Capítulo 5 - Manejo de água

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
Rivanildo Dallacort
Joao Danilo Barbieri
Altair Bertonha

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

FREITAS, P.S.L., DALLACORT, R., BARBIERI, J.D., and BERTONHA, A. Manejo de água. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online].

Maringá: EDUEM, 2018, pp. 163-208. ISBN: 978-65-86383-01-0.

<https://doi.org/10.7476/9786586383010.0007>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Manejo de água

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, Rivanildo Dallacort, Joao Danilo Barbieri e Altair Bertonha

1 Introdução

O Brasil é responsável por produzir mais de 3,7 milhões de toneladas de tomate por ano em uma área de 58,6 mil hectares (IBGE, 2017); para as culturas do pimentão e da melancia, a produção foi de 248,7 mil toneladas e 1,8 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 2006). Para essas culturas, a irrigação aumenta em até 60 % a produtividade visando a períodos em que há restrição de chuvas (IBGE, 2017).

A irrigação favorece o aumento da produtividade em solanáceas e cucurbitáceas, pois, para culturas dessas famílias, a fase de reprodução apresenta flores, frutos verdes e frutos maduros aumentando a exigência hídrica e o risco de perdas quando ocorrem estiagem.

A água é o principal elemento carreador de nutrientes para as plantas, sendo ela proveniente da precipitação e/ou irrigação. Sua disponibilidade promove o incremento da produtividade, desde que atenda às necessidades das plantas em suas fases de desenvolvimento; contudo o uso indevido e desqualificado da irrigação pode acarretar muitos danos, como contaminação da fonte, salinização do solo e perda de qualidade do produto final, além de danos causados nos equipamentos de irrigação.

Com o avanço na utilização de irrigação (aspersão, microaspersão e gotejamento), estudos voltados à aplicabilidade dessa prática vêm sendo cada vez mais discutidos, já que, na água, estão contidos íons de ferro e manganês e altas concentrações de sólidos solúveis que podem entupir tubulações, provocando redução da área de condução da água, aumento da perda de carga e pressão no sistema e consequente redução na vazão dos emissores, o que pode inviabilizar o sistema de irrigação como um todo. Tanto as águas subterrâneas como as superficiais podem conter impurezas que inviabilizam o seu uso para irrigação.

Outro fator importante a ser observado em uma análise de água para irrigação diz respeito à salinização e à sodicidade. A salinização é a presença de sais na água; quando a condutividade elétrica é maior que 0,75 ds/m, já há risco de salinidade. A sodicidade (alta concentração de sódio) pode levar à formação de crostas, à saturação temporária da superfície, à elevação do pH, à baixa condutividade hidráulica, à falta de oxigênio para respiração radicular e ao aumento de doenças. Esses dois fenômenos levam a quedas na produtividade e formação de solos degradados.

Altos níveis de sais nas águas de irrigação tanto são prejudiciais ao desenvolvimento das culturas como causam a obstrução dos sistemas de irrigação (GARCIA et al., 2008). A qualidade da água para fins agrícolas obedece a uma classificação determinada pela concentração de alguns íons, tais como o sódio, o potássio, os cloretos e os sulfatos, além de outros parâmetros, como os sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica. Os sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam sempre que a água se evapora ou é consumida pelas culturas. Os sais do solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas a tal ponto que afetam os rendimentos das culturas (AYERS; WESTCOT, 1999).

Algumas culturas produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade e outras são sensíveis a níveis relativamente baixos. Essa diferença se deve à melhor capacidade de adaptação osmótica que algumas culturas têm, o que permite absorver, mesmo em condições de salinidade, maior quantidade de água (AYERS; WESTCOT, 1999), pois a importância da utilização da água para irrigação leva em conta, além da composição físico-química da água, as características da espécie vegetal (tolerância à salinidade, seu ciclo de vida etc.) e do solo (permeabilidade, porosidade, textura, composição mineral etc.).

Quanto aos aspectos físicos da água para irrigação, é importante salientar que, a partir dessas características, deverão ser tomadas as decisões de qual sistema de irrigação adotar, pois existem limitações quanto à emissão da água para a planta; no caso de microirrigação e gotejamento, a tubulação e os emissores apresentam diâmetros inferiores ao sistema de aspersão, sendo necessárias a instalação de filtros e a utilização de água com maior grau de pureza.

2 Necessidade de água na produção de hortaliças-fruto (solanáceas e curcubitáceas)

Toda água necessária para o desenvolvimento das plantas é obtida do solo, em sua forma líquida, e com ela todos os nutrientes disponíveis são obtidos por meio das partes terminais do sistema radicular ou dos pelos radiculares. Isso ocorre devido à existência de um gradiente de energia desde a atmosfera até o solo, em que a água se move do maior para o menor potencial.

Da água absorvida, a planta retém cerca de 1%, sendo o restante transferido para a atmosfera, em forma de vapor, pela transpiração. A água também se perde diretamente para a atmosfera por meio da evaporação do solo e da superfície vegetal molhada. A esse processo de perda conjunta de água do solo e da planta para a atmosfera dá-se o nome de evapotranspiração. A taxa de evapotranspiração depende da espécie vegetal, da fase de desenvolvimento da planta, do tipo de solo e, principalmente, das condições climáticas predominantes. Dentre os fatores climáticos que influenciam o processo de evapotranspiração, destacam-se radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Existem diversos métodos de se avaliar a evapotranspiração de uma cultura, que podem ser enquadrados em duas categorias: diretos e indiretos. Nos métodos diretos, a evapotranspiração da cultura é determinada realizando-se um balanço de água no solo, com entradas (chuva e/ou irrigação) e saídas (drenagem, evaporação, transpiração, escoamento superficial). Para essa quantificação, utilizam-se lisímetros de pesagem, que são os mais precisos, os quais por sua vez, constituem-se de uma caixa enterrada ao nível do solo onde é registrado o peso de água que entra e sai, sendo possível coletar a água drenada, e por diferença, determinar a quantidade de água evapotranspirada pela cultura em estudo.

Em razão das dificuldades para a medição direta e precisa da evapotranspiração da cultura em nível de campo, os métodos indiretos são os utilizados para fins de manejo de irrigação. Esses são baseados em dados climáticos. Várias equações, todas de alguma forma empíricas, têm sido desenvolvidas para estimar a evapotranspiração da cultura para períodos de uma hora, um dia e um mês. As equações mais simples requerem dados de temperatura média do ar e umidade relativa, como a de Ivanov e Hargreaves-Samani; enquanto as mais complexas e precisas, como a de Penman-Monteith, requerem informações com respeito à radiação solar, à temperatura, à umidade relativa e ao vento.

Evaporímetros, como o tanque de evaporação do tipo classe A, também têm sido largamente empregados para a determinação indireta da evapotranspiração da cultura. Na verdade, os métodos indiretos fornecem o que chamamos de evapotranspiração de referência, sendo a evapotranspiração da cultura de interesse obtida por:

$$ET_C = K_C \cdot ET_o \quad \text{Eq. 01}$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura (mm d^{-1});

K_c - coeficiente de cultura (adimensional);

evapotranspiração cultura de referência - evapotranspiração do cultivo de referência (mm/dia).

