



SELEÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA HORTALIÇAS

Waldir A. Marouelli¹
Washington L.C. Silva²

Termos para indexação: Hortaliças, Seleção de sistemas de irrigação, Análise econômica.

Index terms: Vegetables, Irrigation system selection, Economic analysis.

Introdução

Em geral, as hortaliças têm desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. Mesmo em regiões úmidas, a deficiência de água é fator limitante para a obtenção de produções elevadas e de boa qualidade. Assim, a suplementação das necessidades hídricas das plantas através da irrigação é essencial para o sucesso da produção de hortaliças. Entretanto, 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 um empreendimento, haja vista o alto custo de produção, valor econômico da maioria das hortaliças e investimento na aquisição do sistema 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 condições e capaz de atender a todos os interesses envolvidos. Também não se deve adotar um determinado sistema só porque muitos produtores o empregam. As vantagens e desvantagens de cada sistema devem ser consideradas para cada caso específico, de modo a permitir a seleção daquele mais adequado para atender às necessidades requeridas para uma determinada condição.

A escolha do sistema de irrigação deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto, através da análise detalhada e cuidadosa de fatores físicos, agrônômicos e econômicos, dentre outros. Serão discutidas as vantagens e desvantagens de diferentes sistemas de irrigação e os principais fatores que devem ser considerados durante o processo de seleção. Também será apresentado um critério

¹ Eng. Agríc., Ph.D., Irrigação, Pesquisador Embrapa Hortaliças
E-mail: waldir@cnph.embrapa.br

² Eng. Agr., Ph.D., Irrigação, Pesquisador Embrapa Hortaliças
E-mail: wsilva@cnph.embrapa.br

simplificado para a seleção do sistema que possibilitará o melhor desempenho técnico e econômico para uma dada condição.

■ Sistemas de irrigação

Existem diferentes sistemas de irrigação, cada qual apresentando características próprias, com custos variáveis, vantagens e desvantagens. Dependendo da forma com que a água é aplicada às plantas, os sistemas podem ser agrupados em superficiais, subsuperficiais, aspersão e microirrigação.

Irrigação Superficial

A irrigação superficial compreende os sistemas por sulcos, corrugação, faixas e inundação, nos quais a condução e a distribuição da água é feita diretamente sobre a superfície do solo. Os sistemas superficiais estão entre aqueles que requerem menores investimentos iniciais e uso de energia. Eles se adaptam à maioria dos solos, com exceção daqueles com alta taxa de infiltração, ou seja, solos arenosos, mas requerem terrenos planos ou sistematizados. Caso o terreno necessite de intensiva sistematização, os custos podem aumentar substancialmente. Requerem, ainda, maior uso de mão-de-obra e de água e podem favorecer problemas de salinização e 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 sulcos é utilizada principalmente para as hortaliças tutoradas e/ou que requerem pulverizações frequentes, tais como ervilha-torta, feijão-de-vagem e tomate tutorado. Tem sido utilizada ainda em hortaliças como melancia, melão e na produção de sementes de cenoura, cebola, dentre outras. No vale do São Francisco, cebola tem sido irrigada por pequenas bacias de inundação. Irrigação por faixas e corrugação não é utilizada de forma significativa. Corrugação adapta-se melhor às culturas com alta densidade de plantio.

Irrigação Subsuperficial

Na irrigação subsuperficial a água é aplicada sob a superfície do solo através da criação e controle de um lençol freático. O lençol é mantido a uma profundidade fixa preestabelecida, em função da cultura, estágio de desenvolvimento e tipo de solo. A umidade atinge o sistema radicular da cultura através da ascensão capilar da água. O lençol pode ainda ser elevado e rebaixado periodicamente conforme as necessidades hídricas da cultura. 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 permeável sobrepondo uma camada impermeável a cerca de 1,5 m de profundidade. Por ser aplicada abaixo da superfície do solo, a água não lava os agrotóxicos aplicados à folhagem. Sob condições de solo e água salina, o sistema favorece a salinização do solo.

No Brasil, irrigação subsuperficial tem sido usada de forma incipiente. Estudos realizados por Marouelli & Silva (1991) indicaram que o sistema é viável para hortaliças como alho, feijão-de-vagem e milho-doce; para cenoura e

cebola mostrou-se inviável. Na Flórida, a área de hortaliças irrigada subsuperficialmente através do lençol freático é substancial, sendo o método mais comumente usado para o 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 convencionais portátil, semiportátil e permanente, autopropelido, ramal rolante, deslocamento linear e pivô central. A designação convencional está ligada ao aspecto histórico da introdução deste método de irrigação.

Em relação aos sistemas superficiais, a aspersão requer menor uso de mão-de-obra e possibilita melhor distribuição de água sobre o solo. Pode ser usada para qualquer tipo de solo e em terrenos declivosos. Permite automação e aplicação de fertilizantes e agrotóxicos via água de irrigação. A aspersão, no entanto, apresenta maior uso de energia, sofre interferência do vento e, sob climas secos e quentes, tem a eficiência reduzida pela alta evaporação. Ainda, a água aplicada sobre a planta pode lavar agrotóxicos aplicados à folhagem e favorecer maior incidência de doenças na parte aérea, além de poder prejudicar a polinização e a qualidade de sementes, como em cebola e cenoura, por exemplo.

Os sistemas por aspersão mecanizados (autopropelido, ramal rolante, deslocamento linear e pivô central) e, principalmente, o convencional permanente apresentam custos mais elevados que os sistemas portátil e semiportátil, mas requerem menor uso de mão-de-obra. Sistemas convencionais podem irrigar áreas de qualquer formato, enquanto pivô central irriga áreas circulares. Ramal rolante e deslocamento linear irrigam áreas retangulares.

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

Microirrigação

Microirrigação compreende sistemas como gotejamento, xiquexique, microaspersão e borbujador ("bubbler"), nos quais a água é, em geral, aplicada ao solo, próximo à planta, em baixo volume e alta frequência. Na microirrigação, a água também pode ser aplicada abaixo da superfície do solo, junto às raízes da planta, através de tubos com gotejadores, tubos porosos ou cápsulas porosas enterradas.

Os sistemas de microirrigação são caracterizados pelo uso reduzido de energia e mão-de-obra e eficiente uso de água e fertilizantes. Estes sistemas pouco interferem nas práticas culturais, possibilitam o uso de água com certo grau de salinidade, podem ser usados em solos de diferentes texturas, declividades e salinos, bem como permitem automação total da irrigação. As principais limitações são o alto investimento inicial, problemas de entupimento de gotejadores e requerimento de sistemas de filtragem.

No caso de gotejamento subterrâneo, as principais vantagens são a menor interferência nos tratos culturais, redução nas perdas de água por evaporação e redução potencial na incidência de doenças. Todavia, há maiores riscos de entupimento devido à sucção de detritos na despressurização da rede e entrada de raízes de plantas. Para minimizar estes problemas devem-se usar ventosas, gotejadores com dispositivos anti-sucção e aplicar herbicidas apropriados no sistema.

Uma limitação do uso do gotejamento em culturas não perenes é a necessidade de remoção das linhas de gotejadores do campo ao final de cada safra. No caso de gotejamento subterrâneo, há o agravante das laterais terem de ser enterradas antes do plantio e desenterradas após a colheita, o que reduz a vida útil das laterais e requer maior uso de mão-de-obra.

