

Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças

98

**Circular
Técnica**

Brasília, DF

Dezembro, 2011

2ª edição

(1ª edição, 1998)

Autores

Waldir A. Marouelli
waldir@cnph.embrapa.br
Eng. Agríc., Ph.D.
Embrapa Hortaliças
C.P. 218, Brasília, DF
70.351-970

Washington L.C. Silva
wash.silva@uol.com.br
Eng. Agr., Ph.D.
Embrapa Hortaliças
(aposentado)
C.P. 218, Brasília, DF
70.351-970



Fotos: Waldir A. Marouelli



Introdução

As hortaliças, de um modo geral, têm desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. Mesmo em regiões úmidas ou durante a estação chuvosa, a deficiência de água no solo, quando da ocorrência de veranicos, é frequentemente fator limitante para a obtenção de produtividades elevadas e de boa qualidade. Assim, a suplementação das necessidades hídricas das plantas por meio da irrigação é essencial para o sucesso da produção da maioria das hortaliças.

A produtividade e a qualidade das hortaliças também podem ser prejudicadas dependendo da forma com que a água é aplicada às plantas. A adoção de um sistema de irrigação que não seja adequado para a cultura pode inviabilizar todo empreendimento, haja vista o alto custo de produção e o elevado valor econômico da maioria das hortaliças e o alto custo de aquisição, operação e manutenção dos sistemas de irrigação.

Muito embora os sistemas de irrigação por aspersão sejam destacadamente os mais utilizados no Brasil, nenhum sistema pode ser considerado ideal para todas as situações e capaz de atender a todos os interesses e necessidades envolvidos. Também não se deve adotar um determinado sistema só porque muitos produtores o empregam. As vantagens e as desvantagens de cada sistema devem ser consideradas para cada caso específico, de modo a permitir a seleção daquele que seja mais adequado para cada situação.

A escolha do sistema de irrigação deve ser baseada na análise de viabilidade técnica e econômica do empreendimento, por meio da avaliação detalhada de fatores físicos, agrônômicos, sociais e econômicos envolvidos, dentre outros.

A presente publicação, destinada a produtores e técnicos ligados à área de produção de hortaliças, tem por objetivo apresentar um procedimento simplificado para a seleção de sistemas de irrigação. O procedimento pode reduzir os riscos do empreendimento, ao mesmo tempo de possibilita que o sistema selecionado apresente melhor desempenho.

Sistemas de Irrigação

Existem diferentes sistemas de irrigação que podem ser utilizados na produção de hortaliças. Todos os sistemas apresentam características próprias, com custos variáveis, vantagens e desvantagens. Dependendo da forma com que a água é aplicada às plantas, os sistemas podem ser agrupados nos seguintes métodos de irrigação: superficial, subsuperficial, aspersão e localizado.

Irrigação superficial

O método de irrigação superficial compreende os sistemas por sulco, faixa, corrugação e inundação, nos quais a condução e a distribuição da água são feitas diretamente sobre a superfície do solo a ser irrigado.

Os sistemas superficiais são, geralmente, os que requerem menor investimento inicial e menor uso de energia. Adaptam-se à maioria dos solos, com exceção daqueles com altas taxas de infiltração, como os arenosos, mas requerem terrenos planos ou sistematizados. Os custos para aquisição e implantação do sistema podem aumentar substancialmente caso o terreno necessite de intensiva sistematização.

São os sistemas que mais demandam mão-de-obra e água e podem favorecer a salinização e a erosão do solo. Por não molharem a parte aérea das plantas, os sistemas superficiais pouco interferem na aplicação de agrotóxicos.

No Brasil, a irrigação por sulco é utilizada principalmente para as hortaliças tutoradas e/ou que

requerem pulverizações frequentes, como a ervilha-torta, o pimentão e o tomate. O sistema também tem sido utilizado em hortaliças como melancia e melão e na produção de sementes de hortaliças de frutos secos (cenoura, cebola etc.), dentre outras.

No Vale do São Francisco, a cultura de cebola tem sido irrigada por pequenas bacias de inundação temporária. Os sistemas por faixa e por corrugação são muito pouco utilizados no Brasil. Corrugação adapta-se melhor às culturas com alta densidade de plantio, como a ervilha, a lentilha e o grão-de-bico.

Irrigação subsuperficial

No método de irrigação subsuperficial, a água é aplicada sob a superfície do solo por meio da criação e do controle de um lençol freático¹. O lençol é mantido a uma profundidade fixa preestabelecida (sistema com lençol freático fixo), em função da cultura, do estágio de desenvolvimento das plantas e do tipo de solo. A umidade atinge a zona radicular da cultura em consequência da ascensão capilar da água. O lençol pode ainda ser elevado e rebaixado periodicamente (sistema com lençol freático variável), conforme as necessidades hídricas da cultura, pelo fechamento e abertura de comportas. Ambos os sistemas podem ser projetados concomitantemente com o sistema de drenagem da área.

A irrigação subsuperficial é caracterizada pelo baixo investimento inicial e baixa utilização de energia e mão-de-obra. Requer, todavia, solos planos ou sistematizados, com camada de solo permeável sobrepondo uma camada impermeável em torno de 1,5 m de profundidade. Por ser aplicada abaixo da superfície do solo, a água não lava os agrotóxicos aplicados à folhagem. Em condições de solo e água salina, o sistema favorece a salinização do solo.

No Brasil, a irrigação subsuperficial tem sido usada de forma incipiente na irrigação de hortaliças. A exceção é a cultura da melancia, amplamente irrigada por esse sistema na bacia do Rio Araguaia nos Estados de Goiás e Tocantins.

Estudos realizados na Embrapa Hortaliças indicaram que a irrigação subsuperficial é tecnicamente

¹ Depósito natural de água existente ou que se forma sobre uma camada impermeável subterrânea.

recomendada para a produção de várias hortaliças, como o alho, o feijão-de-vagem e o milho-doce; para cenoura e cebola mostrou-se inviável. Na Flórida, a área de hortaliças irrigada por meio do manejo do lençol freático é expressiva, sendo o método mais comumente usado para a produção de tomateiro, dentre outras hortaliças.

Irrigação por aspersão

Aspersão é o método em que a água é aplicada na forma de chuva, com destaque para os sistemas: convencional² portátil, semiportátil e fixo; autopropelido; deslocamento linear; e pivô central.

Em relação aos sistemas superficiais, a aspersão requer menor uso de mão-de-obra e possibilita melhor distribuição de água sobre a superfície do solo. Pode ser usada para qualquer tipo de solo e topografia. Permite a automação e a aplicação de fertilizantes e de agrotóxicos via água de irrigação.

A aspersão, além de ser o método com maior demanda de energia, sofre interferência do vento e, em condições de clima seco e quente, tem a eficiência prejudicada pela alta evaporação. Ainda, a água aspergida sobre as plantas pode lavar os agrotóxicos aplicados à folhagem e favorecer maior ocorrência de doenças na parte aérea, além de prejudicar a polinização.

Os sistemas por aspersão mecanizados (autopropelido, deslocamento linear e pivô central) e, principalmente, o convencional fixo apresentam custos mais elevados que os sistemas portáteis e semiportáteis, mas requerem uso reduzido de mão-de-obra.

Os sistemas por aspersão convencionais têm sido os mais utilizados para a irrigação de hortaliças no Brasil, especialmente em pequenas áreas de produção. Em grandes áreas, o sistema pivô central tem sido usado para a irrigação de tomate para processamento, milho-doce, cenoura, batata, melancia, dentre outras. O uso do sistema autopropelido, em menor escala, tem se verificado principalmente na cultura da batata.

Irrigação localizada

O método de irrigação localizada compreende os sistemas em que a água é aplicada próximo à planta, em regime de alta frequência e baixo volume, sem molhar toda a superfície do solo. Os principais sistemas de irrigação localizada são por gotejamento e por microaspersão.

Os sistemas localizados são caracterizados pelo uso reduzido de energia e de mão-de-obra e por eficiente uso de água e fertilizantes. Algumas outras vantagens são: pequena interferência nas práticas culturais; possibilidade do uso de água com certo grau de salinidade; podem ser utilizados em diferentes tipos de solos e declividades; e permitem a automação total da irrigação. As principais limitações são o alto investimento inicial e o risco de entupimento de gotejadores.

Na irrigação localizada, a água também pode ser aplicada abaixo da superfície do solo, junto às raízes da planta, por meio de tubos gotejadores, tubos porosos ou cápsulas porosas enterradas.

As principais vantagens do gotejamento subterrâneo ou subsuperficial são a menor interferência nos tratamentos culturais, redução nas perdas de água por evaporação e redução potencial na ocorrência de doenças. Todavia, há maiores riscos de entupimento devido à sucção de detritos na despressurização da tubulação e à entrada de raízes de plantas dentro dos gotejadores. Para mitigar tais problemas devem-se usar ventosas, gotejadores com dispositivos anti-sucção e injetar herbicidas apropriados periodicamente.

Uma limitação do uso do gotejamento em culturas de ciclo curto, como é o caso da maioria das hortaliças, é a necessidade de remoção das tubulações e das linhas de gotejadores do campo ao final de cada safra.

Muito embora a área de hortaliças irrigadas por sistemas localizados no Brasil seja muito inferior à irrigada por aspersão, seu uso tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas. Apesar do custo ainda elevado, comparativamente aos sistemas superficiais e por aspersão, o gotejamento é uma alternativa viável para várias hortaliças, como o tomate, o pimentão e o melão, pois possibilita aumento expressivo da produtividade e da qualidade de frutos. O sucesso depende, todavia, de um

² A designação convencional está ligada ao aspecto histórico da introdução desses sistemas de irrigação no país.

manejo eficiente da água de irrigação e do uso efetivo da fertirrigação, em especial da aplicação de nitrogênio e de potássio.

Diferentemente do que ocorre em fruteiras, o sistema por microaspersão localizada tem uso restrito na irrigação de hortaliças. Isso porque o espaçamento entre plantas, na maioria das espécies, é reduzido e o uso da microaspersão geralmente acarreta no molhamento de toda a superfície do solo. Nesse caso, o sistema deve ser considerado como aspersão convencional e não como microaspersão localizada. Um caso típico de microaspersão localizada seria no seu uso para a irrigação da cultura da melancia.

Aspectos Técnicos

Diversos fatores devem ser considerados na análise de viabilidade técnica visando selecionar os sistemas de irrigação que sejam mais apropriados para determinada condição. Dentre os principais fatores, podemos destacar aqueles relacionados à cultura (agronômicos e fitossanitários), ao solo, ao clima e ao próprio sistema de irrigação.