Experimentalmente determinadas relações de ET_c/ET_o , chamados coeficientes de cultura (K_c), é usado para relacionar ET_c com ET_o .

Logo:

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_o} \quad \text{Eq 02}$$

Os coeficientes de cultura são determinados empiricamente, a partir da medição direta da evapotranspiração da cultura em condições de campo, considerando as necessidades hídricas de cada espécie vegetal, nas suas diversas fases de desenvolvimento. Sempre que possível, devem ser determinados para condições de solo e de clima específicas.

O ideal no manejo da irrigação é a combinação de métodos. Na combinação do tensiômetro com o tanque Classe A, o tensiômetro é usado para determinar o momento da irrigação e checar as condições de umidade do solo, e o tanque Classe A para determinar a lâmina de água de reposição (CARRIJO et al., 1999).

2.1 Necessidade de água da Cultura do tomate

Necessidade hídrica de qualquer cultura é a quantidade de água por ela requerida, em determinado período de tempo do seu ciclo fenológico, de modo a não limitar seu crescimento, seu desenvolvimento e sua produção, nas condições climáticas locais, ou seja, é a quantidade de água necessária para atender a evapotranspiração da cultura.

O tomateiro é uma das hortaliças mais exigentes em água, com consumo acima da média. No fruto maduro do tomateiro, a água participa com 93% a 95% de sua constituição (SANTANA et al., 2011).

O ciclo do tomateiro pode ser dividido em três fases distintas. A primeira fase, que tem duração de quatro a cinco semanas aproximadamente, vai do transplante das mudas até o início do florescimento. A segunda fase tem duração de cinco a seis semanas, iniciando-se por ocasião do florescimento e terminando no início da maturação dos frutos. A terceira fase vai da maturação ao final da colheita. É importante conhecer o início e o término das fases, possibilitando uma melhor programação das adubações, a indicação de cada nutriente, bem como a quantidade de água a aplicar.

A necessidade hídrica total após o transplantio para a cultura do tomate é de 300 mm a 600 mm, dependendo do clima (EMBRAPA, 2003). A quantidade de água aplicada por irrigação deve ser suficiente para elevar o conteúdo de água no solo à capacidade de campo, na camada correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular que, de modo geral, é de 0,40 m (SANTANA et al., 2011), quanto atinge o pleno desenvolvimento.

Marouelli, Silva e Silva (2008) encontraram valores de K_c para a cultura do tomate e observaram valores próximos ao recomendado pela FAO, conforme Tabela 1.

Tabela 1 -Valores do coeficiente de cultura (Kc) para o tomateiro segundo FAO 56

Estádios de desenvolvimento	Dias do ciclo	Kc
Inicial	25	0,6
Vegetativo	33	1,15
Frutificação	38	0,70 – 0,90
Maturação	25	0,6

Fonte: Allen et al. (1998).

2.2 Necessidade de água da Cultura do Pepino

A cultura do pepino é altamente responsiva à oferta de água, garantindo a irrigação o aumento de produtividade. O consumo hídrico durante seu ciclo varia entre 340 mm a 380 mm de água, sendo maior consumo na fase de início de florescimento até a maturação dos frutos.

Na fase I, correspondente aos cinco dias depois da semeadura (DAS), a cultura, após a emissão das raízes, inicia o seu consumo hídrico propriamente dito. A fase II corresponde ao pleno estabelecimento da plântula e do desenvolvimento vegetativo, desde a emissão dos cotilédones e o início do processo fotossintético, até o estabelecimento da copa vegetal e início do processo reprodutivo. Nesta fase, há um intenso desenvolvimento do sistema radicular que cresce e se ramifica para explorar os nutrientes e a água do solo com profundidade efetiva de 30 cm.

Na fase III, inicia-se o processo reprodutivo e vai até o início da maturação; durante essa fase, a cultura demanda muita água para nutrir a planta e acumular reservas nos frutos. Simultaneamente, ainda acontece um lento crescimento vegetativo, emissão de flores e crescimento dos frutos. Menezes et al. (2017) verificaram aumento rápido do Kc após o início do florescimento, chegando ao valor de 1,50 no período de colheita. Finalizando o acúmulo de reservas nos frutos, a planta entra na última fase de seu ciclo. Nesta fase, a demanda hídrica da planta tem atingido o seu máximo e tende a decrescer lentamente, diminuindo também os valores de Kc. Isso ocorre pelo fato de a maturação dos frutos acontecer em momentos diferentes e, mesmo que ocorra a senescência das folhas, a demanda por água continua, para nutrir os frutos que não atingiram o estado de maturidade.

Tabela 2 - Evaporação do tanque Classe A (ECA), valores médios adotados de Kc e lâmina de irrigação aplicada para diferentes intervalos de dias após o transplantio (DAT)

DAT	Kc adotado	ECA	Lâmina de Irrigação no período	
			L1 mm	L2 mm
19-32	0,92	28,56	22,29	27,86
33-46	1,22	20,02	24,12	30,15
47-60	1,54	15,82	24,17	30,21
61-74	1,50	20,02	30,31	37,89
75-88	1,54	16,10	24,96	31,20
89-102	1,52	27,86	39,53	49,41
103-114	1,54	21,96	32,75	40,94
Total	-	150,34	198,13	247,66

Fonte: Blanco e Folegatti (2002).

2.3 Necessidade de água da Cultura do Pimentão

Para que o manejo de irrigação seja realizado com eficiência, utilizam-se lâminas de água embasadas em coeficientes de cultivo condizentes com as reais necessidades hídricas demandadas pelas condições de cultivo (GOMES et al., 2010). Doorenbos e Kassam (1994) afirmam que o clima é um fator dos mais importantes na determinação das necessidades hídricas de uma cultura, de modo que se obtenham crescimento e rendimentos ótimos, sem que haja quaisquer limitações.

As necessidades hídricas das culturas são normalmente expressas mediante a taxa de evapotranspiração (ET), em mm d⁻¹. Os coeficientes de cultivo (Kc), determinados empiricamente, podem ser utilizados para relacionar a evapotranspiração de referência (ET_o) com a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), isso quando o suprimento de água atende plenamente às necessidades hídricas de cada cultura, e seu valor varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento e, dentro de certo limite, varia também com a velocidade do vento e a umidade relativa do ar.

Segundo Lima et al. (2006), o pimentão é bastante susceptível a deficiências hídricas, resultando em crescimento reduzido e desuniformidade dos frutos. Assim, a suplementação de água por meio da irrigação na cultura do pimentão constitui-se em um fator de aumento de produtividade e diminuição de riscos, influenciando a qualidade e a quantidade dos frutos. O estágio mais sensível à escassez de água por essa cultura corresponde ao início da floração, devendo o solo se manter próximo a 80% da sua capacidade de armazenamento na profundidade do sistema radicular que atinge até 70 cm. Doorenbos e Kassam (1994) citam que a necessidade hídrica da cultura do pimentão é da ordem de 600 mm a 900 mm, podendo chegar a 1.250 mm para períodos longos de crescimento.

