plantas. Para tal, o espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais deve propiciar uma sobreposição de aproximadamente 50% dos perfis radiais de distribuição de água de aspersores adjacentes. O espaçamento deve ser ainda menor em áreas onde ventos acima de $4,0 \text{ m s}^{-1}$ são frequentes.

No Brasil, a maioria dos sistemas por aspersão convencional são projetados para aplicar de 5 mm h^{-1} a 12 mm h^{-1} . Isso é, normalmente, muito acima do necessário para proteger as plantas em temperaturas de relva até -5 °C (Tabela 9). A desvantagem de se usar sistemas com intensidade de aplicação de água muito alta se deve ao uso exagerado de água e ao maior gasto com energia para o funcionamento do sistema. Adicionalmente, os sistemas são normalmente projetados para irrigar diferentes setores ao longo do dia, não para irrigar toda a área cultivada de forma simultânea.

Em países com geadas frequentes e intensas e no caso de lavouras de alto retorno econômico é corriqueiro existir um sistema por aspersão convencional apenas para fins de proteção contra geada.

Para oferecer proteção contra geada em toda a lavoura, o sistema deve ser capaz de irrigar toda área ao mesmo tempo. Isso, no entanto, aumenta

o custo de implantação do sistema. Para reduzir o tamanho de bomba, o diâmetro de tubulações, o uso de água e de energia e os problemas associados à aplicação excessiva de água, o sistema deve ser dimensionado para fornecer a menor intensidade de aplicação de água que ofereça proteção contra geada na região de interesse.

O uso da aspersão deve ser programado logo que a previsão climática alerte para o risco de geada. O sistema deve ser acionado no começo da noite quando a temperatura do ar ainda se encontra positiva, comumente de 4 °C – ar muito seco – a $0,5 \text{ °C}$ – ar úmido –, antes de a geada iniciar. Informações sobre ponto de orvalho e temperatura de bulbo úmido podem auxiliar na tomada de decisão sobre quando iniciar a irrigação – para tal, consultar Snyder e Melo-Abreu (2005) e Fisher e Shortt (2015).

Uma vez iniciada a irrigação, é necessário manter o sistema funcionando até depois do sol nascer ou quando a temperatura voltar a subir e derreter o gelo formado sobre as plantas.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Papers, 56).
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).
- BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in Agronomy**, v. 65, p. 1-77, 1999.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- FISHER, P.; SHORTT, R. **Irrigation for frost protection of strawberries.** [Guelph]: OMAFRA, 2015. 8 p. Disponível em: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/frosprot_straw.htm>. Acesso em: 29 jun. 2016.

HOCHMUTH, G. J.; SMAJSTRLA, A. G. **Fertilizer application and management for micro (drip)-irrigated vegetables**. Gainesville: University of Florida/Institute of Food and Agricultural Sciences, 2003. 33 p. (IFAS Extension. Circular, 1181).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

KEMBLE, J. K. SANDERS, D. C. **Basics of vegetable crop irrigation**. Auburn: Alabama Cooperative Extension System, 2000. 5 p. (Bulletin ANR, 1169).

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).

MAROUELLI, W. A.; ABDALLA, R. P.; MADEIRA, N. R.; **Irrigação de repolho em sistema de plantio direto**. *Revista de Plantio Direto*, v. 19, n. 112, p. 32-34, 2009.

MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B. **Método prático do tato-aparência do solo para manejo de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 146).

MAROUELLI, W. A.; FREITAS, V. M. T.; COSTA JÚNIOR, A. D.; CALBO, A. G. **Guia prático para uso do Irrigas na produção de hortaliças**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2015. 36 p.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, Á. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. **Manejo da água de irrigação**. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011. p. 157-232.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. 2.ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 22 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 98).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 4. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 200 p.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas®**.

Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69).

SHOCK, C. C.; PEREIRA, A. B.; HANSON, B. R., CAHN, M. D. **Vegetable irrigation**. In: LASCANO, R. J.; SOJKA, R. E. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. 2. ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007. p. 535-606. (Agronomy Monograph, 30).