Fatores agrônômicos

A espécie a ser cultivada, com suas características próprias, como densidade e sistema de plantio, altura de plantas, profundidade do sistema radicular e necessidades hídricas, é um dos principais fatores a ser considerado na seleção do sistema de irrigação.

Irrigação por sulco adapta-se melhor às hortaliças cultivadas em linha, como o tomate, a berinjela e o milho-doce, mas também pode ser utilizado para aquelas com alta densidade de plantio, como a cenoura e a alface, cultivadas em canteiros com largura entre 0,4 m e 0,8 m. Para hortaliças com espaçamento reduzido deve-se utilizar, por exemplo, sistemas por aspersão, faixa ou corrugação. Dentre esses, a aspersão pode ser usada para hortaliças com todas as densidades de plantio, das mais adensadas às mais espaçadas.

O gotejamento adapta-se bem a sistemas de plantio em linha, em especial para aquelas hortaliças com espaçamento de pelo menos 0,8 m entre linhas, onde a aplicação localizada de água é desejável

pelas vantagens que o sistema oferece. Por razões econômicas, o gotejamento tem seu uso limitado para hortaliças com alta densidade de plantio, como as folhosas. Uma exceção é quando o cultivo é realizado em canteiros cobertos com filme plástico, como é o caso do morangueiro, pois a cobertura do solo com filme plástico prejudica o uso da aspersão. Nesse caso, a irrigação subsuperficial também pode ser utilizada.

Nos últimos anos, o uso do gotejamento tem crescido principalmente em hortaliças que têm o rendimento prejudicado em função do molhamento da parte aérea, com maior espaçamento entre fileiras de plantas e/ou com alto custo de produção, como o melão, o tomate para mesa, o pimentão e o morango.

A aspersão, principalmente quando o tamanho de gotas é grande, pode reduzir a produtividade de hortaliças do tipo fruto (tomate, pimentão, berinjela etc.), quando realizada durante o período de floração. Prejudica também a produção de sementes de hortaliças de frutos secos, como a cenoura, a cebola, o coentro e a salsa. O impacto das gotas pode prejudicar a polinização, favorecer a queda de flores e o abortamento de frutos. O problema é minimizado quando se utiliza aspersores com bocais de menor diâmetro e maior pressão de serviço.

A altura das plantas não limita a utilização de sistemas por superfície, por subsuperfície e localizados, mas pode limitar o uso da aspersão. Nesse caso, os aspersores devem ser posicionados acima do dossel da cultura para que a uniformidade de distribuição de água não seja comprometida. O impacto do jato de água pode causar danos mecânicos às plantas próximas aos aspersores. Também para não comprometer a uniformidade de distribuição de água, os tubos de elevação dos aspersores devem ficar em posição vertical.

Cultivos tutorados, como de tomate, de feijão-de-vagem e de chuchu, dificultam o uso dos sistemas de aspersão convencional portátil e semiportátil, que requerem mudanças periódicas de posição das linhas laterais. Para mudança dos aspersores e das laterais, deve-se ter cuidado para não machucar as plantas e danificar a estrutura de tutoramento.

Hortaliças exigentes em água e com sistema radicular superficial, principalmente quando

cultivadas em solos com baixa capacidade de retenção de água, requerem irrigações leves e frequentes. Isso inviabiliza o uso de sistemas de irrigação superficiais, pois a eficiência de irrigação desses sistemas está diretamente relacionada à lâmina de água aplicada. Irrigações em regime de alta frequência requerem uso intensivo de mão-de-obra em sistemas superficiais e por aspersão convencional portátil e semiportátil. Os sistemas mais indicados para irrigações frequentes são por aspersão convencional fixo e por gotejamento. Sistemas por aspersão mecanizados podem ser usados desde que sejam capazes de irrigar toda a área dentro do turno de rega requerido pela cultura.

Fatores fitossanitários

Os aspectos fitossanitários relacionados às hortaliças são também muito importantes na seleção de sistemas de irrigação, pois a ocorrência de insetos-pragas e, principalmente, de doenças está intimamente relacionada à forma com que a água é aplicada às plantas. Algumas hortaliças, como o tomate para mesa e o pimentão, requerem tratamentos fitossanitários sistemáticos, o que desaconselha o uso da aspersão. A aplicação de água sobre a parte aérea das plantas propicia condições de alta umidade junto à folhagem e favorece o desenvolvimento de doenças fúngicas e bacterianas, além de remover parte dos agrotóxicos aplicados. Assim, os sistemas subsuperficiais, por sulco e por gotejamento são os mais indicados para hortaliças que requerem pulverizações frequentes.

A irrigação por sulco pode atuar como veículo na disseminação de fungos e bactérias de solo ao longo dos sulcos e agravar, por exemplo, a ocorrência da murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) em cultivos de batata e de tomate, por exemplo. Irrigação por sulco em solos pesados, quando realizada em excesso, faz com que a umidade do solo permaneça acima da capacidade de campo por longos períodos de tempo, prejudicando a aeração do solo e favorecendo, principalmente, a ocorrência de doenças bacterianas, como as provocadas por *Erwinia* spp.

Por não lavarem a parte aérea das plantas, os sistemas superficiais, subsuperficiais e por gotejamento podem favorecer a maior ocorrência de ácaros e insetos como os pulgões e a traça-do-

tomateiro. O emprego desses sistemas, durante períodos prolongados de ausência de chuvas, também favorece maior ocorrência de oídio em pimentão, tomate, chuchu, dentre outras hortaliças. No caso desse patógeno, a aplicação da água diretamente à folhagem por meio da irrigação por aspersão permite que os esporos sejam lavados, reduzindo sua ocorrência.

Como se percebe, os sistemas que molham a folhagem (aspersão) favorecem várias doenças fúngicas e bacterianas na parte aérea, mas podem ter um efeito redutor em outras doenças (oídio) e insetos-pragas. Já os sistemas superficiais e localizados minimizam a ocorrência de doenças na parte aérea, mas podem favorecer alguns insetos-pragas e oídio. Assim, a escolha do sistema de irrigação deve visar o melhor equilíbrio fitossanitário, que depende de vários fatores, como espécie de planta cultivada e condições climáticas predominantes.

Na produção de sementes de hortaliças de frutos secos (cenoura, cebola, coentro etc.), a irrigação por aspersão durante a maturação de sementes, quando associada a temperaturas elevadas, afeta negativamente a germinação e o vigor de sementes, especialmente por favorecer a ocorrência de doenças.

Um sistema largamente adotado, principalmente para hortaliças cultivadas em larga escala e/ou destinadas ao processamento, como a cenoura, o tomate e o milho-doce, é o pivô central de baixa pressão. Esse sistema tem como vantagens o uso reduzido de mão-de-obra, maior uniformidade na distribuição de água e menor uso de energia em relação a outros sistemas por aspersão. A desvantagem é que o equipamento não pode ser mudado de área com facilidade. Desse modo, o manejo impróprio do solo, da irrigação e a rotação inadequada de culturas favorecem uma maior ocorrência e acúmulo de patógenos no solo. Nas últimas décadas, a alta infestação do fungo do mofo branco ou podridão-de-esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*) inviabilizou o cultivo de ervilha, de feijão e de tomate para processamento em muitos pivôs centrais no Brasil Central.

Sob pivô central, as condições ambientais também são muito favoráveis para a disseminação de bactérias como *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*

e *Xanthomonas vesicatoria*. Assim, quando não for possível realizar rotação de culturas de forma eficiente e econômica, a melhor opção é a seleção de sistemas de irrigação fáceis de serem movidos para outras áreas. Existem no mercado pivôs centrais rebocáveis, os quais podem ser deslocados para áreas adjacentes com alguma flexibilidade.

Como se vê, o uso de um sistema de irrigação adequado associado ao bom manejo da água de irrigação e do solo pode mitigar muitos dos problemas fitossanitários das hortaliças.

Topografia e formato do terreno

Terrenos com declividade acentuada e/ou superfícies muito irregulares limitam o uso da irrigação superficial e subsuperficial. Para terrenos com tais características, a opção é o uso de sistemas de irrigação por aspersão convencional, gotejamento, microaspersão ou até mesmo pivô central com reguladores de pressão.

Dentre os sistemas superficiais, admitem-se declividades de até 2% para sulco e inundação, 7% para sulco em contorno e faixa, e 10% para corrugação. A susceptibilidade do solo à erosão é o principal fator na determinação da declividade para os sistemas superficiais. Alguns dos sistemas por aspersão podem operar em declives de até 20% ou mais, enquanto os sistemas localizados podem ser utilizados em declives de até 60%, principalmente se forem utilizados gotejadores autocompensantes, ventosas e reguladores de pressão.

O formato do terreno também pode ser fator decisivo na seleção do sistema de irrigação. Os sistemas por aspersão convencional, sulco em contorno e gotejamento podem irrigar áreas de qualquer formato. Sistemas tipo autopropelido, deslocamento linear, superficiais por sulco e por faixa irrigam áreas retangulares, enquanto o pivô central irriga área circular.

Tipo de solo

Sistemas de irrigação superficiais não são recomendados para solos com alta capacidade de infiltração e baixa capacidade de retenção de água, como os arenosos, devido às grandes perdas por percolação profunda e por requererem irrigações

leves e frequentes. Solos com tais características físico-hídricas não permitem o uso de sulcos ou faixas de irrigação com comprimento mínimo que possa viabilizar economicamente a adoção dos mesmos. Por outro lado, os sistemas por aspersão e localizados adaptam-se a praticamente qualquer tipo de solo. Irrigação subterrânea com gotejamento ou tubos porosos também pode ser empregada em qualquer tipo de solo, importando aí a profundidade de instalação e o manejo no que diz respeito à frequência e ao volume de água a ser aplicado.

Os sistemas de irrigação por inundação temporária e por bacias em nível adaptam-se a solos “pesados” (permeabilidade baixa a moderada). Para os subsuperficiais, deve existir uma camada de solo permeável (arenoso, orgânico ou argiloso estruturado) sobrepondo uma camada com baixa permeabilidade.

O uso de sistemas superficiais em solos com capacidade de infiltração muito baixa pode trazer problemas para várias hortaliças. Sob essas condições há tendência da formação de uma lâmina de água sobre o solo, que pode permanecer por períodos muitas vezes acima de doze horas, prejudicando a aeração do solo e favorecendo a ocorrência de doenças de solo. Certas hortaliças, como a batata e a cenoura, não toleram tais condições, podendo ser muito prejudicadas.

Fatores climáticos

A influência do clima na seleção do sistema de irrigação está relacionada basicamente às condições de vento e à demanda evaporativa da atmosfera. Diferentemente da aspersão, os sistemas superficiais, subsuperficiais e localizados são muito pouco afetados pelo clima.