Muito embora a área de hortaliças microirrigada no Brasil seja reduzida, seu uso tem aumentado gradativamente nos últimos anos. Apesar do custo elevado, comparado aos sistemas superficiais e por aspersão, o gotejamento pode ser uma alternativa viável para várias hortaliças, haja visto um potencial aumento da produtividade e qualidade do produto. Esta viabilidade depende, todavia, de um manejo eficiente de água e do uso efetivo de fertilizantes via irrigação, em especial nitrogênio e potássio. A microaspersão e, principalmente, o sistema tipo borbulhador são de uso mais restrito que o gotejamento.

■ Aspectos agronômicos

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 fator importante a ser considerado na seleção do sistema de irrigação.

Irrigação por sulcos adapta-se melhor às hortaliças cultivadas em linha, como o tomate, berinjela e milho-doce, não sendo indicada para aquelas com alta densidade de plantio, como ervilha e lentilha. Por razões econômicas, gotejamento também não tem sido recomendado para condições de alta densidade de plantio. Para hortaliças com espaçamento reduzido deve-se utilizar, por exemplo, sistemas por aspersão, faixas e corrugação. Dentre estes, a aspersão pode ser usada para hortaliças com todas as densidades de plantio, das mais compactas às mais espaçadas.

O gotejamento adapta-se bem a sistemas de plantio em linha, em especial para aquelas hortaliças com espaçamento de pelo menos um metro entre linhas, onde a aplicação localizada de água é desejável pelas vantagens que o sistema oferece. O sistema é ainda apropriado e vantajoso para hortaliças como o morangueiro que são cultivadas em canteiros cobertos com filme plástico. A cobertura do solo com filme plástico prejudica o uso da aspersão; neste caso, a irrigação por sulcos também pode ser utilizada. Nos últimos anos, o uso do gotejamento tem crescido principalmente em hortaliças como a melancia, melão e aquelas sob cultivo protegido, como tomate para mesa, pimentão e pepino.

A aspersão, principalmente quando o tamanho de gotas é grande, pode reduzir a produtividade de sementes

das umbelíferas e outras espécies, bem como a de algumas hortaliças de frutos, quando realizada durante o período de floração. O impacto das gotas pode prejudicar a polinização e favorecer o abortamento e queda de flores.

A altura de planta não limita a utilização de sistemas por superfície, subsuperfície e microirrigação, mas pode limitar o uso da aspersão. Neste caso, os aspersores devem ser posicionados acima do dossel da cultura sob pena de comprometer a uniformidade de distribuição de água. O impacto do jato de água também pode causar danos mecânicos às plantas próximas aos aspersores.

Sistema por aspersão tipo ramal rolante, onde as laterais são montadas sobre rodas com diâmetro de 1,90 a 2,50 m, só se aplica àquelas hortaliças com altura de planta inferior a metade do diâmetro das rodas. Assim, hortaliças tutoradas como o tomate, feijão-de-vagem e chuchu não podem ser irrigadas por ramais rolantes. Os cultivos tutorados podem ainda dificultar o uso dos sistemas de aspersão convencional portátil e semiportátil, que requerem mudança periódica de posição das linhas laterais.

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 freqüentes. Isto inviabiliza o uso de sistemas superficiais, visto que a eficiência de irrigação nestes sistemas está diretamente relacionada à lâmina de água aplicada. Irrigações em alta freqüência requerem uso intensivo de mão-de-obra em sistemas superficiais e por aspersão convencional portátil e semiportátil. Para essas condições, os sistemas mais indicados são os por aspersão convencional permanente e microirrigação. Sistemas mecanizados por aspersão podem ser usados desde que sejam capazes de irrigar toda a área dentro do turno de rega requerido pela cultura.

■ Aspectos fitossanitários

Os aspectos fitossanitários relacionados às hortaliças são também muito importantes, haja visto que a incidência de pragas e, principalmente, de doenças de solo e da parte aérea 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 de sistemas por aspersão. A aplicação de água à parte aérea das plantas via aspersão propicia condições de alta umidade junto à folhagem e remove os agrotóxicos aplicados, favorecendo o desenvolvimento de doenças fúngicas e bacterianas. Assim, os sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento são os mais indicados para hortaliças que requerem pulverizações freqüentes.

A irrigação por sulcos pode atuar como veículo na disseminação de fungos e bactérias de solo ao longo dos sulcos e agravar, por exemplo, a incidência da murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) em cultivos como batata e tomate, por exemplo. Irrigação por sulcos 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 incidência 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 incidência 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 uma maior incidência de oídio nas culturas da ervilha e chuchu, dentre outras. No caso deste patógeno, a aplicação da água diretamente à folhagem através da irrigação por aspersão permite que os esporos sejam lavados, reduzindo a sua incidência.

Como se vê, os sistemas que molham a folhagem (aspersão) favorecem várias doenças fúngicas e bacterianas na parte aérea, mas podem ter um efeito redutor em outras pragas e doenças de folhagem e frutos. Já os sistemas superficiais e por microirrigação minimizam a ocorrência de doenças fúngicas e bacterianas na parte aérea, mas podem favorecer a incidência de pragas. Assim, a escolha do sistema de irrigação deve visar o melhor equilíbrio fitossanitário, que depende da espécie, ou mesmo da cultivar, condições climáticas, dentre outros fatores.

Na produção de sementes de algumas hortaliças, como as umbelíferas, por exemplo, irrigação por aspersão durante a maturação de sementes, quando associada à temperaturas elevadas, pode prejudicar o poder germinativo de sementes principalmente por favorecer a ocorrência de doenças.

Um sistema largamente adotado, principalmente para hortaliças destinadas à indústria, como é o caso do tomate, ervilha e milho-doce, é o pivô central de baixa pressão. Este sistema tem como vantagens o uso reduzido da 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. Deste modo, o manejo inadequado do solo, da irrigação e a rotação inadequada de culturas favorecem uma maior incidência e acúmulo de patógenos no solo. Nos últimos anos, tal problema tem inviabilizado o cultivo de ervilha, feijão e tomate para processamento em grande parte dos pivôs centrais no Brasil Central, devido à alta infestação do fungo do mofo branco ou podridão-de-esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*). 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.

Topografia

Terrenos com declividade acentuada e/ou superfícies irregulares limitam o uso da irrigação superficial e subsuperficial. Para terrenos com essas 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 de irrigação superficiais, admitem-se declividades de até 2% para irrigação por sulcos e inundação, 7% para sulcos em contorno e faixas, e 10% para corrugação. A susceptibilidade do solo à erosão é o principal fator na determinação da declividade para sistemas por superfície. Alguns dos sistemas por aspersão podem operar em

declives de até 20% ou mais, enquanto a microirrigação pode ser usada em declives de até 60%, principalmente após o advento de gotejadores autocompensantes, ventosas e reguladores de pressão.

A forma do terreno também pode ser fator decisivo na seleção do sistema. Aspersão convencional, sulcos em contorno e microirrigação ajustam-se às áreas de qualquer formato. Sistemas de aspersão autopropelido, ramal rolante e deslocamento linear e sistemas superficiais por sulcos e faixas requerem áreas retangulares. O pivô central irriga área circular, embora existam adaptações ao sistema que permitem irrigar áreas quase quadradas.