SNYDER, R. L.; MELO-ABREU, J. P. **Frost protection: fundamentals, practice, and economics**. Rome: FAO, 2005. 223 p. v. 1. (Environment and Natural Resources Series, 10).

SWARNER, L. R.; LANGLEY, M. N.; MALETIC, J. T.; PHELAN, J. T.; LAWHON, L. F.; SHOCKLEY, D. G.; BROWNSCOMBE, R. H. **Irrigation on western farms**. Washington, DC: Soil Conservation Service, 1959. 53 p. (Agricultural Information Bulletin, 199).

ZOTARELLI, L.; DUKES, M. D.; LIU, G. D.; SIMONNE, E. H.; AGEHARA, S. **Principles and practices of irrigation management for vegetables**. In: DITTMAR, P. J.; FREEMAN, J. H.; VALLAD, G. (Ed.). **Vegetable production handbook for Florida: 2015-1016**. Gainesville: University of Florida: IFAS Extension, 2015. p. 11-18.

Glossário

Abrigo meteorológico ou de instrumento – Pequena casa de madeira pintada de branco, com paredes de venezianas duplas e invertidas, cobertas por um teto externo e outro interno, onde são instalados, dentre outros instrumentos, termômetros para medição de temperatura do ar.

Aspersão convencional – A designação convencional está ligada ao aspecto histórico da introdução desse tipo de sistema de irrigação por aspersão.

Bomba injetora – Bomba geralmente de pistão ou diafragma acionada por motor elétrico ou hidráulico usada para injetar solução de fertilizantes na tubulação de irrigação.

Bulbo molhado – Volume do perfil do solo umedecido por um gotejador, cuja forma e dimensões dependem do solo, da vazão de água e do tempo de irrigação.

Capacidade de campo – Condição de umidade que um solo, previamente saturado por chuva ou

irrigação, atinge após o excesso de água tenha sido drenado, ou seja, representa o limite superior de água disponível no solo.

Coefficiente de cultura – Coeficiente empírico que permite calcular a evapotranspiração da cultura, para determinada fase de desenvolvimento de plantas, a partir da evapotranspiração de referência.

Condutividade elétrica da água – Propriedade que representa a capacidade de a água conduzir corrente elétrica, sendo proporcional à concentração de sais dissolvidos na água e, portanto, uma medida indireta de salinidade.

Curva de retenção de água no solo – Característica físico-hídrica do solo que relaciona a percentagem de água contida com a tensão matricial no solo.

Déficit hídrico – Resultado negativo entre a necessidade de água de uma cultura (população vegetal) e a quantidade de água que lhe é oferecida.

Demanda evaporativa – Capacidade que a atmosfera tem em evaporar água e, conseqüentemente, afetar a evapotranspiração da cultura.

Disponibilidade total de água no solo – Água armazenada no solo no intervalo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Doença de parte aérea – Doença provocada por patógenos que infectam e passam a maior parte do seu ciclo de vida na parte aérea das plantas, como caules, folhas, flores e frutos.

Doença de solo – Doença provocada por patógenos que passam a maior parte do seu ciclo de vida no solo e que podem infectar raízes, caules e/ou sistemas vasculares de plantas.

Dossel – Cobertura vegetal existente acima do solo, numa comunidade de plantas.

Drenagem – Processo em que a água em excesso no solo move para as camadas mais profundas pela atração do campo gravitacional da Terra. Solos de textura grossa apresentam maior capacidade de drenagem que solos de textura fina.

Eficiência de aplicação – Fração do total de água aplicada pelo sistema de irrigação que efetivamente atinge a superfície do solo e/ou as plantas.

Eficiência de irrigação – Expressa a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação.

Escoamento superficial – Escoamento da água de chuva ou irrigação sobre a superfície do solo.

Evapotranspiração da cultura – Soma da lâmina de água evaporada do solo e da transpirada pela cultura, por unidade de tempo.

Evapotranspiração de referência – Taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, similar à grama batatais, sem restrições de desenvolvimento e com altura de 12 cm.