Irrigação por aspersão não é recomendada em regiões com alta incidência de ventos (> 6 m/s). Ventos acima desse limite provocam alta perda de água por deriva para fora da área cultivada e afetam a distribuição de água pelos aspersores, prejudicando a uniformidade da irrigação. Sistemas por aspersão, principalmente aqueles que produzem gotas muito pequenas, também devem ser evitados em condições de baixa umidade relativa e alta temperatura do ar, em razão da grande perda de

água por evaporação, salvo onde o resfriamento do microclima e/ou a redução da demanda evaporativa da atmosfera sejam desejáveis.

O sistema por aspersão convencional fixo é o único que pode ser utilizado para mitigar danos causados por geadas às plantas, devido aos processos de troca de calor envolvidos entre a água, a planta e a atmosfera.

Quantidade e qualidade da água

Os recursos hídricos disponíveis para irrigação devem ser avaliados em função da vazão disponível, no caso de rios, riachos e poços, ou do volume total, no caso de lagos, represas e açudes.

Sistemas com maior eficiência no uso de água, como o gotejamento (80-95%), devem ser preferidos em regiões onde a disponibilidade de água é limitada e/ou seu custo elevado. Ao contrário, os sistemas por superfície são caracterizados por baixa eficiência, geralmente entre 40% e 70%, e, por isso, devem ser evitados em condições onde a água é fator limitante.

O uso de água com excesso de sedimentos e/ou de substâncias químicas, como os carbonatos, limita a utilização de sistemas por aspersão, por microaspersão e, principalmente, por gotejamento, a menos que se usem equipamentos de filtragem e corretivos químicos.

Águas contaminadas por agentes patogênicos não devem ser utilizadas para a irrigação de hortaliças que são consumidas "*in natura*", principalmente se o sistema for por aspersão. Dependendo da hortaliça e do grau de contaminação da água, sistemas superficiais, subsuperficiais e localizados podem ser utilizados desde que com supervisão técnica.

Em casos de solos ou águas salinas, a distribuição de sais solúveis no perfil do solo está relacionada às características de aplicação de água pelo sistema de irrigação, uma vez que a concentração salina acompanha a direção do movimento da água no solo. No sistema por sulco, por exemplo, os níveis de salinidade são menores nas imediações onde a água é aplicada, aumentando lateralmente e em profundidade, conforme o avanço do perímetro molhado. A maior concentração de sais ocorre na

região superficial entre dois sulcos adjacentes onde, em regra, a planta está localizada.

Nos sistemas por aspersão, a concentração salina aumenta com a profundidade a partir da superfície. Como a maior parte da água absorvida pelas raízes ocorre nas camadas superficiais, a irrigação por aspersão favorece as plantas no que diz respeito à distribuição de sais no perfil. Como desvantagem, tem-se que a aplicação de água salina sobre a vegetação pode agravar problemas de toxicidade e a deposição de sais sobre as folhas e os frutos pode prejudicar a qualidade do produto.

A aplicação de água junto às raízes torna o sistema por gotejamento favorável para condições salinas. Ademais, o sistema possibilita alta frequência de irrigação, o que reduz os efeitos osmóticos indesejáveis dos sais presentes na solução do solo. O uso do gotejamento subterrâneo, por outro lado, resulta em indesejável distribuição de sais, pois parte dos sais migram para a superfície do solo.

Eficiência de irrigação

A eficiência de irrigação engloba a uniformidade com que a água é distribuída pelo sistema sobre a superfície do solo e as perdas de água durante a irrigação, seja por escoamento superficial, evaporação, deriva pelo vento e/ou drenagem profunda. Expressa a relação entre a lâmina de água requerida pela cultura e a lâmina total que deve ser aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade.

Todo sistema de irrigação aplica água com certo grau de desuniformidade. A eficiência depende de fatores inerentes ao próprio sistema, do dimensionamento hidráulico, da manutenção e manejo do sistema e das condições de solo e de clima. Assim, a eficiência que cada sistema pode apresentar em condições normais de campo deve ser levada em consideração no processo de seleção.

Menor eficiência de irrigação é observada especialmente nos sistemas superficiais, onde as principais perdas são por drenagem profunda e por escoamento superficial. Na aspersão, as perdas se dão por evaporação, deriva para fora da área irrigada e drenagem; escoamento superficial pode ocorrer em solos com baixa capacidade

de infiltração quando o sistema de irrigação é mal dimensionado. A principal perda de água na irrigação localizada é devido à drenagem profunda.

Valores médios de eficiência de irrigação para diferentes sistemas são apresentados na Tabela 1. Sistemas com problemas de dimensionamento e de manutenção apresentam eficiências muito menores.

Quanto menor a uniformidade de distribuição de um sistema, maior a quantidade de água que deve ser aplicada a fim de garantir que uma máxima fração da área irrigada receba pelo menos a lâmina mínima requerida pela cultura. Portanto, uma expressiva fração da área receberá água em excesso, causando perdas por drenagem profunda e, até mesmo, por escoamento superficial, enquanto a outra fração receberá menos água que a necessária. Em ambas as situações, o rendimento da cultura será prejudicado.

Hortaliças mais sensíveis ao estresse hídrico (falta ou excesso de água) e de alto valor econômico devem ser irrigadas preferencialmente por sistemas que apliquem água com maior uniformidade, de forma a não comprometer a produtividade e a qualidade do produto. Irrigações mais uniformes reduzem a fração de área com excesso de umidade e, por conseguinte, problemas de aeração e de doenças bacterianas, além de reduzir a lixiviação de nutrientes e o gasto de água e de energia.

Quimigação

Outro importante aspecto na seleção do sistema de irrigação é a possibilidade do uso da quimigação, ou seja, aplicação de fertilizantes, agrotóxicos ou qualquer outro químico via água de irrigação.

Quimigação é possível de ser realizada com todos os sistemas de irrigação, sendo aqueles com alta

Tabela 1. Valores de eficiência da irrigação, custo inicial uso de energia e de mão-de-obra requerida para os principais sistemas de irrigação que podem ser utilizados na produção de hortaliças.

Método	Sistema	Eficiência (%)	Custo inicial ^a (R\$/ha)	Energia ^b (kWh/mm/ha)	Mão-de-obra ^c (h/ha/irrig.)
Superficial	Sulco	40 - 70	1.500-4.000	0,3 - 3,0	1,0 - 5,0
	Corrugação	40 -70	1.200-3.000	0,3 - 3,0	1,0 - 3,0
	Faixa	50 -75	1.500-4.000	0,3 - 3,0	0,5 - 2,5
	Inundação ^d	50 - 70	1.500-3.500	0,3 - 3,0	0,7-3,0
Subsuperficial	Lençol freático fixo	40 - 70	1.200 -3.000	0,0 - 0,5	0,5 - 2,0
	Lençol freático variável	40 - 70	1.500 - 3.500	0,0 - 0,5	0,7 -4,0
Aspersão	Convencional portátil	60 - 75	2.000 -4.500	3,0 - 6,0	1,5 - 3,5
	Convencional semiportátil	60 - 75	3.000-5.500	3,0 - 6,0	0,7 - 2,5
	Convencional fixo	70 - 80	7.000-15.000	3,0 - 6,0	0,2 - 0,5
	Autopropelido	60 - 70	4.000 -6.000	6,0 - 9,0	0,5 - 1,0
	Pivô central	75 - 90	4.500 -9.000 ^e	2,0 - 6,0	0,1 - 0,7
	Deslocamento linear	75 - 90	5.000 -10.000 ^e	2,0 - 6,0	0,3 - 1,0
Localizado	Gotejamento	80 - 95	7.000 -18.000 ^f	1,0 - 4,0	0,2-1,0
	Microaspersão	80 - 90	5.000 -15.000	1,5 - 4,0	0,1 - 0,5

^aValores referentes à 2009/2010. Depende do nível de automação, tipo de hortaliça, qualidade de equipamento, tamanho da área, dentre outros. Inclui-se os custos de bombeamento/condução de água, adequação/sistematização do terreno e/ou aquisição/instalação do sistema.

^b Estimado para uma altura de recalque entre 0-50 m, exceto para irrigação subsuperficial (0-10 m). Dividir kWh/mm/ha por 3,2 para estimar litros de diesel/mm/ha.

^c Depende do nível de automação do sistema, eficiência gerencial, tamanho de setores, dentre outros fatores.

^d Inundação temporária em pequenos tabuleiros ou bacias.

^e Para pivôs com áreas inferiores a cinco hectares o custo pode superar R\$15.000/ha.

^f Para pequenas áreas de estufa este valor pode superar R\$30.000/ha.

Fonte: adaptado de Pairet al. (1983), Scaloppi (1985) e Clemmens & Dedrick (1994).

eficiência, como o gotejamento e o pivô central, os mais recomendados. Contudo, independentemente do sistema utilizado, devem ser tomadas medidas preventivas para evitar contaminações do meio ambiente e mesmo de pessoas e animais. Alguns estados da federação dispõem de regulamentações sobre o assunto. No Distrito Federal, por exemplo, é proibida a aplicação de agrotóxicos via irrigação.

Os sistemas por superfície e gotejamento só permitem a aplicação de químicos à superfície ou ao perfil do solo. A menos que produtos sistêmicos sejam utilizados, esses sistemas não possibilitam o controle de insetos-pragas e de doenças na parte aérea das plantas. Somente os sistemas por aspersão permitem a aplicação de produtos químicos tanto sobre a superfície do solo quanto da planta. Em razão de problemas ambientais e do difícil controle na aplicação de químicos, quimigação não é recomendada para irrigação subsuperficial e superficial.

Dentre os sistemas de irrigação, o gotejamento é o que tem sido utilizado mais efetivamente para aplicação de fertilizantes via água, sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes mais comumente utilizados.

Automação

A escassez de mão-de-obra e a busca pela eficiência tem feito com que alguns produtores de hortaliças busquem a automação de seus sistemas de irrigação, especialmente, em condições de cultivo protegido com irrigação por gotejamento. Embora ainda pouco utilizado, a automação também é possível em sistemas por aspersão tipo pivô central e convencional fixo, dentre outros.

A automação da irrigação se dá basicamente pela utilização de válvulas solenóides ou hidráulicas que são abertas e fechadas automaticamente por meio de comandos previamente estabelecidos em microprocessadores ou controladores de irrigação. Esses controladores, por meio de seus programas, permitem uma larga gama de combinações de frequências, horários e durações das aplicações de água, visando atender às condições específicas de cada caso. Comportas automáticas para canais, chaves automáticas de partida para motobomba, válvulas volumétricas e sensores de umidade

do solo para indicar o momento da irrigação são também dispositivos que permitem automação da irrigação.