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 estas características físico-hídricas não permitem o uso de sulcos ou faixas com comprimento mínimo que possa viabilizar a adoção destes sistemas. Por outro lado, os sistemas por aspersão e microirrigação 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 e bacias em nível adaptam-se bem a solos pesados, com superfície estruturada sobre subsolo com baixa permeabilidade. Para os subsuperficiais, deve existir uma camada de solo permeável (solos arenosos, orgânicos ou argilosos estruturados) sobrepondo uma camada impermeável entre 1,5 - 2,0 m de profundidade.

O uso de sistemas superficiais em solos com capacidade de infiltração muito baixa pode trazer problemas para várias hortaliças. Sobre essas condições há tendência da formação de uma lâmina de água sobre o solo, que pode permanecer por períodos muitas vezes superiores a doze horas, prejudicando a aeração do solo e favorecendo a incidência de doenças de solo. Certas hortaliças, como a batata e a cebola, não toleram essas 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. Os sistemas superficiais, subsuperficiais e microirrigação não são afetados de forma significativa pelo clima.

Irrigação por aspersão não é recomendada em regiões com alta incidência de ventos (velocidades acima de 6 m/s). Ventos acima desse limite provocam alta perda de água por deriva para fora da área 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 das grandes perdas de água por evaporação, salvo onde o resfriamento da cultura e/ou a redução da demanda evaporativa da atmosfera sejam desejáveis. Por outro lado, os sistemas por aspersão são os únicos que podem ser utilizados para minimizar danos causados por geadas em hortaliças, devido aos processos de troca de calor envolvidos entre a água, planta e 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 gotejamento (acima de 90%), devem ser preferidos em regiões onde a disponibilidade de água é limitada e/ou o custo é elevado. Ao contrário, os sistemas por superfície são caracterizados por baixa eficiência, geralmente entre 30 e 70%, e, por isso, devem ser evitados em regiões onde a água é fator limitante.

O uso de água com excesso de sedimentos e de substâncias como carbonatos limitam a utilização de sistemas por aspersão, microaspersão e, principalmente, gotejamento, a menos que se use 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 de irrigação for por aspersão. Dependendo da hortaliça e do grau de contaminação da água, sistemas superficiais, subsuperficiais e microirrigação podem ser utilizados sob supervisão de um técnico.

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 de irrigação por sulcos, 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, via de regra, está a planta.

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, conclui-se que a 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 toxidez e a deposição de sais sobre as folhas e frutos pode prejudicar a qualidade do produto.

A aplicação de água junto ao sistema radicular das plantas torna o sistema por gotejamento propício 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. Sistemas por gotejamento subterrâneo, por outro lado, resultam em indesejável distribuição de sais, haja visto que parte dos sais migram para a superfície do solo.

Eficiência de irrigação

Na seleção de sistemas de irrigação é necessário conhecer a eficiência que cada sistema pode oferecer em condições de campo. Eficiência de irrigação pode ser definida pela relação entre a lâmina de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade. Representa as perdas de água durante a irrigação devido ao escoamento superficial, evaporação, deriva e drenagem profunda.

Todo sistema de irrigação aplica água com certo grau de desuniformidade. Esta característica depende de fatores inerentes ao próprio sistema, fatores climáticos e de solo, dentre outros. Assim, quanto menor a uniformidade de distribuição por 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. Assim sendo, há uma fração da área que recebe água em excesso, causando escoamento superficial e drenagem profunda.

Menor eficiência de irrigação é observada, via de regra, nos sistemas superficiais, onde as principais perdas são por drenagem profunda e 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. Na microirrigação a principal perda, embora pequena, é devido à drenagem profunda. Valores médios de eficiência de irrigação para diferentes sistemas são apresentados na Tabela 1. O valor da eficiência de irrigação é usado como denominador na divisão da lâmina líquida de água para se obter a lâmina total a ser aplicada.

Hortaliças sensíveis à deficiência de água no solo e de alto valor econômico devem ser irrigadas preferencialmente por sistemas que permitam aplicação mais uniforme de água, sob risco de redução de produtividade e qualidade do produto. Irrigações uniformes também reduzem áreas de solo com excesso de umidade e, por conseguinte, problemas de aeração e doenças bacterianas, além de minimizar lixiviação de nutrientes.

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 teoricamente possível com todos os sistemas de irrigação, sendo aqueles com alta eficiência, como gotejamento e pivô central, os mais recomendados. Entretanto, independentemente do sistema, devem ser tomadas medidas preventivas para evitar contaminações do meio ambiente e mesmo de pessoas e animais. Alguns estados da federação já 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, estes sistemas não permitem o controle de pragas e do-

enças na parte aérea das plantas via quimigação. Somente os sistemas por aspersão é que permitem a aplicação de produtos químicos tanto ao solo quanto à planta. Em razão de problemas ambientais e do difícil controle na aplicação de químicos, quimigação não é viável para irrigação subsuperficial.

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

Com o surgimento de sistemas como o pivô central, microaspersão e, principalmente, o gotejamento, associado à escassez de mão-de-obra e à busca pela eficiência, tem crescido muito nos últimos anos a automação dos sistemas de irrigação para a produção de hortaliças, especialmente, em condições de cultivo protegido.

A automação da irrigação se dá basicamente pela utilização de válvulas solenóides que são abertas e fechadas automaticamente através de comandos previamente estabelecidos em microprocessadores ou controladores de irrigação. Estes 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 econômica para seleção do sistema de irrigação mais adequado para uma determinada condição, o que torna o processo muitas vezes complexo. A relação entre os custos fixos e variáveis da irrigação e os benefícios resultantes da adoção de um determinado sistema podem ser previstos através de uma análise na qual todos os dispêndios e retornos anuais do empreendimento são estimados. Dessa forma, a análise indicará o sistema economicamente mais viável.

Custo Fixo Anual

Ao investimento inicial, que irá compor o custo fixo anual, incluem-se basicamente os custos para suprimento de água à área a ser irrigada (casa de bomba, motobomba, tubulações e acessórios), para adequação ou sistematização da área ao sistema de irrigação e para aquisição e instalação do sistema de irrigação. Os sistemas de irrigação superficiais e subsuperficiais são os que requerem, via de 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 de equipamento e tamanho da área a ser irrigada. Em termos gerais, os sistemas superficiais e subsuperficiais têm custo médio de R\$ 1.000/ha, os por aspersão, R\$ 2.000/ha, e

os por microirrigação, R\$ 5.000/ha. Pivôs pequenos para áreas em torno de três hectares tem custo médio de R\$ 5.500/ha, enquanto sistemas automatizados de gotejamento para estufas chegam a custar acima de R\$ 15.000/ha.