Fase da cultura – Período ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura caracterizado por alterações de ordem fisiológica e/ou de necessidade de água das plantas.

Fator de reposição de água ao solo – Fração da água total disponível no solo que pode ser utilizada pelas plantas sem que ocorra prejuízos à produção da cultura.

Fertirrigação – Processo de aplicação parcelada de nutrientes às plantas via água de irrigação, também denominado fertirrigação.

Geadas – Fenômeno atmosférico de resfriamento intenso, acompanhado, ou não, de deposição de gelo cristalino sobre a superfície do solo, das plantas e de superfícies expostas ao ar – na agricultura, provoca redução ou perda da produção.

Geadas brancas – Deposição de gelo cristalino, resultante do congelamento do vapor d'água do ar, sobre a superfície do solo, das plantas e de superfícies expostas ao ar. Está associada ao intenso resfriamento noturno, em noites de céu limpo, e existência de umidade no ar.

Geadas negras – Não é no sentido estrito uma geada, mas uma condição atmosférica de frio intenso que provoca o congelamento de estruturas internas das plantas, sem que haja deposição de gelo sobre superfícies expostas – as plantas ficam escuras, queimadas e morrem. Ocorre quando o ar é extremamente frio, extremamente seco e o vento tem intensidade moderada a forte.

Inseto-praga – Qualquer tipo de inseto que, ao se proliferar de forma desordenada ou fora de seu ambiente natural, pode causar algum tipo de dano às plantas cultivadas.

Intensidade de aplicação de água – Lâmina de água aplicada por unidade de tempo por um sistema de irrigação por aspersão.

Irrigas® – Equipamento de baixo custo para avaliar a tensão de água no solo e a necessidade de se irrigar uma cultura.

Lâmina de água – Quantidade de água expressa como altura acumulada sobre uma superfície plana e impermeável, na ausência de evaporação. A saber, 1 mm (0,001 m) de água aplicado em 1 ha (10.000 m²) representa um volume de 10.000 L (10 m³), ou seja, 0,001 m x 10.000 m² = 10 m³.

Lâmina de água facilmente disponível no solo – Refere-se à lâmina máxima de água armazenada no solo que pode ser usada pela cultura sem que haja prejuízo à produção.

Lâmina de água real necessária – Refere-se à água consumida pela cultura entre duas irrigações consecutivas, incluindo a água perdida por evaporação.

Lâmina de água total necessária – Refere-se à lâmina de água a ser aplicada por irrigação para que o solo retorne à condição de capacidade de campo, levando-se em consideração o fato de o sistema de irrigação não ser 100% eficiente.

Linha lateral – Tubulação fixa ou portátil onde são instalados os aspersores ou gotejadores.

Lixiviação – Processo de perda de nutrientes, sais ou qualquer outro elemento químico, carregados pela água de irrigação ou da chuva, abaixo da zona radicular das plantas.

Manejo da água de irrigação – Conjunto de procedimentos visando determinar o momento adequado de se irrigar e a quantidade correta de água a ser aplicada a cada irrigação.

Normais climatológicas – Valores mensais de parâmetros meteorológicos, como de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos através do cálculo das médias históricas de períodos padronizados de 30 anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, 1931 a 1960 ou 1961 a 1990.

Planta daninha – Qualquer espécie vegetal indesejável que cresce em local e momento inadequados, e que compete por água, luz e nutrientes com a cultura principal.

Ponto de orvalho – Temperatura a qual o vapor de água presente no ar condensa, formando orvalho.

Precipitação efetiva – Parte da precipitação pluvial que pode ser efetivamente utilizada pela cultura, ou seja, é igual à precipitação pluvial menos as perdas por escoamento superficial e por drenagem abaixo das raízes da cultura.

Pressão de serviço – Valor médio da pressão da água na saída de emissores (gotejadores ou bocais de aspersores) durante a operação de um sistema de irrigação, geralmente expressa em kilo Pascal (kPa). Para conversão de unidade usar: 1 kPa = 0,01020 kgf cm⁻² = 0,00987 atm = 0,10197 mca = 0,14504 psi.