Aspectos Econômicos

Diversas variáveis devem ser consideradas na análise de viabilidade econômica visando selecionar os sistemas de irrigação que sejam mais apropriados para uma determinada condição, o que torna muitas vezes o processo trabalhoso. Para a análise devem ser determinados todos os custos e receitas anuais associados com o sistema de irrigação e a produção da hortaliça de interesse.

A partir do levantamento dos custos e das receitas é possível determinar indicadores capazes de inferir sobre a rentabilidade e a viabilidade econômica de diferentes sistemas de irrigação.

Custo total anual

O custo total anual é composto de todas as despesas e gastos mensuráveis utilizados para a produção da hortaliça a ser irrigada. Engloba os custos fixos (depreciação e custo de oportunidade do capital) e os custos variáveis (despesas de custeio).

Custo fixo anual

O custo fixo anual é dado pela soma da depreciação e do custo de oportunidade do capital. No caso da análise para fins de seleção de sistemas de irrigação, o custo fixo total anual pode ser determinado somente considerando o custo associado ao sistema de irrigação. Para facilitar a análise, os custos fixos com máquinas e implementos agrícolas podem ser incluídos aos custos variáveis de produção, pois geralmente não variam em função do sistema de irrigação.

A depreciação ou amortização é um custo indireto que incide sobre os bens de capital produtivos que possuem vida útil de longa duração, porém limitada. Mede a perda gradual do capital investido na aquisição do bem de capital (sistema de irrigação), devido ao desgaste físico do equipamento ao longo de sua vida útil e/ou quando perde valor com o decorrer dos anos devido às inovações técnicas

(obsolescência). Trata-se, portanto, de uma reserva contábil destinada a promover fundos necessários para a substituição futura do sistema de irrigação.

Dentre os diferentes procedimentos para calcular a depreciação, o método direto ou linear é o mais simples e, geralmente, adequado para fins de seleção de sistemas de irrigação. Por esse método, a depreciação média anual é calculada dividindo-se o valor a depreciar do sistema ou equipamento de irrigação pela sua vida útil, ou seja:

$$D_{ma} = \frac{\text{Custo inicial} - \text{Valor de sucata}}{\text{Vida útil (anos)}}$$

Embora a Tabela 1 apresente custos médios para diferentes sistemas de irrigação, o custo inicial do sistema deve ser determinado com base na sua cotação atual. Ao custo inicial do sistema de irrigação devem ser englobados os custos para aquisição e instalação do sistema de irrigação, incluindo os custos para captação, bombeamento e condução da água até a área a ser irrigada, bem como para adequação ou sistematização do terreno ao sistema de irrigação, quando necessário.

Para sistemas de irrigação, em geral, o valor de venda ou de sucata pode ser estimado entre 5% e 10% do investimento. Esse valor pode ainda ser zero ou mesmo negativo se algum custo adicional for requerido para inativação do sistema.

A vida útil depende basicamente das condições de operação e de manutenção do sistema, intensidade de uso e do próprio tipo de equipamento. Na Tabela 2 são apresentados faixas de vida útil para diferentes sistemas e equipamentos de irrigação.

O custo com a aquisição e a instalação de um sistema de irrigação imobiliza certa quantidade de capital que poderia ser empregado em qualquer outra atividade produtiva ou financeira. Assim, em qualquer análise econômica de projeto deve ser considerado o custo de oportunidade ou de remuneração do capital.

Uma forma simplificada de quantificar o custo de oportunidade é baseada no valor médio do bem de capital, considerando o seu custo inicial e o seu valor de sucata. Por esse método, o custo de oportunidade médio anual é computado pela seguinte expressão:

$$CO_{ma} = \frac{\text{Taxa de juro}}{100} \times \frac{\text{Custo inicial} + \text{Valor de sucata}}{2}$$

Para fins de empreendimentos agropecuários, a taxa de juros anual utilizada para análises de viabilidade econômica variam entre 6% e 12%. Para pequenos e médios projetos de irrigação é comum utilizar a taxa de 6%, que é a taxa básica da caderneta de poupança.

Os sistemas de irrigação superficiais e subsuperficiais requerem, em regra, menor investimento inicial, seguidos pelos sistemas por aspersão e gotejamento (Tabela 1). O custo do sistema depende de inúmeros fatores, dentre os quais, nível de automação, qualidade dos equipamentos e tamanho da área a ser irrigada. Em termos gerais, os sistemas superficiais e subsuperficiais têm custo médio de R\$ 2.500/ha, os por aspersão de R\$ 5.000/ha e os localizados de R\$ 10.000/ha. Os custos de sistemas tipo pivô central, para áreas inferiores a cinco hectares, e aspersão convencional fixo podem ultrapassar R\$ 15.000/ha, enquanto sistemas de gotejamento automatizados para estufas podem superar R\$ 30.000/ha.

Custo variável anual

Ao custo variável anual (custeio) incluem-se os operacionais, de manutenção e adicionais associados ao uso da irrigação e todos os demais custos variáveis para a produção.

O custo operacional do sistema de irrigação engloba as despesas com energia elétrica, combustível, mão-de-obra e água. Energia elétrica ou combustível é usada por motores de bombas hidráulicas e dispositivos de deslocamento de sistemas mecanizados. O consumo de energia com bombeamento, que depende da potência necessária para irrigação, é muito maior nos sistemas por aspersão, em particular naqueles com maior pressão de serviço, do que nos demais sistemas (Tabela 1). Nos sistemas por aspersão tipo autopropelido e convencional com aspersores do tipo canhão, por exemplo, o uso de energia é superior a 5 kWh/mm/ha. Para alturas de recalque inferiores a 2,0 m, o gasto de energia é menor que 2,0 kWh/mm/ha na irrigação localizada, inferior a 0,5 kWh/mm/ha nos sistemas superficiais e praticamente zero na irrigação subsuperficial.

O custo da água somente deve ser computado quando seu fornecimento for efetivamente cobrado. Isso, em geral, ainda não ocorre quando a captação é feita na propriedade, em rios, lagos ou poços. Em algumas bacias hidrográficas, a cobrança pela água tem sido regulamentada.

O custo de mão-de-obra diz respeito às despesas com salários e encargos sociais para todas as atividades envolvidas na operacionalização do sistema de irrigação. O trabalho requerido para operar o sistema depende de fatores como tipo de sistema, grau de automação, tipo de cultura, frequência e lâmina de irrigação, e tamanho dos setores a serem irrigados por vez. Os sistemas por sulco e por aspersão convencional portátil são aqueles que requerem maior uso de mão-de-obra (1,0-5,0 h/ha/irrigação), enquanto os sistemas por gotejamento e pivô central, a demanda é bem menor (0,1-1,0 h/ha/irrigação). A quantidade média de mão-de-obra requerida pelos principais sistemas de irrigação é apresentada na Tabela 1.

Os custos de manutenção englobam todas as despesas com os serviços e os reparos necessários para assegurar condições para o perfeito funcionamento do sistema, incluindo-se peças de reposição e lubrificantes. Depende do número de horas de operação do sistema, condições ambientais, qualidade de manutenção e custos de peças de reposição. Em termos gerais, esses custos são mais altos em sistemas pivô central, deslocamento linear, autopropelido e gotejamento, intermediários nos sistemas por aspersão convencional e por gotejamento, e menores nos sistemas superficiais e subsuperficiais. Quando dados locais não são disponíveis, o custo anual de manutenção pode ser calculado como fração do valor de compra do sistema ou equipamento (Tabela 2).

Os custos adicionais representam as despesas decorrentes do aumento da produção proporcionados pela adoção da irrigação, tais como despesas com a colheita, transporte, comercialização, dentre outros. Em regiões onde a irrigação é essencial para garantir a produção, todos os custos com colheita, transporte e comercialização podem ser incluídos aos custos adicionais.

Além dos custos da irrigação, fazem parte das despesas de custeio a mão-de-obra contratada, incluindo encargos sociais e assistência técnica e

Tabela 2. Vida útil e custo de manutenção anual de sistemas e componentes de irrigação.

Sistemas e componentes	Vida útil (anos)*	Manutenção (% do custo inicial)
Sistemas por aspersão		
Convencional portátil	10 – 15	2,0 – 5,0
Convencional semiportátil	10 – 18	1,5 – 4,0
Convencional fixo	15 – 25	1,0 – 3,0
Autopropelido	8 – 12	5,0 - 7,0
Pivô central	12 – 18	4,0 - 6,0
Deslocamento linear	12 – 18	5,0 - 7,0
Sistemas localizados		
Gotejamento	10 – 15	2,0 - 6,0
Microaspersão	10 – 15	1,0 - 4,0
Outros componentes		
Poços profundos	20 – 30	0,5 - 1,5
Estação de bombeamento	10 – 30	0,5 - 1,5
Bomba de eixo vertical	10 – 20	4,0 - 6,0
Bomba centrífuga	15 – 25	3,0 - 5,0
Motor elétrico	10 – 30	1,5 - 2,5
Motor diesel	10 – 15	5,0 - 8,0
Canais permanentes	15 – 25	1,0 - 2,0
Estruturas de concreto	20 – 40	0,5 - 1,0
Reservatórios	7 – 50	1,0 - 2,0
Sistematização de terras	7 – 50	1,5 - 2,5
Tubo de PVC (enterrado)	20 – 40	0,3 - 0,8
Tubo de PVC (superfície)	8 – 10	2,0 - 3,0
Tubo de alumínio (superfície)	10 – 15	1,5 - 2,5
Tubo de aço (enterrado)	20 – 30	0,3 - 0,5
Tubo de aço (superfície)	10 – 20	0,5 - 1,5
Tubo de aço galvanizado (superfície)	10 – 20	1,0 - 2,0
Tubo de polietileno	8 – 10	1,5 - 2,5
Tubo de cimento amianto (enterrado)	25 – 40	0,3 - 0,8
Aspersor plástico	3 – 5	5,0 - 8,0
Aspersor metal	6 – 10	5,0 - 8,0
Gotejador/tubos gotejadores	2 – 8	5,0 - 10,0
Sistema de filtragem de água	10 – 15	6,0 - 8,0
Bomba injetora (fertilizantes)	3 – 5	5,0 - 10,0
Tanque de fertilizantes	5 – 10	0,5 - 1,0

* Valores menores devem ser usados para sistemas de pequeno porte e/ou sem programa de manutenção preventiva.
Fonte: adaptado de James (1983), PRONI (1987) e Keller & Bliesner (1990).

contábil, insumos em geral, máquinas, instalações, combustível, energia elétrica, aluguel, reparo e manutenção de máquinas e equipamentos, transporte, comercialização, impostos, dentre outras, necessárias para a produção da hortaliça de interesse.