O custo fixo total anual é dado pela soma da depreciação do sistema e do juro médio anual sobre o valor inicial do sistema de irrigação. Depreciação é uma reserva contábil destinada a promover fundos necessários para a substituição de bens de capital produtivos de longa duração. Mede a perda gradual do capital investido na aquisição do sistema de irrigação, devido ao desgaste e obsolescência do equipamento ao longo de sua vida útil. A depreciação média anual pode ser estimada de forma simples pelo método linear, dado pela expressão:

$$D_{ma} = \frac{\text{valor de compra} - \text{valor de venda}}{\text{vida útil (anos)}}$$

Muito embora a Tabela 1 apresente custos médios para os diferentes sistemas, o preço inicial do equipamento deve ser determinado com base na sua cotação atual. Em geral, o valor de venda ou de sucata é de 5 a 10% do valor de compra. Este valor pode ainda ser zero ou mesmo negativo se algum custo adicional for requerido para inativação do equipamento. A vida útil do equipamento depende basicamente das condições de operação e manutenção, intensidade de uso e do próprio tipo de equipamento (Tabela 2).

O investimento com a aquisição e implantação de um sistema de irrigação imobiliza uma certa quantidade de capital que poderia ser empregado em qualquer outra atividade. Assim, em qualquer análise econômica de projeto deve ser considerado o custo de oportunidade do capital ou juro. Uma forma simplificada de quantificar este custo é baseada no valor médio do equipamento, considerando o valor inicial e de sucata do equipamento, onde o juro médio anual é computado pela seguinte expressão:

$$J_{ma} = \frac{\text{taxa de juros}}{100} \times \frac{\text{valor de compra} + \text{valor de venda}}{2}$$

Para fins de empreendimentos agropecuários, a taxa de juros utilizada pela Fundação Getúlio Vargas é igual a taxa de juros da poupança (6,0%).

Custos Variáveis

Dentre os custos variáveis têm-se os custos operacionais, de manutenção, adicionais e eventuais. Os custos operacionais do sistema de irrigação englobam as despesas com energia, mão-de-obra e água. Energia 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 autopropelido e convencional com aspersor tipo canhão, por exemplo, o uso de energia está acima de 5 kWh/mm/ha. Para alturas de recalque inferior-

res a 2 m, o gasto de energia é menor que 2,0 kWh/mm/ha na microirrigação, inferior a 0,5 kWh/mm/ha nos sistemas superficiais e praticamente zero na irrigação subsuperficial.

O custo da água somente será computado quando seu fornecimento for efetivamente cobrado. Isso, em geral, não acontece quando a captação é feita na propriedade, através de rios, lagos ou poços.

O custo de mão-de-obra diz respeito às despesas com salários e encargos sociais para todas as atividades envolvidas na operacionalização do sistema. O trabalho requerido para operar o sistema de irrigação depende de fatores como tipo de aplicação do sistema, grau de automação, tipo de cultura, frequência e lâmina de irrigação, e tipo de terreno. Os sistemas por sulcos e aspersão convencional portátil são aqueles que requerem maior uso de mão-de-obra (1,0 a 3,8 h/ha/irrigação), enquanto os sistemas de microirrigação, por serem fixos e muitas vezes automatizados, gastam menos (0,1 a 0,4 h/ha/irrigação). A quantidade média de mão-de-obra requerida pelos diferentes sistemas de irrigação é apresentada na Tabela 1.

Os custos de manutenção estão relacionados a todos os serviços e 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, estes custos são mais elevados nos sistemas pivô central, deslocamento linear, autopropeleto e gotejamento, intermediários nos sistemas por aspersão convencionais, ramal rolante e microirrigação, e menores nos sistemas superficiais. Quando dados locais não são disponíveis, o custo anual de manutenção pode ser calculado como fração do valor de compra do equipamento (Tabela 2).

Custos adicionais representam as despesas decorrentes do aumento da produção proporcionados pela adoção da irrigação, tais como despesas com a colheita, comercialização, transporte, dentre outros. Custos eventuais, que em média variam entre 1 - 3% do investimento inicial, são aqueles decorrentes de situações imprevistas, como falhas do sistema por erro humano, quebras e desperdícios.

Tabela 1. Valores de eficiência da irrigação, custos de aquisição e implantação, uso de energia e mão-de-obra requerida para diferentes sistemas de irrigação passíveis de serem utilizados para hortaliças.

Método	Sistema	Eficiência de irrigação (%)	Investimento inicial ^a (R\$/ha)	Uso de energia ^b (kWh/mm/ha)	Mão-de-obra ^c (h/ha/irrig.)
Superficial	Sulcos	40 - 70	600 - 1.500	0,3 - 3,0	1,0 - 3,0
	Corrugação	40 - 70	600 - 1.500	0,3 - 3,0	1,0 - 3,0
	Faixas	50 - 75	800 - 1.500	0,3 - 3,0	0,5 - 2,5
	Inundação	50 - 70	800 - 1.200	0,3 - 3,0	0,3 - 1,2
Subsuperficial	Lençol freático fixo	40 - 70	600 - 1.200	0,0 - 0,5	0,5 - 2,0
	Lençol freático variável	50 - 75	600 - 1.200	0,0 - 0,5	0,7 - 3,5
Aspersão	Convencional portátil	60 - 75	800 - 1.500	3,0 - 6,0	1,5 - 3,5
	Convencional semiportátil	60 - 75	1.200 - 2.000	3,0 - 6,0	0,7 - 2,5
	Convencional permanente	70 - 80	3.000 - 5.000	3,0 - 6,0	0,2 - 0,5
	Autopropeleto	60 - 70	1.500 - 2.200	6,0 - 9,0	0,5 - 1,0
	Ramal rolante	65 - 85	1.500 - 2.200	3,0 - 6,0	0,7 - 1,5
	Pivô central	75 - 90	1.500 - 3.000 ^d	2,0 - 6,0	0,1 - 0,7
	Deslocamento linear	75 - 90	2.000 - 3.500	2,0 - 6,0	0,3 - 1,0
Microirrigação	Gotejamento	85 - 95	4.000 - 8.000 ^e	1,0 - 4,0	0,1 - 0,3
	Microaspersão	80 - 90	4.000 - 8.000	1,5 - 4,0	0,1 - 0,4
	Borbulhador ("Bubbler")	75 - 90	2.000 - 6.000	0,5 - 3,0	0,1 - 0,4

^a Depende do nível de automação, tipo de hortaliça, qualidade de equipamento, tamanho da área, dentre outros.

^b Estimado para uma altura de recalque entre 0 e 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, de mão-de-obra, dentre outros fatores.

^d Para pivôs com áreas em torno de três hectares o custo varia entre R\$5.000 e 6.000/ha.

^e Para pequenas áreas de estufa este valor pode ser superior a R\$15.000/ha.

Obs.: São apresentados valores de eficiência de irrigação para os sistemas por aspersão para condições onde as perdas por evaporação e deriva são inferiores a 1%.

Fonte: Adaptado de Pair et al. (1983), Scaloppi (1985) e Clemmens & Dedrick (1994).

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

Sistemas e componentes	Vida útil (anos)*	Manutenção anual (% do valor inicial)
Aspersão		
Convencional portátil	10 - 15	1,0 - 4,0
Convencional semiportátil	10 - 18	1,5 - 3,0
Convencional permanente	15 - 25	0,5 - 2,0
Autopropelido	8 - 12	5,0 - 7,0
Ramal rolante	10 - 15	1,0 - 3,0
Pivô central	12 - 18	4,0 - 6,0
Deslocamento linear	12 - 18	5,0 - 7,0
Microirrigação		
Gotejamento	10 - 15	2,0 - 4,0
Microaspersão	10 - 15	1,0 - 3,0
Borbulhador ("Bubbler")	10 - 15	1,0 - 3,0
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 (gotejamento)	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/laterais	2 - 8	5,0 - 8,0
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 mais baixos devem ser usados para sistemas de pequeno porte, com manutenção realizada somente quando necessário; valores mais altos para sistemas maiores, devidamente instalados, operados e mediante esquema de manutenção.