No entanto, Dalmago et al. (2003), trabalhando com a cultura do pimentão (Híbrido VIDI F1) em ambiente protegido, encontraram evapotranspiração, por meio de lisímetros, de 136 mm, e esse baixo valor de ET_c registrado foi explicado pelo curto período de duração do experimento e pela condução em estufa.

Já Lima et al. (2006), estudando a cultivar de pimentão Yolo em casa-de-vegetação, verificaram um consumo total de água de 1.232,8 mm para um ciclo de 115 dias, sendo a ET_c média diária de 10,7 mm d⁻¹ em Recife, Estado do Pernambuco.

Tabela 3 - Valores do Kc para cultura do pimentão em seus diferentes estádios fenológicos

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	Kc FAO
Inicial	25	0,4
Vegetativo	35	0,7
Frutificação	45	1,05
Maturação	15	0,85

Fonte: Allen et al. (1998).

2.4 Necessidade de água da Cultura do Melão

Pesquisas realizadas para a cultura do melão afirmam que sua exigência hídrica é atendida com uma lâmina de 500 mm de água ou atendendo 80 % a 95 % da ET_o.

A água do solo é um fator essencialmente importante para suprir as necessidades hídricas durante as diversas fases fenológicas da planta e seu consumo varia em função de seu desenvolvimento,

atingindo valores máximos nas fases de floração e de frutificação, quando a profundidade efetiva do sistema radicular atinge seu máximo com 30 cm a 50 cm.

A classificação das diferentes fases fenológicas da cultura do meloeiro seguem a metodologia proposta por Allen et al. (1998): I) estágio inicial – do plantio até 10% de cobertura do solo; II) estágio de desenvolvimento – 10% de cobertura até a cobertura total; III) estágio intermediário – do estabelecimento da cobertura até o início do amadurecimento dos frutos; IV) estágio final – da maturação à colheita.

Tabela 4 -Valores de Kc para cultura do melão em seus diferentes estádios fenológicos

Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	KcPenman	Kc FAO
I	21	0,54	0,20
II	18	0,84	0,20 - 1,05
III	18	0,60	1,05
IV	5	0,66	0,70

Fonte: Allen et al. (1998).

2.5 Necessidade de água da Cultura da Melancia

Para o cálculo dos Kc's médios, o ciclo da cultura é dividido em quatro fases fenológicas, definidas da seguinte forma: I) fase inicial– do plantio até 10% de cobertura do solo; II) fase de crescimento – do final do estágio inicial até 80% de cobertura do solo; III) fase intermediária – de 80% de cobertura do solo até o início da maturação dos frutos; IV) fase final – do início da maturação até a colheita dos frutos.

Tabela 5 - Valores médios de coeficientes de cultura (Kc) por estádios fenológicos da melancia obtidos nesta pesquisa

Estádio de desenvolvimento	Kc palha	Kc solo	Kc ¹	Kc ²	Kc ³
I. Inicial	0,23	0,27	0,38	0,39	0,20
II. Crescimento	0,52	0,57	0,52	-	-
III. Intermediário	1,28	1,36	0,98	1,31	1,05
IV. Final	0,56	0,61	0,59	0,70	0,75

Fonte: Carvalho, Bezerra e Carvalho (2007) para o híbrido triploide Honey Ball¹. Miranda, Oliveira e Souza (2004) para a cultivar Crimson Sweet, através de lisimetria de pesagem². Allen et al. (2006)³.

3 Monitoramento da umidade do solo

A eficiência da irrigação depende principalmente do correto monitoramento da umidade do solo e consequentemente do manejo da irrigação. Esse monitoramento pode ser via clima, em que a reposição da água consumida pela cultura é medida pelo balanço hídrico que considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação, a

precipitação e a ascensão capilar são os componentes de entrada no balanço hídrico, e as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) são os componentes de saída.

O manejo de irrigação via solo considera a umidade do solo onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito usando tensiômetros, que requerem manutenção adequada e frequente.

Outros métodos compreendem sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada e atenuação de raios gama.

Em relação à quantidade de água, diversos trabalhos vêm sendo conduzidos para estabelecer técnicas de manejo da irrigação. Muitos determinam a quantidade ideal em função da lâmina evaporada do tanque classe A, ou do valor do potencial matricial limite e outros em função do valor de K_c (MARTINS et al., 2007).

3.1 Capacidade de campo e ponto de murcha permanente

A técnica de irrigação depende de uma boa relação entre a estimativa da disponibilidade da água no solo e a habilidade das plantas em utilizar a água armazenada no solo.

A água disponível no solo para as culturas é considerada como o intervalo entre os valores de umidade na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). Em laboratório, a umidade na CC pode ser determinada utilizando-se funis de Büchner, mesa de tensão e sistema de câmara de pressão de Richards.

Na literatura, encontram-se indicações de que a CC é a água retida a um potencial mátrico (Ψ_m) de -0,033 MPa para solos argilosos (COLMAN, 1947) e de -0,01 MPa para solos de textura grosseira (CASSEL; NIELSEN, 1986). Contudo, para solos arenosos, segundo Rivers e Shipp (1978), a CC ocorre em um potencial de água ainda maior, ou seja, igual a -0,0067 MPa.

O ponto de murcha permanente (PMP) é atingido quando a umidade do solo proporciona a murcha irreversível das plantas e não há mais a recuperação da turgescência das folhas, quando as plantas são colocadas em um ambiente escuro e saturado de umidade (BRIGGS; SHANTZ, 1912).

Richards e Weaver (1943) determinaram a umidade no PMP pelo método do laboratório e pelo método fisiológico e observaram que o Ψ_m de -1,5 MPa correspondeu $\pm 1,5\%$ de teor de água gravimétrica, obtido pelo método fisiológico, em mais de 100 solos testados. A partir desses resultados, indicaram que a determinação em laboratório da umidade ao Ψ_m de -1,5 MPa é uma maneira prática de se determinar o limite inferior de disponibilidade de água às plantas. Contudo as plantas podem atingir o PMP a potencial mátrico do solo dentro da ampla faixa entre -0,8 e -3 MPa, conforme citado por Klein, Reichert e Reinert (2006). Já em um estudo usando melão como planta indicadora em Neossolo Quartzarênico, Costa et al. (2009) encontraram maior umidade do solo no PMP significativamente determinado pelo método fisiológico comparado pela retenção de água no Ψ_m de -1,50 MPa, o que indica ser a cultura do melão sensível ao estresse hídrico.

Arbitrariamente, assume-se, em geral, que a capacidade de campo ocorre quando o potencial matricial é de -33 kPa, e que o ponto de murcha permanente corresponde a um potencial matricial de -1500 kPa.

3.2 Armazenamento da água do solo

O solo é armazenador e fornecedor de água e nutrientes às plantas. Por fenômenos de adsorção e capilaridade, ele retém, entre uma chuva e outra, a umidade de que as plantas necessitam.