Receita bruta anual

A receita bruta provável de ser gerada anualmente pelo empreendimento é computada pelo valor de venda de toda a produção comercializável. Assim, se faz necessário levantar a produtividade média da cultura de interesse, quando irrigada por cada sistema de irrigação a ser avaliado, e o preço médio do produto a ser recebido pelo produtor.

Caso o preço de venda do produto considerado é na propriedade, não se devem considerar as despesas de transporte, comercialização, assim como

impostos e taxas que normalmente incidem sobre a comercialização.

Como se sabe, a produtividade e a qualidade de muitas hortaliças estão, muitas vezes, relacionadas à forma com que a água é aplicada às plantas, ou seja, pelo sistema de irrigação utilizado. Infelizmente existem poucos trabalhos disponíveis na literatura nacional sobre a produtividade de hortaliças irrigadas por diferentes sistemas de irrigação. Caso não encontre informações na literatura especializada, procurar obter esses dados junto a produtores que utilizam diferentes sistemas de irrigação. É importante, no entanto, que dados de produtividade de diferentes sistemas sejam provenientes de produtores que adotam níveis tecnológicos semelhantes.

Aspectos Sociais

Além dos aspectos técnicos e econômicos apresentados anteriormente, diversos fatores sociais e culturais devem ser considerados durante o processo de seleção de sistema de irrigação. Dentre os principais, destacam-se o nível cultural e educacional do produtor, a receptividade do produtor para adoção de novas tecnologias, a disponibilidade, o custo e a qualificação da mão-de-obra, e a capacidade de investimento ou disposição do produtor a obter financiamento bancário para aquisição do sistema de irrigação.

Costumes, tradições, preferências, credences e modismo são, no entanto, aspectos que podem ser determinantes na escolha final de um sistema de irrigação pelo produtor, sobrepondo, muitas vezes, aspectos técnicos e econômicos que deveriam ser preponderantes.

De modo geral, existe certo receio entre os agricultores, principalmente pequenos produtores de hortaliças, com relação à adoção de novas tecnológica. Assim, sistemas de irrigação já devidamente difundidos na região são prioritariamente adotados para a irrigação de novas áreas e suas limitações aceitas como inevitáveis, o que dificulta a introdução de sistemas de irrigação diferentes daqueles praticados na região.

Outro aspecto importante na seleção de sistemas de irrigação é o nível educacional do agricultor e a qualificação da mão-de-obra disponível na região.

Dentre os sistemas de irrigação, os superficiais e os subsuperficiais são os que exigem menor qualificação da mão-de-obra, enquanto os sistemas localizados são os que demandam maior qualificação. Sistemas por aspersão geralmente requerem mão-de-obra com qualificação intermediária.

A assimilação de algumas particularidades operacionais e de manutenção de sistemas de irrigação mais “sofisticados” pode ser seriamente comprometida quando o agricultor apresenta baixo nível educacional e/ou quando a mão-de-obra disponível apresenta baixa qualificação. Nessa situação específica, o uso de sistemas de elevado desenvolvimento tecnológico pode não atingir as expectativas de desempenho produtivo e econômico, o que irá frustrar o produtor e dificultar também a adoção do sistema por outros produtores vizinhos.

Ainda relativo à mão-de-obra, tem-se que os sistemas localizados estão entre aqueles que demandam menor quantidade de mão-de-obra, diferentemente dos sistemas superficiais. Dentre os sistemas por aspersão, existem aqueles com baixa demanda de mão-de-obra, como o pivô central, e aqueles com grande demanda, como o convencional portátil (Tabela 1).

Para produtores com baixa capacidade de investimento e/ou receio para obter financiamento bancário é geralmente mais indicado um sistema de irrigação de baixo custo, como por sulco ou por aspersão convencional portátil, desde que viável economicamente, do que um sistema que seja altamente lucrativo, mas que apresente um custo de aquisição muito elevado.

Procedimento para Seleção de Sistemas

O procedimento para a seleção é fundamentado nas análises de viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de irrigação. Primeiramente, é feita uma pré-seleção dos sistemas que apresentam menor quantidade de limitações técnicas para as condições para a qual se deseja irrigar. Na segunda etapa, é realizada uma análise de viabilidade econômica dos sistemas de irrigação pré-selecionados.

Critérios para pré-seleção

Na Tabela 3 são sintetizados diferentes fatores físicos, agronômicos e de caráter geral que

Tabela 3. Guia para pré-seleção técnica de sistemas de irrigação, em que: (0) indica que o fator não tem influência na seleção do sistema; (+) indica possível razão para preferência; e (-) indica possível razão para escolher um sistema alternativo.

Fatores a serem considerados	Superficial			Aspersão				Localizado			
	Sulco	Faixa	Inundação*	Subsuperficial	Desloc. lateral	Pivô central	Autopropelido	Conv. portátil	Conv. fixo	Microaspersão	Gotejamento
Hortaliça											
Alho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batata	0	0	-	0	+	+	0	+	0	0	0
Batata-doce	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Berinjela	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Brássicas	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Cebola	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
Cenoura	0	-	-	-	+	+	0	+	0	0	0
Ervilha/lentilha	-	-	-	0	0	0	-	0	0	-	-
Feijão-de-vagem	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	+
Folhosas	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Melancia	+	-	-	0	0	0	0	-	0	0	+
Melão	+	-	-	0	0	0	0	-	0	-	+
Milho-doce	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
Pimentão	+	-	-	0	-	-	-	-	-	0	+
Sementes: cenoura, cebola etc.	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	+
Tomate para mesa	+	-	-	0	-	-	-	-	-	0	+
Tomate para processamento	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Práticas culturais											
Rotação de cultura	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0
Pulverizações constantes	+	+	0	+	-	-	-	-	-	0	+
Doenças de solo	-	-	-	0	-	-	+	+	0	0	0
Tutoramento	+	0	-	+	-	-	-	-	-	0	+
Cultivo protegido	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+
Cobertura do solo - plástico	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	+
Modificação microclimática	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+	0
Terreno – solo											
Formato irregular	0	0	+	0	-	-	+	0	0	+	+
Obstruções	0	0	0	0	-	-	+	0	0	+	+
Lençol freático elevado	-	-	0	+	0	0	0	0	0	+	+
Ondulado e raso	0	0	-	-	+	+	0	+	+	0	0
Muito inclinado	-	-	-	-	0	0	0	+	+	+	+
Inclinado e cascalho	-	-	-	-	-	-	-	0	+	+	+
Infiltração alta – arenoso	-	-	-	0	+	+	+	+	+	+	+
Infiltração moderada - siltoso	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltração baixa – argiloso	0	0	+	-	-	-	-	0	0	0	0
Muito desuniforme	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Baixa retenção de água	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Salino	-	-	0	-	0	0	0	-	-	+	+
Drenagem deficiente	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	+
Altamente erosível	-	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+
Baixa sustentação (atolar)	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0
Fonte de água											
Subterrânea	-	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+
Fornecimento sob demanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fornecimento períodos fixos	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Fornecimento contínuo	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+
Taxa e período variável	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Muito sedimento	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Muita matéria orgânica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Muito salina	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0
Água servida (poluída)	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-
Vazão grande	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0
Vazão pequena	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+
Climáticos											
Precipitação elevada	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0
Precipitação baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temp. e umidade alta	0	0	0	0	+	+	+	+	+	0	0
Temp. alta, umidade baixa	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0
Muito vento	0	0	0	0	-	-	-	-	-	0	0
Geadas	-	-	-	0	0	0	0	0	+	+	0
Outros											
Mão-de-obra desqualificada	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-
Reposição limitada de peças	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Assistência técnica deficiente	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	-
Baixa oferta de mão-de-obra	0	0	+	0	+	+	0	-	+	+	+
Energia escassa/cara	+	+	+	+	-	-	-	-	-	0	0
Potencial de automação	-	-	0	-	+	+	0	0	+	+	+
Potencial de fertirrigação	-	-	-	-	+	+	0	0	0	+	+
Vandalismo potencial	0	0	+	0	-	-	-	0	0	0	0
Gerenciamento deficiente	0	0	+	0	-	-	-	0	0	-	-
Problemas ambientais	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
Capital limitado	+	+	+	+	0	0	0	+	-	-	-

* Inundação temporária em pequenos tabuleiros ou bacias.
 Fonte: adaptado de Clemmens & Dedrick (1994).

devem ser considerados na seleção do sistema de irrigação. Para uma condição particular definida por uma linha na tabela, o número zero (0), para uma dada coluna, indica que aquela condição não influencia na escolha daquele sistema de irrigação específico. O sinal positivo (+) indica existir vantagens na seleção deste sistema, com respeito ao fator analisado. O sinal negativo (-) indica que o sistema não é conveniente no que se refere a aquele fator, devendo-se optar, quando possível, por outro sistema de irrigação. Entretanto, o sinal negativo (-), não deve ser interpretado como se o sistema fosse totalmente inadequado para uma determinada condição, visto que pode haver limitações que também inviabilize a seleção de outros sistemas.

Muito embora a Tabela 3 não seja suficientemente ampla para possibilitar uma seleção final do sistema de irrigação, devido, principalmente, ao reduzido número de fatores sociais e econômicos apresentados, ela pode ser utilizada como um guia de orientação. Além disso, no processo de seleção dever-se-ia considerar todos os fatores do sistema simultaneamente, o que dificulta avaliar todas as possíveis interações entre os fatores mais relevantes. Assim, os sistemas de irrigação com o maior número de sinais negativos devem ser posicionados para o final de uma lista de adequação, enquanto aqueles com mais sinais positivos devem ser movidos para o início.

A etapa de pré-seleção elimina os sistemas de irrigação menos promissores, ou seja, aqueles que apresentam várias limitações técnicas a determinadas condições. Para a seleção final, apenas os sistemas pré-selecionados devem ser explorados por meio da análise de viabilidade econômica.

Indicadores de eficiência econômica

Existem vários indicadores de eficiência que podem ser utilizados para a análise de viabilidade econômica. Dentre os mais simples e mais utilizados pode-se destacar a receita líquida, a taxa de retorno simples e o tempo de retorno do capital.

A receita líquida anual é a renda provável obtida pelo produtor após a remuneração de todos os custos (fixo e variável) necessários para a produção

da hortaliça de interesse. Pode ser determinada subtraindo o custo total anual da receita bruta anual, ou seja:

$$\text{Receita líquida anual} = \text{Receita bruta anual} - \text{Custo total anual}$$

A taxa de retorno simples é um dos indicadores mais utilizados para avaliação da rentabilidade de um investimento. É dada pela relação entre a receita líquida anual e o custo total anual, ou seja:

$$\text{Taxa de retorno} = 100 \times \frac{\text{Receita líquida anual}}{\text{Custo total anual}}$$

Quanto maior a taxa de retorno obtida, melhor será a rentabilidade do investimento e mais eficiente, em termos econômicos, será o sistema de irrigação. Assim, ao comparar dois sistemas de irrigação, pode-se selecionar aquele que permita uma maior quantidade de recuperação de recursos por cada unidade de custeio.