Obs.: Tabela elaborada para período de operação de 2.000 horas anuais.

Fonte: Adaptado de James (1983), PRONI (1987) e Keller & Bliesner (1990).

Benefícios da Irrigação

Além dos custos descritos acima, deve-se também quantificar os benefícios oriundos da adoção de um dado sistema de irrigação. Nesta análise, o benefício econômico, representado pelo aumento de receita, é o mais importante e aquele que deve ser quantificado.

O incremento de receita resultante da suplementação das necessidades hídricas das culturas através da adoção da irrigação pode ser estimado, sem grandes dificuldades, para diferentes hortaliças. O problema pode tornar-se complexo à medida que se deseja quantificar este ganho em função de diferentes sistemas de irrigação, por existir deficiência de informações a este respeito. Como se sabe, a produtividade e a qualidade de muitas hortaliças estão intimamente relacionadas à forma com que a água é aplicada ao solo. Sabe-se até que determinadas hortaliças apresentam melhor desempenho sob um sistema ou outro de irrigação, mas, em geral, os dados existentes não permitem uma análise econômica criteriosa.

Hortaliças exigentes em água e de maior valor econômico devem receber irrigações mais uniformes e adequadas, tendo em vista que a redução da receita decorrente da aplicação desuniforme ou ineficiente de água torna-se mais significativa. Dentre os sistemas que possibilitam maior uniformidade de distribuição destacam-se o gotejamento e pivô central.

Critério para seleção do sistema

Na Tabela 3 são sintetizados diferentes fatores físicos, agronômicos e de caráter geral que 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 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 por um outro sistema de irrigação. Entretanto, 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, devido, principalmente, ao reduzido número de fatores sociais e econômicos apresentados, esta 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. Esta pré-seleção elimina os sistemas menos promissores, ou seja, aqueles que apresentam limitações técnicas a determinadas condições. Para a seleção final, apenas os sistemas pré-selecionados com base na Tabela 3 serão explorados através de análise econômica.

Existem diversos métodos que podem ser usados para selecionar o sistema economicamente mais viável. Dentre estes, a relação entre receita total e custo total anual, e a diferença entre receita total e custo total anual são indicadores simples e que podem ser adotados para fins de seleção do sistema de irrigação.

Exemplo de seleção

A seguir é apresentado um exemplo, utilizando o critério descrito acima, para seleção do sistema de irrigação mais viável, técnica e economicamente para a condição abaixo descrita. Dados necessários para a seleção do sistema devem ser obtidos para as condições edafoclimáticas e sócio-econômicas específicas onde o projeto será implantado. Informações referentes às necessidades hídricas das principais hortaliças podem ser obtidas em Marouelli et al. (1996).

Fatores Gerais

Área: 80 ha

Local: região de cerrado do Brasil Central

Assistência técnica: disponível

Mão-de-obra: disponível e treinada

Manutenção: disponível

Peças de reposição: sem limitação

Fatores Agronômicos

Hortaliça: tomate para processamento

Requerimento de água: 400 mm/ciclo

Evapotranspiração máxima da cultura: 6,0 mm/dia

Profundidade máxima do sistema radicular: 40 cm

Tensão crítica de água no solo: 100 kPa

Pulverizações: semanais

Terreno e Tipo de Solo

Formato: sem restrições

Topografia: levemente ondulada, declividade de 2%

Textura: argilosa

Capacidade de retenção de água: 1,1 mm/cm de solo

Taxa de infiltração: 20 cm/hr

Salinidade: sem restrição

Drenagem: sem restrições (lençol freático profundo)

Risco de erosão: moderado

Suprimento e Qualidade de Água

Fonte: riacho

Quantidade: sem restrição

Salinidade: sem restrição

Sedimentos: turbidez moderada a baixa

Aspectos biológicos: sem restrição

Altura de recalque: 25 m

Tabela 3. Guia para pré-seleção de sistemas de irrigação. (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.

	Superficial			Subsuperficial	Aspersão						Microirrigação		
	Sulcos	Faixas	Inundação*		Desloc. lateral	Pivô central	Autopropelido	Ramal rotante	Conv. portátil	Conv. permanente	Borbulhador	Microaspersão	Gotejamento
Tipo da hortaliça													
Alho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Batata	0	-	-	0	+	+	0	0	0	+	0	0	0
Batata-doce	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Berinjela	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brássicas	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cebola	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cenoura	0	-	-	-	+	+	0	+	0	+	0	0	0
Ervilha/lentilha	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	-	0	-
Feijão-de-vagem	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	+
Folhosas	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	0	0
Melancia	+	-	-	0	0	0	0	0	-	0	-	0	+
Melão	+	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	-	+
Milho-doce	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0
Pimentão	+	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	+
Sementes: cenoura, cebola etc.	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	+
Tomate para mesa	+	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	+
Tomate para processamento	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Práticas culturais													
Rotação de cultura	0	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	+
Cobertura do solo - plástico	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	+
Modificação microclimática	-	-	0	0	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	0	+	+	+
Ondulado e raso	0	0	-	-	+	-	0	0	+	+	0	0	0
Muito inclinado	-	-	-	-	0	0	0	0	+	+	-	+	+
Inclinado o cascalho	-	-	-	-	-	-	-	-	0	+	-	+	+
Infiltração alta - arenoso	-	-	-	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Infiltração moderada - siltooso	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltração baixa - argiloso	0	0	+	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Muito desuniforme	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Baixa retenção de água	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+
Salino	-	-	0	-	0	0	0	0	-	-	0	+	+
Drenagem deficiente	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Altamento erosível	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Baixa sustentação (atolar)	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Forte da água													
Subterrânea	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Fornecimento sob demanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fornecimento períodos fixos	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Fornecimento contínuo	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Taxa e período variável	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
Muito sedimento	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muita matéria orgânica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Muito salina	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Água servida (poluída)	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	-
Vazão grande	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vazão pequena	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+
Climáticos													
Precipitação elevada	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Precipitação baixa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temp. e umidade alta	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0
Temp. alta, umidade baixa	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Muito vento	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Geadas	-	-	-	0	0	0	0	0	0	+	0	+	0
Outros													
Mão-de-obra desqualificada	0	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	0	-
Baixa oferta de mão-de-obra	0	0	+	0	+	+	0	-	-	+	+	+	+
Energia escassa/cara	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Potencial de automação	-	-	0	-	+	+	0	0	0	+	0	+	+
Potencial de fertigação	-	-	-	-	+	+	0	0	0	0	0	+	+
Vandalismo potencial	0	0	+	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0
Gerenciamento deficiente	0	0	+	0	-	-	-	-	0	0	0	-	-
Problemas ambientais	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital limitado	+	+	+	+	0	0	0	0	+	-	-	-	-

* Inundação temporária em pequenos tabuleiros ou bacias.

Fonte: Adaptado de Clemmens & Dedrick (1994).