Dependendo do conteúdo de água no solo, as plantas terão maior ou menor facilidade em extrair água e, portanto, de atender às suas necessidades. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água. Isso porque vai aumentando a força de retenção, enquanto diminui a disponibilidade hídrica no solo. Por isso, nem toda água que o solo consegue armazenar está disponível às plantas.

O teor de água disponível no solo é definido como sendo a diferença entre o teor de água no limite superior de umidade ou capacidade de campo (CC) e o teor de água no limite inferior de umidade ou ponto de murchamento permanente (PMP) (REICHARDT, 1985). Esse parâmetro é afetado pelas características do solo, como o teor de matéria orgânica, microporosidade, percentagem e tipos de minerais encontrados na fração argila (COSTA; NANNI; JESKE, 1997).

A água disponível às plantas tem uma grande dependência das características de retenção da água no solo que, por sua vez, está relacionada às características físicas do solo. Assim, em solos arenosos, a disponibilidade de água para as plantas é relativamente menor que em solos com maior teor de argila, o que torna os cultivos realizados nestes tipos de solo mais susceptíveis ao déficit hídrico. A capacidade de água disponível no solo (CAD) pode ser definida como a quantidade máxima de água que o solo pode armazenar na profundidade explorada pelo sistema radicular da planta, sendo calculada pela expressão:

$$CAD = (CC - PM).Z \quad \text{eq. 03}$$

em que:

CAD - capacidade de água disponível no solo, mm;

CC - umidade do solo na capacidade de campo, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

PMP - umidade do solo no ponto de murcha permanente, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$;

Z - profundidade efetiva do sistema radicular, mm.

3.3 Tensiômetro

O tensiômetro, geralmente, é construído de tubo de PVC rígido de diâmetro $\frac{1}{2}$ ", onde, em uma das extremidades, é acoplada uma cápsula cerâmica porosa e, na outra extremidade, apresenta rosca em que será instalado um tampão e rolha que permita vedação da parte superior do tubo, e também será instalado, na parte superior, mas um pouco abaixo do tampão, um vacuômetro que permitirá medir a tensão da água no solo.

Após finalizada a construção, o tensiômetro será levado para o campo para instalação no solo onde está sendo cultivada a cultura em que será efetuado o controle da irrigação.

Para que o sistema funcione, o tubo deverá estar completamente cheio de água e, antes de iniciar a instalação e a operação, devemos deixar o tensiômetro, isto é, a parte inferior, dentro de recipiente com água, para que cápsula porosa absorva a água e elimine o ar de seus poros.

Após irrigação ou chuva em campo aberto, inicia-se o processo de transferência da água do solo para atmosfera; em razão disso a umidade do solo irá reduzindo e a tensão da água retida no solo reduz, sendo o valor, dessa tensão indicado pelo vacuômetro instalado no tubo de PVC. Ao atingir o valor pré-definido para iniciar a irrigação, o sistema de irrigação deverá ser ligado para aplicar a lâmina necessária.

Cessada a irrigação, a água que está no solo em tensão superior à do interior do tensiômetro irá movimentar-se para o interior do tubo através da cápsula, fazendo que haja uma redução no valor acusado no vacuômetro.

Os tensiômetros mais utilizados na agricultura são os de vacuômetro metálico tipo Bourdon, pela facilidade de operação e custo de aquisição.

Como regra geral, podemos considerar as seguintes faixas de tensão matricial de água no solo:

- 0-10 kPa – Solo próximo à saturação. Leituras contínuas nessa faixa indicam irrigações em excesso, perda de água por drenagem profunda e deficiência de aeração para as raízes.
- 10-20 kPa – Solo com excelente condição de umidade e boa aeração. Faixa de tensão indicada para hortaliças altamente sensíveis ao déficit de água, solos arenosos e/ou irrigação por gotejamento.
- 20-40 kPa – Solo com boa condição de umidade e excelente aeração. Faixa de tensão indicada para hortaliças sensíveis ao déficit de água.
- 40-70 kPa – Solo com limitada condição de umidade e excelente aeração. Faixa de tensão indicada para hortaliças com tolerância moderada ao déficit de água.
- > 70 kPa – Solo com baixa disponibilidade de água e excelente aeração. Fora do limite de funcionamento de tensiômetro. Condição indicada apenas para hortaliças altamente tolerantes ao déficit de água e/ou estádios definidos de desenvolvimento de culturas específicas.

Figura 1 - Tensiômetro instalado na cultura do pepino.

Fonte: Os autores.

Calculo da lâmina de irrigação

Para utilizarmos o tensiômetro no controle da irrigação, precisamos de algumas informações. Para calcularmos a lâmina da água a ser reposta ao solo, é necessário saber, como, por exemplo, as características físico-hídricas do solo e as características da planta.

$$\theta = \theta_R + (\theta_S - \theta_R) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Psi_m)^n} \right]^m \quad \text{eq. 04}$$

O modelo de Van Genuchten (1980) apresentado na equação 04

Figura 2 - Gráfico da tensão da água no solo realizado em laboratório para um Nitossolo.

Fonte: Blainski (2007).

Blainski (2007) ajustou o modelo apresentado na equação 04, considerando que a umidade do solo na capacidade de campo foi de $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o Nitossolo vermelho distroférico, com a seguinte composição granulométrica do solo: areia 175 g kg^{-1} , silte 90 g kg^{-1} e argila 735 g kg^{-1} . Na cultura do tomateiro com sistema radicular determinado em experimento realizado em condições de casa de vegetação, em um solo com essas características, calculou-se a lâmina a ser reposta utilizando a equação 05.

$$L = (\theta_{cc} - \theta_{tensao}) Z \cdot \frac{PW}{100} \quad \text{eq. 05}$$

Em que:

L - lâmina da água a ser aplicada ao solo em cada irrigação, mm;

θ_c - umidade na Capacidade de campo, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

θ_{tensao} - Umidade do solo na tensão em que se deve iniciar irrigação, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

Z - Profundidade efetiva do sistema radicular, mm.

Pw- porcentagem de área molha, %.

Com o exemplo para cultura do tomateiro instalado em Nitossolo, com características físico-hídricas, em que a capacidade de campo $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a tensão da água no solo recomendada para iniciar uma nova irrigação é de 40 kPa (MAROUELLI; SILVA, 2002), então a umidade, de acordo com a curva de retenção apresentada na Figura 2, será:

$$\theta = 0,105 + \left[\frac{0,57 - 0,105}{1 + (0,2453 \cdot \Psi_m)^{1,0878}} \right]^{0,0807} \quad \text{eq. 06}$$

Transformando a tensão de kPa para hPa, multiplicamos pelo fator 10, então 40 kPa é equivalente a tensão de 400 hPa.

$$\theta = 0,105 + \left[\frac{0,57 - 0,105}{1 + (0,2453 \times 400)^{1,0878}} \right]^{0,0807} = 0,416 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \quad \text{eq 07}$$

Figura 3 - Esquema da disposição dos gotejadores em linha lateral.