O tempo de retorno do capital consiste em determinar quantos anos ou safras da cultura serão necessários para que o produtor possa recuperar o capital investido para adquirir o sistema de irrigação. Semelhantemente à taxa de retorno simples, possibilita determinar o mérito técnico/econômico do sistema de irrigação. O tempo de retorno do capital ("payback" simples) é dado pelo quociente entre o custo inicial do sistema ou equipamento de irrigação (investimento) e a receita líquida anual, ou seja:

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Custo inicial}}{\text{Receita líquida anual}}$$

Exemplo de Seleção

Selecionar os sistemas de irrigação com maior viabilidade técnica e econômica para a seguinte situação:

Condições Gerais

- Hortaliça: tomate para processamento
- Local: região de cerrado de Goiás
- Área: 80 ha
- Assistência técnica: disponível
- Mão-de-obra: disponível e treinada
- Manutenção: disponível
- Peças de reposição: sem limitação

Fatores Agronômicos	Aspectos biológicos: sem restrição
Evapotranspiração máxima da cultura: 8,0 mm/dia	Altura de recalque: 25 m
Profundidade máxima do sistema radicular: 45 cm	Fatores Climáticos
Tensão crítica de água no solo: 30-100 kPa	Precipitação: menos de 20% da necessidade da cultura
Pulverizações: semanais	Temperatura média: 21°C
Terreno e Tipo de Solo	Umidade relativa média: 55%
Formato: sem restrições	Velocidade média do vento: 1,0 m/s
Topografia: levemente ondulada, declividade de 2%	Fatores Econômicos
Textura: argilosa	Taxa de juros anual: 6,0%
Capacidade de retenção de água: 1,3 mm/cm de solo	Custo de mão-de-obra para irrigação: R\$ 9,50/h
Taxa de infiltração: 150 mm/h	Custo de colheita: R\$ 29,00/t
Salinidade: sem restrição	Custo de transporte: R\$ 19,00/t (distância de 100 km)
Drenagem: sem restrições (lençol freático profundo)	Custo de energia: R\$ 0,18/kWh
Risco de erosão: moderado	Custo de água: R\$ 0,00/m ³
Suprimento e Qualidade de Água	Valor da produção: R\$ 170,00/t (entregue na indústria)
Fonte: riacho	Dados Adicionais
Quantidade: sem restrição	Tabela 4 (dados dependentes do sistema de irrigação)
Salinidade: sem restrição	
Sedimentos: turbidez moderada a baixa	

Tabela 4. Fatores adicionais considerados na análise de viabilidade econômica dos sistemas pré-selecionados para irrigação de tomate para processamento.

Componentes/fatores	Pivô central	Gotejamento	Convencional semiportátil	Convencional fixo
Custo do sistema (R\$/ha) ^a	5.000	6.500/3.500 ^b	3.500	9.500
Vida útil (anos)	15	12/5 ^b	12	15
Valor de sucata (% custo)	10	5/0 ^b	5	5
Uso de energia (kWh/m ³)	0,35	0,20	0,50	0,50
Eficiência de irrigação (%)	80	85	70	80
Lâmina líquida água (mm/ha)	480	410	480	480
Mão-de-obra (h/ha/irrigação)	0,2	0,5	1,5	0,4
Número de irrigações por ciclo	25	54	25	25
Custo de manutenção (% inv. ^c)	5	4/10 ^b	4	2
Custo de produção (R\$/ha) ^d	6.500	7.000 ^e	6.500	6.500
Produtividade (t/ha)	80	95	75	80

^a Incluindo custo do conjunto motobomba, tubulação adutora, tubulação de recalque e instalação dos sistema.

^b Primeiro número refere-se ao sistema de irrigação sem as laterais; segundo número refere-se às laterais.

^c Percentagem do investimento inicial.

^d Exceto os custos de irrigação, colheita e transporte da produção.

^e Maior em relação à aspersão devido ao maior custo de fertilizantes e mão-de-obra para instalação/retirada do sistema.

Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2010).

Solução do exemplo

Para a seleção de sistemas de irrigação para a situação proposta, será seguido o procedimento apresentado anteriormente, que compreende as etapas de pré-seleção (análise de viabilidade técnica) e seleção final (análise de viabilidade econômica).

A pré-seleção dos sistemas irrigação é realizada utilizando-se a Tabela 3. Devem ser selecionados os sistemas mais viáveis tecnicamente e desconsiderados aqueles com maiores restrições de uso para as condições acima apresentadas.

Os sistemas superficiais por inundação e faixa não devem ser utilizados para a irrigação do tomateiro para processamento por causarem a saturação do solo, o que prejudica a aeração junto às raízes e favorece a ocorrência de doenças bacterianas. Irrigação por sulco poderia ser uma opção viável, mas tem seu uso prejudicado em razão de o solo apresentar alta taxa de infiltração de água. Nesse caso, para se ter uma eficiência de irrigação minimamente aceitável, o comprimento dos sulcos teria que ser reduzido (até 20 m), o que aumentaria em muito a demanda de mão-de-obra para irrigação e o custo de implantação do sistema. Irrigação subsuperficial também seria inviável já que não há condições favoráveis para formação e controle de lençol freático na área.

O sistema por gotejamento é tecnicamente viável para irrigação do tomate para processamento, sendo também recomendado para as condições de solo, clima e água apresentadas. O sistema propicia ganhos significativos de produtividade e melhor qualidade de frutos em relação à aspersão. Para as condições apresentadas, não existem restrições técnicas para o uso do gotejamento. Dado o reduzido espaçamento entre plantas e fileiras de plantas na cultura em questão, não é tecnicamente possível utilizar a microaspersão localizada, pois toda a área seria irrigada.

Todos os sistemas por aspersão podem ser utilizados na irrigação do tomateiro para processamento. As condições agronômicas, edafoclimáticas e gerais, que envolvem o presente exemplo, também não limitam a seleção de nenhum dos sistemas por aspersão. As pulverizações semanais requeridas poderiam ser uma limitação

para o uso da aspersão. Todavia, o tomateiro não é uma planta que requer irrigações muito frequentes. Pelas características de retenção de água pelo solo, profundidade de raízes e evapotranspiração da cultura é perfeitamente possível que as irrigações sejam realizadas semanalmente, sem interferir efetivamente no manejo fitossanitário da cultura.

O sistema tipo deslocamento lateral é ainda pouco difundido no Brasil e apresenta maior custo que o pivô central. Desse modo, será descartado da análise econômica.

Em resumo, os quatro sistemas pré-selecionados com relação aos aspectos técnicos são: gotejamento, pivô central, aspersão convencional fixo e convencional semiportátil. Para grandes áreas irrigadas por aspersão convencional e visando reduzir o custo do sistema e o uso de mão-de-obra, deve-se utilizar aspersores do tipo canhão.

A seguir são computados os custos e os benefícios, por hectare, para cada um dos quatro sistemas de irrigação pré-selecionados, assim como os indicadores de viabilidade econômica, utilizando-se os dados apresentados na Tabela 4

Os cálculos de custos e de receita bruta são baseados nas informações apresentadas no item "Aspectos econômicos", enquanto os indicadores de viabilidade econômica são determinados conforme apresentado em "Procedimento para seleção de sistemas".

Pivô central

Custo Fixo Anual de Irrigação

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{R\$ 5.000,00/ha - R\$ 500,00/ha}{15 \text{ anos}}$$

$$D_{ma} = R\$ 300,00/ha/ano$$

Custo de oportunidade médio anual

$$CO_{ma} = 0,06/ano \times \frac{R\$ 5.000,00/ha + R\$ 500,00/ha}{2}$$

$$CO_{ma} = R\$ 165,00/ha/ano$$

Custo fixo anual = depreciação + custo de oportunidade

$$\text{Custo fixo anual} = R\$ 300,00/ha + R\$ 165,00/ha = R\$ 465,00/ha$$

Custo Variável Anual de Irrigação**Custo operacional**

Volume de água bombeado (m^3/ha) =
 $1.000 \times \text{lâmina líquida de água aplicada (mm)} /$
 eficiência de irrigação (%)

Volume de água bombeado = 1.000×480
 $mm / 80\% = 6.000 m^3/ha$

Energia (R\$ /ha) = uso de energia (kWh/m^3) x
 volume de água bombeado (m^3/ha) x custo de
 energia (R\$ /kWh)

Energia = $0,35 kWh/m^3 \times 6.000 m^3/ha \times$
 $R\$ 0,18/kWh = R\$ 378,00/ha$

Mão-de-obra (R\$ /ha) = uso de mão-de-obra
 (h/ha/irrigação) x nº de irrigações x custo
 trabalho (R\$ /h)

Mão-de-obra = $0,2 h/ha/irrigação \times 25$
 irrigações x $R\$ 9,50/h = R\$ 47,50/ha$

Custo operacional = custo de energia +
 custo de mão-de-obra

Custo operacional = $R\$ 378,00/ha +$
 $R\$ 47,50/ha = R\$ 425,50/ha$

Custo de manutenção

Manutenção (R\$ /ha) = Investimento (R\$ /ha)
 x % do investimento/100

Manutenção = $R\$ 5.000,00/ha \times 5\%/100 =$
 $R\$ 250,00/ha$

Custo variável anual = custo operacional +
 custo de manutenção

Custo variável anual = $R\$ 425,50/ha +$
 $R\$ 250,00/ha = R\$ 675,50/ha$

Custo Total Anual de Irrigação

Custo total anual da irrigação = custo fixo anual
 + custo variável anual

Custo total anual da irrigação = $R\$ 465,00/ha$
 + $R\$ 675,50/ha = R\$ 1.140,50/ha$

Custo de Colheita e Transporte

Colheita (R\$ /ha) = produtividade (t/ha) x
 custo de colheita (R\$ /t)

Colheita = $80 t/ha \times R\$ 29,00/t =$
 $R\$ 2.320,00/ha$

Transporte (R\$ /ha) = produtividade (t/ha) x
 custo de transporte (R\$ /t)

Transporte = $80 t/ha \times R\$ 19,00/t =$
 $R\$ 1.520,00/ha$

Custo Total Anual

Custo total anual = custo de produção + custo
 de colheita + custo de transporte + custo total
 anual de irrigação