Fatores Climáticos

Precipitação: menos de 20% da necessidade da cultura

Temperatura média: 21 °C

Umidade relativa média: 55%

Velocidade média do vento: 1,0 m/s

Fatores Econômicos

Taxa de juros anual: 6,0%

Custo de mão-de-obra para irrigação: R\$ 9,50/h

Colheita manual: R\$ 15,00/t

Custo de transporte: R\$ 12,00/t (distância de 100 km)

Custo de energia (considerando demanda de potência)

Pivô central, aspersão permanente e gotejamento: R\$ 0,055/kWh (50% da irrigação no horário noturno com 80% de desconto na tarifa)

Convencional semiportátil: R\$ 0,095/kWh (100% da irrigação no horário diurno)

Custo de água: R\$ 0,00/m³

Valor da produção: R\$ 70,00/t

Antes da realização de uma análise econômica para cada sistema de irrigação, deve-se usar a Tabela 3 para a realização de uma pré-seleção, onde os sistemas com restrições de uso, para as condições acima apresentadas, são eliminados.

Sistemas superficiais por inundação e faixas não devem ser utilizados para a irrigação de tomate para processamento por causarem a saturação do solo, o que prejudica a aeração e favorece doenças bacterianas, reduzindo a produção de frutos. Irrigação por sulcos poderia ser uma opção viável, mas não se adapta à presente condição em razão do solo apresentar alta taxa de infiltração de água. Irrigação subsuperficial também é inviável já que não há condições favoráveis para formação e controle de lençol freático na área.

Microirrigação é tecnicamente viável para irrigação do tomate para processamento, sendo também recomendada para as condições de solo, clima e água apresentadas. Os sistemas por borbulhamento e microaspersão apresentam elevado custo e, via de regra, não possibilitam ganhos significativos de produtividade. Gotejamento, por outro lado, 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.

Todos os sistemas por aspersão podem ser utilizados na irrigação do tomate para processamento. As condições agronômicas, edafoclimáticas e gerais apresentadas também não limitam a seleção de nenhum dos sistemas por aspersão. Informou-se que o tomate pode requerer pulverizações semanais, o que, de acordo com a Tabela 3, poderia ser uma limitação para o uso da aspersão. O tomate para processamento, por outro lado, não é uma planta extremamente exigente em água. Assim, 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 com os tratamentos fitossanitários.

Os sistemas deslocamento lateral e ramal rolante são ainda pouco difundidos no Brasil, o que dificulta o processo de aquisição. Deste modo, esses dois sistemas são descartados para análises futuras.

Em resumo, os quatro sistemas pré-selecionados que requerem maiores considerações são o gotejamento, pivô central e aspersão convencional permanente e semiportátil com aspersor tipo canhão. Para a análise econômica e seleção final são necessários dados adicionais relacionados a cada sistema de irrigação a ser avaliado, que são apresentados na Tabela 4 para uma área de tomate de 80 ha. A seguir são computados os custos e benefícios, por hectare, para cada um dos três sistemas pré-selecionados. Os cálculos são baseados em informações apresentadas no item Aspectos Econômicos e dados fornecidos no início do exemplo e Tabela 4.

Gotejamento

Custos Fixos Anuais

Depreciação média anual

Sistema de irrigação sem as linhas de gotejadores

$$D_{ma} = \frac{\text{R\$ } 2.500/\text{ha} - \text{R\$ } 70/\text{ha}}{10 \text{ anos}} = \text{R\$ } 243,00/\text{ha/ano}$$

Linhas de gotejadores

$$D_{ma} = \frac{\text{R\$ } 2.500/\text{ha} - \text{R\$ } 0/\text{ha}}{4 \text{ anos}} = \text{R\$ } 625,00/\text{ha/ano}$$

Juro médio anual

$$J_{ma} = 0,06/\text{ano} \times \frac{\text{R\$ } 5.000/\text{ha} + \text{R\$ } 70/\text{ha}}{2}$$

$$J_{ma} = \text{R\$ } 152,10/\text{ha/ano}$$

Custos Variáveis

Custos operacionais

Energia = uso de energia (kWh/m³) x volume total de água (m³/ha) x custo de energia (R\$/kWh)

Energia = 0,25 kWh/m³ x 4.444 m³/ha x R\$ 0,055/kWh = R\$ 61,11/ha

Mão-de-obra = uso de mão-de-obra (h/ha/irrigação) x n° de irrigações x custo trabalho (R\$/h)

Mão-de-obra = 0,3 h/ha/irrigação x 50 irrigações x R\$ 2,50/h = R\$ 37,50/ha

Custo de manutenção

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

Manutenção = R\$ 2.500/ha x 0,02 = R\$ 50,00/ha (sistema sem as laterais)

Tabela 4. Custo dos quatro sistemas de irrigação pré-selecionados e fatores a serem usados na análise econômica, considerando uma área irrigada de tomate para processamento de 80 ha.

Componentes/fatores	Gotejamento	Pivô central	Permanente	Conv. semiportátil
Custo do sistema (R\$/ha) ^a	2.500/2.500 ^b	1.500	4.000	1.200
Vida útil (anos)	10/4 ^b	15	15	10
Valor de sucata (R\$/ha)	70/0 ^b	70	150	50
Uso de energia (kWh/m ³)	0,25	0,35	0,40	0,50
Eficiência de irrigação (%)	90	80	75	65
Volume de água bombeado (m ³ /ha)	4.444	5.000	5.333	6.154
Uso de mão-de-obra (h/ha/irrigação)	0,3	0,2	0,4	2,0
Número de irrigações por ciclo	50	24	24	24
Custos de manutenção (% inv.) ^c	2,0/5,0 ^b	5,0	4,0	5,0
Custos eventuais (% inv.)	1,0	1,0	1,0	1,0
Custo de produção(R\$/ha) ^d	3.200 ^e	3.400	3.400	3.400
Produtividade (t/ha)	75	65	65	60

^a Incluindo o custo do conjunto motobomba e tubulações adutora e de recalque.

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

^c Percentagem do investimento inicial.

^d Para uma produtividade de 60 t/ha e transporte à distância de até 100 km, sem considerar custos de irrigação.

^e Menor em relação à aspersão devido menor número de pulverizações.