Fonte: Os autores.

Para se calcular o tempo de irrigação, considerou-se o espaçamento entre plantas de 0,6 m e 1,0 m entre fileiras e sistema de irrigação por gotejamento com gotejadores espaçados de 0,3 m apresentando uma vazão de 1,2 L h⁻¹.

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), para uma linha lateral de emissores por fileira de planta, a porcentagem de área molhada pode ser calculada pela equação 07.

$$PW = NEP \cdot \frac{S_e \cdot W}{S_p \cdot S_f} \cdot 100 \quad \text{eq. 08}$$

Em que

NEP - Número de emissores por planta;

S_e - Espaçamento entre emissores, m;

S_p - Espaçamento entre plantas, m;

S_f - Espaçamento entre fileiras de plantas, m;

W - Diâmetro molhado por emissor, m.

$$PW = 2 \cdot \frac{0,3 \times 0,3}{0,6 \times 1,0} \cdot 100 = 30\%$$

Utilizando a equação 05, para calcularmos a lâmina a ser aplicada,

$$L = (0,47 - 0,416) \times 300 \frac{30}{100} = 4,86 \text{ mm}$$

Considerando eficiência de aplicação de 90%, a lâmina total a ser aplicada será

$$L_T = \frac{4,86}{0,9} = 5,4 \text{ mm}$$

O volume de água aplicado por planta será:

$$V_P = L_T \cdot S_f \cdot S_p$$

V_p - volume de água por planta, L.

$$V_p = 5,4 \times 0,6 \times 1,0 = 3,24 \text{ L}$$

Tempo de irrigação

$$T_I = \frac{V_p}{NEP.q_a} \quad \text{eq 09}$$

Em que

q_a - vazão do emissor $L \text{ h}^{-1}$.

$$T_I = \frac{3,24}{2 \times 1,2} = 1,2 \text{ horas}$$

3.4 Sondas TDR

Método da reflectometria no domínio do tempo (TDR) – Este método, conhecido pela sigla TDR, baseia-se no tempo de reflexão de pulsos elétricos propagados ao longo de uma sonda introduzida no solo. O princípio de medida da umidade do solo pela técnica TDR foi primeiramente introduzido por Davis e Chudobiak (1975) e implementado e validado por Topp, Davis e Annan (1980). A sonda, composta por duas hastes paralelas, atua como um guia de onda com o pulso elétrico se propagando no solo como uma onda plana. As hastes atuam como condutores e o solo como meio dielétrico. As constantes de propagação de ondas eletromagnéticas no solo dependem das propriedades deste, como umidade e condutividade elétrica.

As propriedades dielétricas do solo são influenciadas por sua umidade. Justamente pelo fato de a constante dielétrica da água (80,4 a temperatura 293 K) ser muito maior que a do ar (1,0 a temperatura 293 K) e dos constituintes minerais do solo (entre 3,0 e 7,0 a temperatura 293 K), a velocidade de propagação de uma onda de energia em hastes paralelas inseridas no solo é dependente do seu teor de água, possibilitando a monitoração da umidade do solo através das medidas de suas propriedades dielétricas. A técnica TDR determina a constante dielétrica do solo através da medição do tempo de propagação da onda eletromagnética no solo. O funcionamento da TDR para a determinação da umidade baseia-se na medida da velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em uma guia de onda metálica (sonda) inserida no solo.

Por meio de uma correlação experimental entre a constante dielétrica medida com TDR e a umidade volumétrica do solo medida por gravimetria, pode-se utilizar a técnica de TDR para a determinação da umidade do solo. A umidade volumétrica (θ), embora seja dependente do tipo de solo, da densidade, da temperatura e do conteúdo de sal, é função da constante dielétrica (ε). Assim, um primeiro modelo de calibração empírico que relaciona θ e ε foi proposto por Topp, Davis e Annan (1980), equação (10):

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,9 \times 10^{-2} \varepsilon - 5,5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4,3 \times 10^{-6} \varepsilon^3 \quad \text{eq. 10}$$

Essa relação possui uma precisão de $\pm 0,01$. Entretanto recomenda-se que seja realizada uma calibração local a fim de obter, com maior confiabilidade, valores de umidade do solo para manejo da irrigação (ANDRADE JÚNIOR; SILVA; COELHO, 2013). A equação (10) tem sido aplicada mostrando-se adequada para a determinação da umidade; entretanto têm-se verificado limitações quando utilizada para medição da umidade com TDR em solos com alto teor de matéria orgânica, solos expansivos, solos salinos e contendo minerais magnéticos, como a magnetita.

A técnica da reflectometria no domínio do tempo tem sido mundialmente utilizada para a determinação da umidade e condutividade elétrica dos solos, em substituição às técnicas de moderação de nêutrons e gravimétricas. As principais vantagens da TDR são a não utilização de radiação ionizante, a possibilidade de automação das análises, a multiplexação de diversas sondas em um único equipamento e a pouca influência da textura e da densidade do solo na determinação da umidade. Os solos altamente intemperizados, com presença de altos teores de óxido de ferro e minerais magnéticos e baixos teores de matéria orgânica podem influenciar a resposta da TDR.

Figura 4 - Sensores TDR conectados ao Datalogger e bateria para armazenamento instantâneo da condutividade elétrica do solo.

Fonte: Os autores.

3.5 Tanque Classe A

O tanque de evaporação Classe A é circular, com 120,7 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade. Ele é construído de ferro galvanizado (calibre 22) ou metal (0,8 mm). O tanque é montado sob uma plataforma de madeira de 15 cm sobre o nível do solo. O solo deve ficar 5 cm abaixo do fundo do tanque. O tanque deve estar em nível, cheio de água a 5 cm abaixo da borda, não podendo o nível de água abaixar mais do que 7,5 da borda. A água deve ser regularmente renovada, no mínimo semanalmente, para eliminar turbidez extrema. O tanque, se galvanizado, é pintado anualmente na cor alumínio. O tanque deve ser protegido por cercas altas para animais não beberem asua água. O terreno preferencialmente deve ser gramado, 20 m por 20 m, aberto por todos os lados para permitir livre circulação do ar. É preferível que seja localizado no centro da área ou o lado maior com cultura na direção dos ventos predominantes.

Apesar da diferença entre evaporação do tanque e evapotranspiração de superfícies com culturas, o uso de tanques para estimar ET_0 para períodos de 10 dias ou mais tempo pode ser utilizado. A evaporação de tanque é relacionada à evapotranspiração de referência por um coeficiente de tanque derivado empiricamente:

$$ET_0 = K_p \cdot E_{pan} \quad \text{eq. 11}$$

Em que

ET_0 - evapotranspiração de referência mm d^{-1} ;

K_p - coeficiente de tanque [-];

E_{pan} - evaporação de tanque mm d^{-1} .

Figura 5 - Dimensões e instalações do Tanque classe A pertencente à Universidade do Estado de Mato Grosso – Tangará da Serra: A – Parafuso Micrométrico; B – observação da ponta na superfície da água; C – Leitura em milímetro com decimal.