Custo total anual = $R\$ 6.500,00/ha +$
 $R\$ 2.320,00/ha + R\$ 1.520,00/ha +$
 $R\$ 1.140,50/ha = R\$ 11.480,50/ha$

Receita Bruta

Receita bruta (R\$ /ha) = produtividade (t/ha) x
 valor da produção (R\$ /t)

Receita bruta = $80 t/ha \times R\$ 170,00/t =$
 $R\$ 13.600,00/ha$

Indicadores de Eficiência Econômica

Receita líquida anual = receita bruta anual –
 custo total anual

Receita líquida anual = $R\$ 13.600,00/ha –$
 $R\$ 11.480,50/ha = R\$ 2.119,50/ha$

Taxa de retorno (%) = $100 \times \text{receita líquida}$
 anual (R\$ /ha) / custo total anual (R\$ /ha)

Taxa de retorno = $100 \times R\$ 2.119,50/ha /$
 $R\$ 11.480,50/ha = 18,5\%$

Tempo de retorno (anos) = custo inicial do
 sistema de irrigação (R\$ /ha) / receita líquida
 anual (R\$ /ha)

Tempo de retorno (anos) = $R\$ 5.000,00 /$
 $R\$ 2.119,50/ha = 2,4 \text{ anos}$

Gotejamento**Custo Fixo Anual de Irrigação****Depreciação média anual**

Sistema de irrigação sem as linhas de
 gotejadores

$$D_{ma} = \frac{R\$ 6.500,00/ha - R\$ 325,00/ha}{12 \text{ anos}}$$

$$D_{ma} = R\$ 514,58/ha/ano$$

Linhas de gotejadores

$$D_{ma} = \frac{R\$ 3.500,00/ha - R\$ 0,00/ha}{5 \text{ anos}}$$

$$D_{ma} = R\$ 700,00/ha/ano$$

A depreciação do capital foi determinada separadamente para os gotejadores em razão da vida útil dos mesmos ser diferente do restante do sistema.

Custo de oportunidade médio anual

$$CO_{ma} = 0,06/ano \times \frac{R\$ 10.000,00/ha + R\$ 325,00/ha}{2}$$

$$CO_{ma} = R\$ 309,75/ha/ano$$

$$\begin{aligned} \text{Custo fixo anual} &= R\$ 514,58/ha \\ &+ R\$ 700,00/ha + R\$ 309,75/ha \\ &= R\$ 1.524,33/ha \end{aligned}$$

Custo Variável Anual de Irrigação

Custo operacional

$$\begin{aligned} \text{Volume de água bombeado} &= \\ 1.000 \times 410 \text{ mm} / 85\% &= 4.824 \text{ m}^3/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= 0,20 \text{ kWh/m}^3 \times 4.824 \text{ m}^3/ha \times \\ R\$ 0,18/\text{kWh} &= R\$ 173,66/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mão-de-obra} &= 0,5 \text{ h/ha/irrigação} \times \\ 54 \text{ irrigações} \times R\$ 9,50/\text{h} &= R\$ 265,50/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo operacional} &= R\$ 173,66/ha + \\ R\$ 265,50/ha &= R\$ 439,16/ha \end{aligned}$$

Custo de manutenção

$$\begin{aligned} \text{Manutenção} &= R\$ 6.500,00/ha \times 4\%/100 + \\ R\$ 3.500/ha \times 10\%/100 &= R\$ 610,00/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo variável anual} &= R\$ 439,16/ha + R\$ \\ 610,00/ha &= R\$ 1.049,16/ha \end{aligned}$$

Custo Total Anual de Irrigação

$$\begin{aligned} \text{Custo total anual da irrigação} &= R\$ 1.524,33/ha \\ + R\$ 1.049,16/ha &= R\$ 2.573,49/ha \end{aligned}$$

Custo de Colheita e Transporte

$$\begin{aligned} \text{Colheita} &= 95 \text{ t/ha} \times R\$ 29,00/\text{t} = \\ R\$ 2.755,00/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Transporte} &= 95 \text{ t/ha} \times R\$ 19,00/\text{t} = \\ R\$ 1.805,00/ha \end{aligned}$$

Custo Total Anual

$$\begin{aligned} \text{Custo total anual} &= R\$ 7.000,00/ha + \\ R\$ 2.755,00/ha + R\$ 1.805,00/ha + \\ R\$ 2.564,49/ha &= R\$ 14.124,49/ha \end{aligned}$$

Receita Bruta

$$\begin{aligned} \text{Receita bruta} &= 95 \text{ t/ha} \times R\$ 170,00/\text{t} = \\ R\$ 16.150,00/ha \end{aligned}$$

Indicadores de Eficiência Econômica

$$\begin{aligned} \text{Receita líquida anual} &= R\$ 16.150,00/ha - \\ R\$ 14.124,49/ha &= R\$ 2.025,51/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Taxa de retorno} &= 100 \times R\$ 2.025,51/ha / \\ R\$ 14.124,49/ha &= 14,3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tempo de retorno (anos)} &= R\$ 10.000,00 / \\ R\$ 2.025,51/ha &= 4,9 \text{ anos} \end{aligned}$$

Convencional semiportátil

Custo Fixo Anual de Irrigação

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{R\$ 3.500,00/ha - R\$ 175,00/ha}{12 \text{ anos}}$$

$$D_{ma} = R\$ 277,08/ha/ano$$

Custo de oportunidade médio anual

$$CO_{ma} = 0,06/ano \times \frac{R\$ 3.500,00/ha + R\$ 175,00/ha}{2}$$

$$CO_{ma} = R\$ 110,25/ha/ano$$

$$\begin{aligned} \text{Custo fixo anual} &= R\$ 277,08/ha + \\ R\$ 110,25/ha &= R\$ 387,33/ha \end{aligned}$$

Custo Variável Anual de Irrigação

Custo operacional

$$\begin{aligned} \text{Volume de água bombeado} &= 1.000 \times \\ 480 \text{ mm} / 70\% &= 6.857 \text{ m}^3/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= 0,50 \text{ kWh/m}^3 \times 6.857 \text{ m}^3/ha \times \\ R\$ 0,18/\text{kWh} &= R\$ 617,13/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mão-de-obra} &= 1,5 \text{ h/ha/irrigação} \times 25 \\ \text{irrigações} \times R\$ 9,50/\text{h} &= R\$ 356,25/ha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo operacional} &= R\$ 617,13/ha + \\ R\$ 356,25/ha &= R\$ 973,38/ha \end{aligned}$$

Custo de manutenção

$$\text{Manutenção} = \text{R\$ } 3.500,00/\text{ha} \times 4\%/100 = \text{R\$ } 140,00/\text{ha}$$

$$\text{Custo variável anual} = \text{R\$ } 973,38/\text{ha} + \text{R\$ } 140,00/\text{ha} = \text{R\$ } 1.113,38/\text{ha}$$

Custo Total Anual de Irrigação

$$\text{Custo total anual da irrigação} = \text{R\$ } 387,33/\text{ha} + \text{R\$ } 1.113,38/\text{ha} = \text{R\$ } 1.500,71/\text{ha}$$

Custo de Colheita e Transporte

$$\text{Colheita} = 75 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 29,00/\text{t} = \text{R\$ } 2.175,00/\text{ha}$$

$$\text{Transporte} = 75 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 19,00/\text{t} = \text{R\$ } 1.425,00/\text{ha}$$

Custo Total Anual

$$\text{Custo total anual} = \text{R\$ } 6.500,00/\text{ha} + \text{R\$ } 2.175,00/\text{ha} + \text{R\$ } 1.425,00/\text{ha} + \text{R\$ } 1.500,71/\text{ha} = \text{R\$ } 11.600,71/\text{ha}$$

Receita Bruta

$$\text{Receita bruta} = 75 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 170,00/\text{t} = \text{R\$ } 12.750,00/\text{ha}$$

Indicadores de Eficiência Econômica

$$\text{Receita líquida anual} = \text{R\$ } 12.750,00/\text{ha} - \text{R\$ } 11.600,71/\text{ha} = \text{R\$ } 1.149,29/\text{ha}$$

$$\text{Taxa de retorno} = 100 \times \text{R\$ } 1.149,29/\text{ha} / \text{R\$ } 11.600,71/\text{ha} = 9,9\%$$

$$\text{Tempo de retorno (anos)} = \text{R\$ } 3.500,00 / \text{R\$ } 1.149,29/\text{ha} = 3,0 \text{ anos}$$

Convencional fixo**Custo Fixo Anual de Irrigação**

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{\text{R\$ } 9.500,00/\text{ha} - \text{R\$ } 475,00/\text{ha}}{15 \text{ anos}}$$

$$D_{ma} = \text{R\$ } 601,67/\text{ha/ano}$$

Custo de oportunidade médio anual

$$CO_{ma} = 0,06/\text{ano} \times \frac{\text{R\$ } 9.500,00/\text{ha} + \text{R\$ } 475,00/\text{ha}}{2}$$

$$CO_{ma} = \text{R\$ } 299,25/\text{ha/ano}$$

$$\text{Custo fixo anual} = \text{R\$ } 601,67/\text{ha} + \text{R\$ } 299,25/\text{ha} = \text{R\$ } 900,92/\text{ha}$$

Custo Variável Anual de Irrigação

Custo operacional

$$\text{Volume de água bombeado} = 1.000 \times 480 \text{ mm} / 80\% = 6.000 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{Energia} = 0,50 \text{ kWh/m}^3 \times 6.000 \text{ m}^3/\text{ha} \times \text{R\$ } 0,18/\text{kWh} = \text{R\$ } 540,00/\text{ha}$$

$$\text{Mão-de-obra} = 0,4 \text{ h/ha/irrigação} \times 25 \text{ irrigações} \times \text{R\$ } 9,50/\text{h} = \text{R\$ } 95,00/\text{ha}$$

$$\text{Custo operacional} = \text{R\$ } 540,00/\text{ha} + \text{R\$ } 95,00/\text{ha} = \text{R\$ } 635,00/\text{ha}$$

Custo de manutenção

$$\text{Manutenção} = \text{R\$ } 9.500,00/\text{ha} \times 2\%/100 = \text{R\$ } 190,00/\text{ha}$$

$$\text{Custo variável anual} = \text{R\$ } 635,00/\text{ha} + \text{R\$ } 190,00/\text{ha} = \text{R\$ } 825,00/\text{ha}$$

Custo Total Anual de Irrigação

$$\text{Custo total anual da irrigação} = \text{R\$ } 900,92/\text{ha} + \text{R\$ } 825,00/\text{ha} = \text{R\$ } 1.725,92/\text{ha}$$