Profundidade efetiva do sistema radicular – Representa a camada de solo onde estão contidas cerca de 80% das raízes da cultura.

Salinidade – Medida de concentração de sais minerais dissolvidos na água de irrigação ou solução do solo.

Senescência – Processo natural de amadurecimento, quando as folhas amarelecem e começam a cair das plantas.

Sensor capacitivo – Equipamento usado para a determinação indireta da umidade do solo a partir da medição da constante dielétrica do solo pelo princípio da capacitância elétrica.

Sensor TDR – Equipamento usado para a determinação indireta da umidade do solo a partir da medição da constante dielétrica do solo pela técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (Time Domain Reflectometry).

Solo pesado – Solo com alto teor de argila, pequena fração de macroporos e baixa velocidade de infiltração de água.

Substrato – Qualquer material de origem orgânica ou mineral que sirva de base para o desenvolvimento de plantas, incluindo o próprio solo.

Tanque Classe A – Tanque de evaporação de água, com 121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade, construído em aço inoxidável ou ferro galvanizado.

Tanque de diferencial de pressão – Tanque fechado que libera gradativamente a solução de fertilizantes existente em seu interior para dentro da tubulação de irrigação juntamente com parte da água que é forçada a passar dentro do tanque.

Temperatura de bulbo úmido – Temperatura indicada por um termômetro cujo bulbo está envolto por um pavio ou mecha umedecido de água.

Temperatura de relva – Temperatura do ar próxima à superfície do solo ou da vegetação rasteira.

Tempo real – Em se tratando de manejo de irrigação, indica o uso de metodologia e/ou equipamentos que permita determinar, diariamente ou a qualquer momento, a evapotranspiração da cultura e/ou a disponibilidade de água no solo.

Tensão de água no solo – Força com que a água é retida pela matriz (partículas) do solo. À medida que aumenta a tensão, maior é a “força de retenção” e mais difícil é para as plantas extraírem água do solo.

Tensão-limite de água no solo – Tensão de água no solo na qual a irrigação deve ser feita para potencializar a produção de uma determinada cultura.

Tensiômetro – Equipamento usado para determinar, de forma direta, o componente matricial da tensão de água no solo, na faixa até 80 kPa.

Textura do solo – Característica física do solo definida de acordo com o tamanho e com a distribuição de suas partículas.

Turno de rega – Número de dias ou fração de dia entre duas irrigações consecutivas ou simplesmente intervalo entre irrigações.

Uniformidade de distribuição de água – Uniformidade com que o sistema de irrigação distribui a água na área irrigada.

Velocidade de infiltração de água no solo – Velocidade com que a água se infiltra no perfil do solo. Diminui gradativamente com aumento do tempo de aplicação da água até atingir um valor quase constante, denominado de velocidade de infiltração básica.

Venturi – Dispositivo de baixo custo que usa a velocidade da água, passando em seu interior, para gerar pressão negativa capaz de succionar a solução de fertilizantes contida em um depósito para dentro da tubulação de irrigação.

**Circular
Técnica, 158**

Embrapa Hortaliças
Endereço: Rodovia BR-060, trecho Brasília-Anápolis,
km 9, Caixa Postal 218, CEP 70275-970,
Brasília-DF,
Fone: (61) 3385-9000
Fax: (61) 3556-5744
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac
www.embrapa.br/hortaliças

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



1ª edição
1ª impressão (2017): 1.000 exemplares

**Comitê de
Publicações**

Presidente: Jadir Borges Pinheiro
Editora Técnica: Mariana Rodrigues Fontenelle
Secretária: Gislaine Costa Neves
Membros: Carlos Eduardo Pacheco Lima
Raphael Augusto de Castro e Melo
Ailton Reis
Giovani Olegário da Silva
Iriani Rodrigues Maldonade
Alice Maria Quezado Duval
Jairo Vidal Vieira
Rita de Fátima Alves Luengo

Expediente

Supervisora Editorial: Caroline Pinheiro Reyes
Bibliotecária: Antônia Veras de Souza
Editoreção eletrônica: André L. Garcia