Fonte: Os autores.

Tabela 6 - Coeficiente de tanque (Kp) em função das condições ambientais

Vento (m s ⁻¹)	Caso A - Bordadura de grama				Caso B - Bordadura de solo nu			
	Bordadura (m)	RH média			Bordadura (m)	RH média		
		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70
Fraco < 2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 2 a 5	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 5 a 8	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

A partir dos dados apresentados na Tabela 6, Allen et al. (1998) ajustou a equação para ser utilizada em sistemas que, automatizados de aquisição de dados, usam recursos computacionais para fazer o manejo da irrigação.

$$K_p = 0,108 - 0,0286.U_2 + 0,0422.\ln(F) + 0,1434.\ln(UR_{med}) - \\ - 0,000631.[\ln(F)]^2.\ln(UR_{med}) \quad \text{eq. 12}$$

em que:

Kp - coeficiente do tanque, adimensional;

U₂ - velocidade do vento, m s⁻¹;

UR_{méd} – umidade relativa média, %;

F - Distância do centro do tanque até extremidade da bordadura, m.

3.6 Métodos FAO

3.6.1 Método de Penman-Monteith

Os únicos fatores que afetam ET_0 são os parâmetros climáticos. Por conseguinte, ET_0 é um parâmetro climático e pode ser calculado utilizando dados climáticos. ET_0 expressa o poder evaporante da atmosfera em uma localidade específica e a época do ano e não considera as características da cultura e os fatores do solo. O método de Penman-Monteith FAO é recomendado como o método exclusivo para determinar ET_0 . O método foi selecionado porque aproxima a ET_0 da grama à localidade avaliada, tem base física e explicitamente incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Além disso, foram desenvolvidos procedimentos para estimar parâmetros climáticos perdidos.

O método de Penman-Monteith FAO foi recomendado como o único método padrão para a definição e estimativa da evapotranspiração de referência. O método de Penman-Monteith FAO requer os parâmetros meteorológicos de radiação, temperatura e umidade do ar e dados de velocidade do vento.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{eq. 13}$$

Em que:

ET_0 - evapotranspiração de referência [mm d^{-1}];

R_n - radiação líquida à superfície de cultura [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];

G - densidade do fluxo de calor do solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$];

T - temperatura do ar média diária a 2 m de altura [$^{\circ}\text{C}$];

U_2 - velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}];

e_s - pressão do vapor de saturação [kPa];

e_a - pressão do vapor atual [kPa];

$e_s - e_a$ - déficit de pressão do vapor de saturação [kPa];

Δ - declividade da curva de pressão do vapor [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$];

Γ - constante psicrométrica [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$].

Para condições de dados climáticos na Tabela 7, dados medidos utilizando uma estação meteorológica automática instalada em casa de vegetação com cultivo de tomate, calculam-se os valores da ET_0 apresentadas na Tabela 8.

Tabela 7 - Dados climáticos para estufas instaladas na área experimental do Departamento de Agronomia

Data	T _{méd}	T _{máx}	T _{mín}	UR%	Vento(m/s)	Radiação(w/m ²)
19/08/16	19,7	26	16,7	86,3	0,1	79,7
20/08/16	18,9	22,7	17,9	94,6	0,0	38,6
21/08/16	15,7	19,9	10,8	81,9	0,1	124,1
22/08/16	12,2	22,6	7	69,9	0,0	109,5

5 MANEJO DE ÁGUA

23/08/16	15,7	25,4	10,5	59,1	0,0	152,1
24/08/16	18,5	26,7	12,8	62,0	0,0	126,4
25/08/16	23,6	31,5	17	56,9	0,0	162,7
26/08/16	23,5	31,1	19,7	55,5	0,0	125,9
27/08/16	20,4	22,9	18,2	52,2	0,0	24,6
28/08/16	19,8	23,3	16,8	47,9	0,0	0,2
29/08/16	21,9	25,1	19,6	67,0	0,0	34,3
30/08/16	17,9	19,6	14,7	88,4	0,0	23,8
31/08/16	16,0	22,4	13,1	76,8	0,0	134,8
01/09/16	17,9	26,5	11	66,2	0,0	146,6
02/09/16	19,4	26,9	14,9	64,4	0,1	112,2
03/09/16	19,6	23,9	17,4	73,6	0,0	87,2

Fonte: Os autores.

Tabela 8 -Valores de ETo calculados utilizando a equação de Penman-Montheit, Ivanov e Hargreaves-Samani para os dados climáticos da Tabela 7

Data	Penman-Montheit	Ivanov	Hargreaves
19/08/16	1,39	1,64	3,05
20/08/16	0,91	0,62	2,16
21/08/16	1,68	1,79	2,73
22/08/16	1,38	2,50	3,23
23/08/16	1,81	4,07	3,55
24/08/16	1,77	4,33	3,74
25/08/16	2,30	6,11	4,38
26/08/16	1,91	6,27	3,90
27/08/16	0,89	5,91	2,33
28/08/16	0,69	6,26	2,71
29/08/16	0,96	4,35	2,65
30/08/16	0,76	1,28	2,26
31/08/16	1,82	2,34	2,98
01/09/16	1,99	3,73	4,08
02/09/16	1,78	4,22	3,77
03/09/16	1,49	3,15	2,80

Fonte: Os autores.

3.6.2 Método de Ivanov

A equação de Ivanov foi utilizada por requerer apenas dados de temperatura e de umidade relativa do ar, os quais são de fácil obtenção, nas mais diversas regiões do território brasileiro, e altamente correlacionados com a evapotranspiração.

Os valores de ET_c apresentados na Tabela 8 foram computados usando a equação de Ivanov (JENSEN, 1973) e os coeficientes de cultura adaptados de Maroueli, Silva e Silva (1996), Allen et al. (1998) e Simonne, Duker e Haman (2006), ou seja:

$$ET_c = 0,006 \times (25 + T_m)^2 \times \left(1 - \frac{UR_m}{100}\right) \times K_c \quad \text{eq 14}$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura (mm/d^{-1});

T_m - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

$UR_{\text{méd}}$ - umidade relativa média do ar (%);

K_c - coeficiente de cultura (adimensional).

3.6.3 Método de Hargreaves

O método de Hargreaves tem como objetivo obter a evapotranspiração de referência ET_0 baseado em poucos dados climáticos, como temperatura média, mínima e máxima mensal, e na radiação extraterrestre R_a .

$$ET_0 = 0,0023(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5}(T + 17,8)R \quad \text{eq. 15}$$

Em que:

ET_0 - referência - evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

$T_{\text{méd}}$ - temperatura média do mês ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{máx}}$ - temperatura máxima do mês ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{mín}}$ - temperatura mínima do mês ($^{\circ}\text{C}$);

R_a - radiação extraterrestre (mm/d^{-1}).