Manutenção = R\$ 2.500/ha x 0,05 = R\$ 125,00/ha
(linhas laterais)

Custos adicionais e eventuais

Adicionais (gotejamento produz 15 t/ha a mais que convencional semiportátil)

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

Colheita = 15 t/ha x R\$15,00/t = R\$ 225,00/ha

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

Transporte = 15 t/ha x R\$ 12,00/t = R\$ 180,00/ha

Eventuais = investimento inicial (R\$/ha) x % do investimento/100

Eventuais = R\$ 5.000/ha x 0,01 = R\$ 50,00/ha

Receita Total

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

Receita = 75 t/ha x R\$ 70,00/t = R\$ 5.250,00/ha

Receita Líquida e Relação Receita Custo

Receita total - custo total = R\$ 5.250,00/ha - R\$ 4.948,71/ha = R\$ 301,29/ha

Receita total/custo total = (R\$ 5.250,00/ha) / (R\$ 4.948,71/ha) = 1,06

Pivô Central

Custos Fixos Anuais

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{R\$ 1.500/ha - R\$ 70/ha}{15 \text{ anos}} = R\$ 95,33/ha/ano$$

Juro médio anual

$$J_{ma} = 0,06/ano \frac{R\$ 1.500/ha + R\$ 70/ha}{2}$$

$$J_{ma} = R\$ 47,10/ha/ano$$

Custos Variáveis

Custos operacionais

Energia = 0,35 kWh/m³ x 5.000 m³/ha x R\$ 0,055/kWh = R\$ 96,25/ha

Mão-de-obra = 0,2 h/ha/irrigação x 24 irrigações x R\$ 2,50/h = R\$ 12,00/ha

Custo de manutenção

Manutenção = R\$ 1.500/ha x 0,05 = R\$ 75,00/ha

Custos adicionais e eventuais

Adicionais (pivô central produz 5 t/ha a mais que convencional semiportátil)

Colheita = 5 t/ha x R\$15,00/t = R\$ 75,00/ha

Transporte = 5 t/ha x R\$ 12,00/t = R\$ 60,00/ha

Eventuais = R\$ 1.500/ha x 0,01 = R\$ 15,00/ha

Receita Total

Receita = 65 t/ha x R\$ 70,00/t = R\$ 4.550,00/ha

Receita Líquida e Relação Receita Custo

Receita total - custo total = R\$ 4.550,00/ha - R\$ 3.875,68/ha = R\$ 674,32/ha

Receita total/custo total = (R\$ 4.550,00/ha) / (R\$ 3.875,68/ha) = 1,17

Convencional Permanente

Custos Fixos Anuais

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{\text{R\$ } 4.000/\text{ha} - \text{R\$ } 150/\text{ha}}{15 \text{ anos}} = \text{R\$ } 256,67/\text{ha/ano}$$

Juro médio anual

$$J_{ma} = 0,06/\text{ano} \frac{\text{R\$ } 4.000/\text{ha} + \text{R\$ } 150/\text{ha}}{2}$$

$$J_{ma} = \text{R\$ } 124,50/\text{ha/ano}$$

Custos Variáveis

Custos operacionais

Energia = 0,4 kWh/m³ x 5.333 m³/ha x R\$ 0,055/kWh = R\$ 117,33/ha

Mão-de-obra = 0,4 h/ha/irrigação x 24 irrigações x R\$ 2,50/h = R\$ 24,00/ha

Custo de manutenção

Manutenção = R\$ 4.000/ha x 0,04 = R\$ 160,00/ha

Custos adicionais e eventuais

Adicionais (convencional permanente produz 5 t/ha a mais que convencional semiportátil)

Colheita = 5 t/ha x R\$ 15,00/t = R\$ 75,00/ha

Transporte = 5 t/ha x R\$ 12,00/t = R\$ 60,00/ha

Eventuais = R\$ 4.000/ha x 0,01 = R\$ 40,00/ha

Receita Total

Receita = 65 t/ha x R\$ 70,00/t = R\$ 4.550,00/ha

Receita Líquida e Relação Receita Custo

Receita total - custo total = R\$ 4.550,00/ha - R\$ 4.257,50/ha = R\$ 292,50/ha

Receita total/custo total = (R\$ 4.550,00/ha) / (R\$ 4.257,50/ha) = 1,07

Convencional Semiportátil

Custos Fixos Anuais

Depreciação média anual

$$D_{ma} = \frac{\text{R\$ } 1.200/\text{ha} - \text{R\$ } 50/\text{ha}}{10 \text{ anos}} = \text{R\$ } 115,00/\text{ha/ano}$$

Juro médio anual

$$J_{ma} = 0,06/\text{ano} \frac{\text{R\$ } 1.200/\text{ha} + \text{R\$ } 50/\text{ha}}{2}$$

$$J_{ma} = \text{R\$ } 37,50/\text{ha/ano}$$

Custos Variáveis

Custos operacionais

Energia = 0,50 kWh/m³ x 6.154 m³/ha x R\$ 0,095/kWh = R\$ 292,31/ha

Mão-de-obra = 2,0 h/ha/irrigação x 24 irrigações x R\$ 2,50/h = R\$ 120,00/ha

Custo de manutenção

Manutenção = R\$ 1.200/ha x 0,05 = R\$ 60,00/ha

Custos adicionais e eventuais

Adicionais: nenhum (Convencional semiportátil serviu como base para os demais sistemas)

Eventuais = R\$ 1.200/ha x 0,01 = R\$ 12,00/ha

Receita Total

Receita = 60 t/ha x R\$ 70,00/t = R\$ 4.200,00/ha

Receita Líquida e Relação Receita Custo

Receita total - custo total = R\$ 4.200,00/ha - R\$ 4.036,81/ha = R\$ 163,19/ha

Receita total/custo total = (R\$ 4.200,00/ha) / (R\$ 4.036,81/ha) = 1,04

Os custos fixos anuais, variáveis e a receita total computados acima, para uma área de 80 ha de tomate irrigada pelos quatro sistemas pré-selecionados, são sumarizados na Tabela 5. O pivô central foi o sistema de irrigação que apresentou a mais alta taxa de retorno econômico, seguido da aspersão convencional permanente, gotejamento e aspersão convencional semiportátil, com taxa de retorno (receita total/custo total) de 1,17; 1,07; 1,06 e 1,04, respectivamente. Ademais, o custo inicial de aquisição do pivô central é de aproximadamente 30% do custo do gotejamento e 38% do custo da aspersão convencional permanente. Assim, pivô central é o sistema técnico e economicamente recomendado para o presente exemplo.

Deve ser observado que no exemplo acima foi considerado apenas uma safra de tomate, ou seja, todos os custos fixos anuais referentes aos sistemas de irrigação foram computados no custo total de produção desta única safra. Caso outra cultura seja cultivada na entressafra do tomateiro, esta poderia ser considerada no processo de seleção do sistema.

Em áreas de produção de tomate não é recomendado o plantio de culturas que favoreçam aumento na população de pragas e doenças do tomateiro, especialmente fungos de solo. Uma boa opção é o cultivo de gramíneas como milho, trigo e arroz. Muito embora viabilizem o cultivo do tomate por longos períodos, estas culturas são muitas vezes economicamente inviáveis por si próprias. Por esta razão, optou-se por realizar esta análise econômica somente considerando uma safra anual de tomate.

Tabela 5. Custos fixos anuais e variáveis da irrigação, custo de produção e receita total, em R\$/ha, para os sistemas por gotejamento, pivô central e aspersão convencional semiportátil, considerando uma área de tomate para processamento de 80 ha.

Custos e Receita	Gotejamento	Pivô central	Permanente	Semiportátil
Custos fixos da irrigação				
Depreciação	868,00	95,33	256,67	115,00
Juros	152,10	47,10	124,50	37,50
Custos variáveis da irrigação				
Operacionais	98,61	108,25	141,33	412,31
Manutenção	175,00	12,00	160,00	60,00
Adicionais e eventuais	455,00	150,00	175,00	12,00
Custo de produção				
Todos menos irrigação	3.200,00	3.400,00	3.400,00	3.400,00
Custo total	4.948,71	3.875,68	4.257,50	4.036,81
Receita total	5.250,00	4.550,00	4.550,00	4.200,00
Receita total - custo total	301,29	674,32	292,50	163,19
Receita total/custo total (fração)	1,06	1,17	1,07	1,04

Obs.: A receita, os custos operacionais, adicionais e de produção foram computados apenas para uma safra de tomate, não tendo sido considerada a irrigação de outra cultura na entressafra.