Custo de Colheita e Transporte

$$\text{Colheita} = 80 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 29,00/\text{t} = \text{R\$ } 2.320,00/\text{ha}$$

$$\text{Transporte} = 80 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 19,00/\text{t} = \text{R\$ } 1.520,00/\text{ha}$$

Custo Total Anual

$$\text{Custo total anual} = \text{R\$ } 6.500,00/\text{ha} + \text{R\$ } 2.320,00/\text{ha} + \text{R\$ } 1.520,00/\text{ha} + \text{R\$ } 1.725,92/\text{ha} = \text{R\$ } 12.065,92/\text{ha}$$

Receita Bruta

$$\text{Receita bruta} = 80 \text{ t/ha} \times \text{R\$ } 170,00/\text{t} = \text{R\$ } 13.600,00/\text{ha}$$

Indicadores de Eficiência Econômica

$$\text{Receita líquida anual} = \text{R\$ } 13.600,00/\text{ha} - \text{R\$ } 12.065,92/\text{ha} = \text{R\$ } 1.534,08/\text{ha}$$

$$\text{Taxa de retorno} = 100 \times \text{R\$ } 1.534,08/\text{ha} / \text{R\$ } 12.065,92/\text{ha} = 12,7\%$$

$$\text{Tempo de retorno (anos)} = \text{R\$ } 9.500,00 / \text{R\$ } 1.534,08/\text{ha} = 6,2 \text{ anos}$$

Os custos fixos e variáveis anuais, a receita total anual e os indicadores econômicos computados para os sistemas de irrigação pré-selecionados são sumarizados na Tabela 5. Para as condições consideradas, todos os quatro sistemas apresentaram viabilidade econômica.

O pivô central foi o sistema que apresentou a maior receita líquida e a maior taxa de retorno econômico, seguido do gotejamento, aspersão convencional fixo e aspersão convencional semiportátil. Foi também o sistema que apresentou o menor tempo de retorno do capital investido, seguido da aspersão convencional semiportátil, gotejamento e aspersão convencional fixo.

Dentre os sistemas de irrigação tecnicamente recomendados para a irrigação do tomateiro para processamento, o pivô central foi destacadamente aquele de maior viabilidade, principalmente quando se considera que o custo inicial de aquisição do pivô central é de aproximadamente 50% inferior ao custo dos sistemas por gotejamento e por

aspersão convencional fixo. O custo da aspersão convencional semiportátil foi 30% menor que do pivô central, todavia, o sistema apresentou receita líquida 28% menor que a do pivô central.

Deve ser observado que no presente exemplo foi considerada apenas a irrigação da cultura do tomateiro, ou seja, os custos fixos anuais referentes aos sistemas de irrigação foram computados apenas no custo total do tomateiro. Também foi considerada apenas uma safra anual de tomate, pois, devido a limitações climáticas e fitossanitárias, não é possível se obter mais de uma safra de tomateiro por ano.

Caso outra cultura seja plantada na entressafra do tomateiro, essa poderia ser considerada no processo de seleção do sistema. Na entressafra, todavia, não é recomendado o plantio de culturas que favoreçam aumento na população de insetos-pragas e doenças do tomateiro, especialmente fungos e bactérias fitopatogênicas de solo. Uma boa opção é o cultivo de gramíneas, como o milho, o trigo e

Tabela 5. Custos (fixo e variável) da irrigação, custo de produção, receita bruta anual, em R\$/ha, e indicadores de viabilidade econômica para os sistemas pré-selecionados para irrigação de tomate para processamento.

Custos e Receita	Pivô central	Gotejamento	Convencional semiportátil	Convencional fixo
Custo fixo da irrigação				
Depreciação	300,00	1.214,58	277,08	601,67
Custo de oportunidade	165,00	309,75	110,25	299,25
Custo variável da irrigação				
Operacional	425,00	430,16	973,38	635,00
Manutenção	250,00	610,00	140,00	190,00
Custo de colheita/transporte	3.840,00	4.560,00	3.600,00	3.840,00
Custo de produção				
Exceto irrig./colh./transp.	6.500,00	7.000,00	6.500,00	6.500,00
Custo total	11.480,50	14.124,49	11.600,71	12.065,92
Receita bruta	13.600,00	16.150,00	12.750,00	13.600,00
Receita líquida	2.119,50	2.025,51	1.149,29	1.534,08
Taxa de retorno (%)	18,5	14,3	9,9	12,7
Tempo de retorno (anos)	2,4	4,9	3,0	6,2

Obs.: Os custos e a receita foram computados apenas para uma safra de tomate, não tendo sido considerada outra cultura na entressafra.

o arroz. Embora viabilizem o cultivo do tomateiro por longos períodos, essas culturas, por si próprias, geralmente apresentam baixa viabilidade econômica quando irrigadas durante a estação chuvosa no Brasil Central. Por essa razão e para simplificar a solução do exemplo, optou-se por realizar a análise de viabilidade econômica somente considerando a cultura do tomateiro.

Resumo e Considerações Finais

O sucesso da produção da maioria das hortaliças, mesmo em regiões não sujeitas a períodos prolongados de seca, está associado ao uso da irrigação para suplementação hídrica das plantas. A irrigação pode ser feita por diferentes sistemas existentes, que podem ser agrupados em superficiais, subsuperficiais, aspersão e localizados. Todos têm custos variáveis, características, vantagens e desvantagens que dependem de uma série de fatores.

Embora os sistemas por aspersão sejam destacadamente os mais utilizados para a irrigação de hortaliças, existem outros sistemas que podem apresentar maior viabilidade para as necessidades do usuário. A escolha deve ser baseada na avaliação das vantagens e desvantagens de cada sistema relacionadas à espécie cultivada, tipo de solo, declive do terreno, quantidade e qualidade da água disponível, clima, aspectos econômicos, dentre outros fatores, ou seja, deve ser balizada numa análise de viabilidade técnica e econômica. O sucesso do empreendimento, no entanto, não depende somente da escolha do sistema de irrigação mais viável, mas também de sua manutenção adequada e do manejo racional da água de irrigação durante todo o ciclo da cultura.

Reconhece-se a dificuldade de produtores que cultivam várias espécies de hortaliças, principalmente em áreas pequenas, em empregar diferentes sistemas de irrigação. A aspersão convencional é, para a maioria das situações, um dos sistemas que melhor se adapta a diferentes condições de solo, topografia e necessidades agrônomicas da maioria das hortaliças. A aspersão pode ser adotada sem maiores problemas na maioria das hortaliças folhosas, de raízes, de tubérculos e de bulbos.

Hortaliças que requerem pulverizações frequentes e de elevado valor econômico, como o tomate, o pimentão e o melão, devem ser irrigadas preferencialmente por gotejamento ou sulco. Por possibilitar total automação do sistema, controle eficiente de água e uso da fertirrigação, o gotejamento tem sido o sistema mais indicado em cultivo protegido.

O pivô central é um dos sistemas de irrigação mais utilizados para a produção de hortaliças em grande escala, o que se deve ao baixo custo operacional e ao custo do sistema não ser muito alto. Sistemas por aspersão, no entanto, não se adaptam a todas as hortaliças, e, no caso do pivô central, tem-se o agravante de não poder ser movido com facilidade para novas áreas. Assim, o uso do pivô central deve estar associado a um manejo adequado de água e de um esquema eficiente de rotação de cultura para evitar a infestação da área por patógenos.

Para a seleção de sistemas de irrigação foi apresentado um procedimento simplificado baseado em duas fases. Na primeira, todos os sistemas de irrigação são avaliados e uma pré-seleção é realizada considerando-se principalmente aspectos técnicos. Na segunda, os sistemas pré-selecionados são submetidos a uma análise econômica para a escolha dos sistemas que apresentam maior viabilidade. Um exemplo, usando tomate para processamento, foi apresentado para melhor entendimento do procedimento.

Além de aspectos técnicos e econômicos, algumas variáveis sociais e culturais devem ser consideradas na seleção final do sistema de irrigação a ser utilizado. Por exemplo, a assimilação de algumas particularidades operacionais de sistemas de irrigação de elevado nível tecnológico, como o gotejamento, pode ser comprometida quando o agricultor apresenta baixo nível educacional e/ou quando a mão-de-obra disponível é desqualificada. Isso, muitas vezes, pode prejudicar o sucesso do empreendimento.

Referências

CLEMMENS, A.J.; DEDRICK, A.R. Irrigation techniques and evaluations. In: TANJI, K.K.; YARON, B., eds. **Management of water use in agriculture**. Berlin: Springer-Verlag, 1994. p.64-103.

JAMES, L.G. **Principles of farm irrigation system design**. Malabar: Krieger, 1993. 543p.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

MARQUELLI, W. A.; SOUZA, R. F.; A; VILELA, N. J. ALMEIDA, V. E. S. de. Análise econômica de sistemas de irrigação em tomateiro para processamento, no estado de Goiás. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE

DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 9., CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2010, Vitória. **A engenharia agrícola e o desenvolvimento das propriedades familiares: Anais**. Jaboticabal: SBEA: ALIA, 2010. CD-Rom.

PAIR, C.H.; HINZ, W.H.; FROST, K.R.; SNEED, R.E; SCHILTZ, T.J. **Irrigation**. Arlington: Irrigation Association, 1983. 686p.

PRONI. **Tempo de irrigar**: manual do irrigante. São Paulo, 1987. 160p.

SCALOPPI, E.J. Exigências de energia para irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.21, p.13-17, 1985.

HOFFMANN, R.; ENGLER, J.J.C.; SERRANO, O.; THAME, A.C.M.; NEVES, E.M. **Administração da empresa agrícola**. 7. ed. São Paulo: Pioneira, 1992. 325 p.

**Circular
Técnica 98**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na Embrapa Hortaliças
Rodovia BR-060, trecho Brasília-Anápolis, km 9
C. Postal 218, CEP 70.351.970 – Brasília-DF
Fone: (61) 3385.9105
Fax: (61) 3556.5744
E-mail: sac@cnph.embrapa.br
1ª edição
1ª impressão (2012): 1.000 exemplares

**Comitê de
Publicações**

Presidente: Warley Marcos Nascimento
Editor Técnico: Fábio Akyoshi Suinaga
Supervisor Editorial: George James
Secretária: Gislaine Costa Neves
Membros: Agnaldo Donizete Ferreira de Carvalho,
Carlos Alberto Lopes, Ítalo Morais Rocha
Guedes, Jadir Borges Pinheiro,
José Lindorico de Mendonça,
Mariane Carvalho Vidal, Neide Botrel,
Rita de Fátima Alves Luengo

Expediente

Normalização bibliográfica: Antonia Veras
Editoração eletrônica: André L. Garcia



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