Pode-se observar, na Tabela 8, que os valores da Evapotranspiração da Cultura de Referência também foram constatados por outros autores, como Gonçalves et al. (2009), que compararam algumas equações e observaram que a equação de Hargreaves-Samani apresentou resultado bom, enquanto a de Ivanov apresentou desempenho sofrível.

Figura 5 - Evapotranspiração de referência calculada para ano de 2005, Maringá- PR.

Fonte: Os autores.

A soma dos valores da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) calculada pelos métodos de Penman-Monteith, Ivanov e Hargreaves-Samani foi de 836, 1.466 e 1.495 mm d⁻¹, respectivamente.

Figura 6 - Evapotranspiração cultura de referência(ET_o) calculada para o ano de 2011, Maringá-PR.

Fonte: Os autores.

A soma dos valores da evapotranspiração da cultura de referência (ETo) calculada pelos métodos de Penman-Monteith, Ivanov e Hargreaves-Samani foi de 836, 1.466 e 1.495 mm d⁻¹, respectivamente, para ano de 2005, e para ano de 2011, foi de 930, 1.621 e 1.486 mm d⁻¹, respectivamente, destacando-se que, no ano de 2005, ocorreu o fenômeno de El Niño e o ano de 2011 foi um ano neutro.

3.6.4 Evapotranspiração da cultura (ET_{pc})

Para calcularmos a evapotranspiração da cultura, utilizaremos o método descrito pela FAO, em que a evapotranspiração será multiplicada pelo coeficiente de cultura (Kc). O valor de Kc , para várias culturas, encontra-se determinado por pesquisadores brasileiros; quando não se encontram os valores determinados para as nossas condições, podemos utilizar os valores apresentados na Figura 3 para estágio inicial e a Tabela 3 para os demais estágios.

Utiliza-se a Figura 7 para determinar o Kc no primeiro estágio de desenvolvimento em razão de a cultura apresentar o baixo valor de IAF (índice área foliar) que proporciona grande área de solo exposta à radiação solar, que torna a evaporação da água do solo o maior componente da evapotranspiração. A evaporação da água do solo depende da frequência de umedecimento do solo.

$$ET_{pc} = ETo.Kc \quad \text{eq. 16}$$

Figura 7 - Valores médios de Kc para fase inicial.

Fonte: Allen et al. (1998).

Tabela 9 - Valores de Coeficiente de Cultura para condições de cultura não estressada

Crop	Kc inic	Kc mid	Kc end	Maxi Crop Height(h)(m)
Vegetais Família (Solanaceae)	0,6	1,15	0,80	
Berinjela		1,05	0,90	0,8
Pimentão		1,05	0,90	0,7

Tomate		1,15	0,70-0,90	0,6
Vegetais Família (Cucurbitaceae)	0,5	1,00	0,80	
Pepino	0,6	1,00	0,75	0,3
Abobrinha		0,95	0,75	0,3
Melão		1,05	0,75	0,4
Melancia	0,4	1,00	0,75	0,4

Fonte: Allen et al. (1998).

Considerando o exemplo anterior do cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) para dia 25 de agosto de 2016, em que valor calculado utilizando a equação de Penman-Montheith foi de 2,30 mm d⁻¹, quando a cultura do tomateiro estava na fase inicial(primeiro estágio), o valor de K_c obtido foi de 1,18.

Como no exemplo apresentado, a irrigação é realizada por meio de um sistema de irrigação localizada, molhando fração da área; neste caso, para determinação da K_c inicial de acordo com metodologia apresentada no Boletim FAO (56), utiliza-se a equação 16.

$$K_{inicial} = F_w \cdot K_c \text{ (da Figura 3)} \quad \text{eq.17}$$

Em que

F_w - Fração do solo molhada, decimal.

Considerando uma fração de 30% molhada no caso de irrigação por gotejamento, o valor do k_C inicial será:

$$K_{inicial} = 0,3 \times 1,18 = 0,354$$

Utilizando a equação 16

$$ET_{pc} = ET_o \cdot K_c = 2,3 \times 0,354 = 0,812 \text{ mm d}^{-1}$$

Considerando eficiência de aplicação de 90%, a lâmina total a ser aplicada será:

$$L_T = \frac{0,812}{0,9} = 0,9 \text{ mm}$$

O volume de água aplicado por planta será:

$$V_p = L_T \cdot S_f \cdot S_p$$

V_p - volume de água por planta, L.

$$V_p = 0,9 \times 0,6 \times 1,0 = 0,54 \text{ L}$$

Tempo de irrigação

$$T_I = \frac{V_P}{NEP.q_a} \quad \text{eq. 18}$$

Em que

q_a - vazão do emissor $L \cdot h^{-1}$.

$$T_I = \frac{0,54}{2 \times 1,2} = 0,226 \text{ horas} = 13,57 \text{ min}$$

Este seria o tempo de irrigação a ser realizado para no dia 26 de agosto de 2016, considerando as condições climáticas para o dia 25 de agosto de 2016.

Caso a irrigação não seja diária, utilizando a equação

$$L = (\Theta_{CC} - \Theta_{tensao}) Z \cdot f \cdot \frac{PW}{100} \quad \text{eq. 19}$$

Em que

F- fator de disponibilidade, obtido da Tabela 10

Tabela 10 - Fator de disponibilidade de água no solo (f) de acordo com grupos de culturas e evapotranspiração da cultura (ETc)

Grupo	Culturas								
1	Cebola, Pimenta, Batata								
2	Banana, Repolho, Uva, Ervilha, Tomate								
3	Alfafa, Feijão, Cítricas, Amendoim, Abacaxi, Girassol, Melancia, Trigo								
4	Algodão, Milho, Azeitona, Açafrão, Sorgo, Soja, Beterraba, Cana de açúcar, Fumo								
Grupo da Cultura	ETc (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,500	0,425	0,350	0,300	0,250	0,225	0,200	0,200	0,175
2	0,675	0,575	0,475	0,400	0,350	0,325	0,275	0,250	0,225
3	0,800	0,700	0,600	0,500	0,450	0,425	0,375	0,350	0,300
4	0,875	0,800	0,700	0,600	0,550	0,500	0,450	0,425	0,400

Fonte: Daker (1970).

Por exemplo: a cultura do tomateiro instalado em Nitossolo tem as seguintes características físico-hídricas: capacidade de campo $0,47 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e ponto de murcha permanente de $0,33 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$, e com a evapotranspiração da cultura de referência de $2,70 \text{ m d}^{-1}$, para o dia 19 de agosto, como pode ser observado na Tabela 11.

A partir dessas informações, pode-se obter o fator de disponibilidade na Tabela 10. A cultura do tomate está no grupo 2 e com o valor da evapotranspiração da cultura de referência de 2,7 mm d⁻¹. O valor do fator de disponibilidade de acordo com a Tabela 10 é 0,575. De posse desses valores, pode-se calcular a lâmina de água disponível no solo que poderá ser retirada pela planta sem causar redução no seu crescimento.