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 através dos diferentes sistemas existentes, que podem ser agrupados em superficiais, subsuperficiais, aspersão e microirrigação. Todos têm custos variáveis, vantagens e desvantagens características.

Muito embora os sistemas por aspersão sejam os mais utilizados no Brasil, não existe nenhum sistema que possa atender a todos os interesses envolvidos. A escolha deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto, através da análise de fatores como: espécie cultivada, tipo de solo, declive do terreno, quantidade e qualidade da água disponível, nível de automação, clima e aspectos econômicos. As vantagens e desvantagens de cada sistema devem ser consideradas, de modo que a escolha garanta o sucesso do empreendimento. O sucesso, no entanto, não depende somente da escolha criteriosa do sistema, mas também da realização de um manejo racional da água de irrigação durante todo o ciclo da cultura.

Reconhece-se, entretanto, a dificuldade de produtores que cultivam várias espécies, principalmente em áreas pequenas, em empregar diferentes sistemas de irrigação. A aspersão convencional é, via de regra, um dos sistemas que melhor se adapta a diferentes condições de solo, topografia e necessidades agrônômicas da maioria das hortaliças. A aspersão pode ser adotada sem maiores

problemas na maioria das hortaliças folhosas, de raízes, de tubérculos e de bulbos. No caso de produção de sementes, como cenoura e cebola, hortaliças de frutos e aquelas que requerem pulverizações frequentes, a escolha técnica tenderia na direção dos sistemas por sulcos ou gotejamento.

Hortaliças que requerem pulverizações frequentes e de elevado valor econômico têm sido irrigadas preferencialmente por sulcos e gotejamento. Por possibilitar total automação do sistema, controle eficiente de água e uso intensivo da fertigação, o gotejamento tem sido o sistema preferido 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 custo moderado de aquisição do sistema. 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.

Apresentou-se um critério simplificado de seleção baseado em duas fases. Na primeira, todos os sistemas são avaliados e uma pré-seleção é realizada considerando-se principalmente os aspectos técnicos. Na segunda, os sistemas pré-selecionados na fase inicial são submetidos a uma análise econômica para a escolha final do sistema mais viável. Um exemplo, usando tomate para processamento industrial, foi apresentado para melhor entendimento do critério.

Referências bibliográficas

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.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5 ed. Brasília:

EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CNPH, 1996. 72p.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Irrigação subsuperficial: uma opção para hortaliças em solos de várzea. **Hortinforme**, Brasília, n.5, p.4-5, 1991.

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. Exigência de energia para irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 21, p.13-17, 1985.

O Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, órgão vinculado ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, foi criado em 1981 com o objetivo de pesquisar e apoiar o desenvolvimento de tecnologias de cultivo de hortaliças para diversas regiões brasileiras. Sua missão é executar, promover e articular atividades científicas e tecnológicas para o desenvolvimento do Sistema Produtivo de Hortaliças no Brasil. Conta com uma equipe técnica de 50 pesquisadores, atuando principalmente nas áreas de: Melhoramento Genético, Fitopatologia, Entomologia, Fitotecnia, Biotecnologia, Solos e Nutrição de Plantas, Tecnologia Pós-Colheita, Irrigação, Tecnologia de Sementes e Difusão de Tecnologia.

Localizado em Brasília, dispõe de um campo experimental de 115 hectares irrigáveis e área construída de 22.000 m², incluindo laboratórios, casas-de-vegetação, telados, câmaras frias, unidade de beneficiamento de sementes, biblioteca, auditório, salas de aula e outras instalações de apoio.

O Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças mantém convênios com instituições públicas e privadas, nacionais e internacionais, constituindo-se em um centro de referência na pesquisa de hortaliças.

A série Circular Técnica da Embrapa Hortaliças é destinada a agentes de fomento, assistência técnica, extensão rural, produtores rurais, estudantes, professores, pesquisadores, editores de revistas de informação rural e outras pessoas interessadas no assunto.

Tratamento Editorial: Marcelo Mancuso da Cunha

PUBLICAÇÕES DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE HORTALIÇAS

SÉRIE INSTRUÇÕES TÉCNICAS

- Cultivo da Ervilha
- Cultivo do Alho;
- Tratamento de sementes de hortaliças para controle de doenças;
- Cultivo do Chuchu
- Cultivo de Hortaliças;
- Cultivo da Batata-doce
- Cultivo da Batata;
- Cultivo da Lentilha
- Cultivo da Mandioquinha-salsa;
- Cultivo do Tomate;
- Cultivo do Tomate para Industrialização;
- Cultivo da Cenoura.

SÉRIE CIRCULAR TÉCNICA

- Manejo de plantas daninhas em hortaliças;
- Manejo da cultura da batata para o controle de doenças;
- Determinação da condutividade hidráulica e da curva de retenção de água no solo com método simples de campo;
- Manejo integrado das doenças da batata;
- O controle biológico de pragas e sua aplicação em cultivos de hortaliças;
- Manejo integrado da mosca branca *Bemisia argentifolii*;
- Irrigação de hortaliças em solos cultivados sob proteção de plástico;
- Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças.

SÉRIE COMUNICADO TÉCNICO

- Besouro do Colorado;
- Processamento mínimo de hortaliças;
- Manejo da água do solo no cultivo da batata;
- Traça das crucíferas;
- Aspectos sanitários da água para fins de irrigação.

SÉRIE DOCUMENTOS (LIVROS)

- Anais do seminário sobre a cultura da batata-doce;
- Diagnosa de desordens nutricionais em hortaliças;
- Índice de patógenos de sementes de hortaliças não detectadas no Brasil;
- Protótipos de equipamentos para produção de hortaliças;
- Doenças da ervilha;
- Anais do seminário internacional sobre qualidade de hortaliças e frutas frescas;
- Doenças do tomateiro;
- Doenças bacterianas das hortaliças;
- Manejo da irrigação em hortaliças;
- Impactos socioeconômicos da pesquisa de cenoura no Brasil.

BIBLIOGRAFIAS

- Bibliografia de alface;
- Bibliografia de entomologia;
- Bibliografia de mandioquinha salsa;
- Bibliografia brasileira de irrigação e manejo de água em hortaliças;
- Bibliografia brasileira de sementes de hortaliças;
- Bibliografia brasileira de tomate;
- Bibliografia brasileira de pós colheita de hortaliças.

Pedidos de publicações poderão ser feitos através de vale postal ou cheque nominal à Embrapa Hortaliças, no valor total da aquisição, enviados para o endereço: Área de Comunicação Empresarial (ACE) - Caixa Postal 218, CEP: 70359-970, Brasília-DF. Fone: (061) 385-9042 Fax: (061) 556-5744.

1ª Impressão - Junho/98
Tiragem: 1.000 exemplares



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Km 09 - BR 060 Caixa Postal: 218 CEP: 70359-970
Fone: (061) 385-9000 Fax: (061) 556-5744 e 556-2384
e mail: cnph@cnph.embrapa.br
www.cnph.embrapa.br