A cultura será irrigada por sistema de aspersão, a lâmina de água a ser retirada pela cultura será calculada pela equação 20.

$$L = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot Z \cdot f \quad \text{eq. 20}$$

$$L = (0,47 - 0,33) \times 200 \times 0,4 = 11,2 \text{ mm}$$

Tabela 11 - Dados climáticos do período de inverno no ano 2017, Maringá-PR

Data	ET _o (Penman-Montheit)	ET _c
19/08/17	2,70	3,10
20/08/17	3,11	3,58
21/08/17	3,65	4,20
22/08/17	4,02	4,63
23/08/17	4,31	4,95
24/08/17	5,54	6,37
25/08/17	5,20	5,98
26/08/17	5,36	6,16
27/08/17	5,56	6,40
28/08/17	6,21	7,14
29/08/17	5,53	6,36
30/08/17	4,07	4,68
31/08/17	5,32	6,12
01/09/17	4,98	5,73
02/09/17	5,33	6,13
03/09/17	5,85	6,72

Fonte: Os autores.

Como a evapotranspiração no período apresenta valores baixos, o intervalo entre irrigações poderá ser maior. Para a lâmina calculada anteriormente, cujo valor é 11,2 mm e a soma da evapotranspiração da cultura (ET_c) no período de 19/08 a 22/08/2017 é de 10,88 mm, deveria irrigar no dia 23/08/2017.

Tabela 12 - Dados climáticos do período da primavera no ano 2017, Maringá-PR

Data	ETo(Penman-Montheit)	ETc
01/11/2017	6,07	6,98
02/11/2017	6,92	7,96
03/11/2017	6,00	6,90
04/11/2017	3,36	3,87
05/11/2017	3,55	4,09
06/11/2017	2,81	3,24
07/11/2017	5,57	6,41
08/11/2017	3,21	3,70
09/11/2017	4,85	5,58
10/11/2017	4,26	4,90
11/11/2017	6,07	6,98
12/11/2017	6,69	7,70
13/11/2017	6,72	7,73
14/11/2017	8,20	9,43
15/11/2017	7,70	8,85
16/11/2017	6,91	7,95

Fonte: Os autores.

Para outro período apresentado na Tabela 12, calculou-se também a lâmina de água a ser reposta ao solo, utilizando as seguintes condições: valor médio ETo de 5 mm d⁻¹ para o período, cultura de tomate com comprimento de raízes de 20 cm, capacidade de campo de 0,47 m³ m⁻³ e ponto de murcha permanente de 0,33 m³ m⁻³. O valor do fator de disponibilidade, de acordo com a Tabela 10, é 0,4. Utilizou-se a equação 20 e obteve-se como resultado o valor de lâmina de água a ser reposta ao solo de 11,2 mm. Como a soma da evapotranspiração da cultura (ETc) nos dias 01 e 02/11/2017 é de 14,94 mm, deveria irrigar no dia 03/11/2017, com lâmina de 14,94 mm, superior à recomendada para que não ocorresse estresse, para retornar a umidade do solo à capacidade de campo.

4 Principais sistemas de irrigação para solanáceas e cucurbitáceas

4.1 Aspersão

A irrigação por aspersão, assim como as outras, apresenta uma série de vantagens e de desvantagens específicas para cada cultura. Para todas as culturas, esse sistema proporciona maior umidade na parte aérea das plantas (propiciando ambiente favorável para fungos e doenças), dependendo do horário, maior evaporação da água e, conseqüentemente, menor eficiência no uso da água. Além de ser um sistema em que os emissores possuem maior vazão e maior impacto da água nas folhas, nas flores e nos frutos, causando, em alguns casos, danos mecânicos.

Esse sistema não é recomendado para culturas que apresentam arranjo de plantas com espaçamento acima de 0,5 metros entre plantas, pois a irrigação atinge áreas onde o sistema radicular não está presente.

As vantagens, porém, são inúmeras, como menor exigência de filtros e água sem partículas sólidas, facilidade na instalação, sistema utilizado para outras culturas possibilitando a rotação de culturas e reuso da área. Em caso de geadas, são muito utilizados para evitar queima das folhas e danos à cultura e são viáveis em grandes áreas.

No caso da aspersão convencional, geralmente com tubulações móveis, deve ser observado o correto espaçamento entre as linhas laterais e os aspersores, o posicionamento dessas com relação à declividade do terreno e ventos predominantes, a pressão de serviço e a taxa de precipitação do sistema. As linhas laterais devem ser dispostas perpendicularmente à direção predominante dos ventos e, tanto quanto possível, em nível. Aspersores de impacto de tamanho pequeno e médio (raio de alcance entre 12-20 m), espaçados de 12 m x 12 m, 12 m x 18 m ou 18 m x 18 m, são comumente utilizados.

A pressão de serviço para tais condições deve variar entre 20 kPa e 300 kPa. Aspersores funcionando a pressões muito baixas produzem gotas grandes, o que prejudica a uniformidade de aplicação, pode provocar a lavagem de pólen, a queda de flores e afetar negativamente a produção final da cultura.

A taxa de precipitação do sistema de irrigação deve ser menor que a capacidade de infiltração de água pelo solo para não haver escoamento superficial, consequentemente, erosão e baixa eficiência de irrigação. Quanto mais fina a textura do solo, menor deve ser a intensidade de aplicação de água do sistema. Para a maioria dos solos de textura média, precipitações entre 10 mm h⁻¹ e 20 mm h⁻¹ não provocam escoamento superficial de água.

4.2 Microaspersão

O sistema microaspersão é caracterizado por apresentar pressão operacional menor que 207 kPa, vazão de 20 a 100 L h⁻¹ e diâmetro de alcance dos emissores variando de 1,5 m a 10 m (BOMAN, 1989).

Keller e Bliesner (1990) comentam que é recomendável, após a instalação de um sistema de irrigação, proceder-se a testes de campo, com o objetivo de se verificar a adequação da irrigação recomendando, quando necessário, ajustes na operação e, principalmente, no manejo. Esses procedimentos visam maximizar a eficiência do sistema. Para Bernardo (1995), a eficiência de aplicação é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação considerada útil às plantas. Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação está relacionada à desuniformidade de distribuição de água.

Dentre os sistemas de irrigação, a localizada apresenta maiores valores de eficiência de aplicação, da ordem de 80% a 90%.

O sistema de microaspersão é indicado para culturas que apresentem alto índice de enraizamento em que as raízes atinjam um raio acima de 0,5 metros e cujo espaçamento entre plantas seja maior que 0,5 metros. Esse sistema proporciona maior área irrigada na região de concentração das raízes independentemente do tipo de solo.

4.3 Gotejamento

Um dos sistemas mais apropriados e em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, o qual apresenta vantagens, como economia de água e energia, possibilidade de

automação e fertirrigação. Entretanto tal sistema de irrigação tem como uma das principais limitações o fato de ser susceptível ao entupimento de seus emissores. A sensibilidade ao problema varia com as características do emissor e com a qualidade da água utilizada, seja por causas físicas, químicas e/ou biológicas (CARARO, BOTREL, 2007).

A irrigação por gotejamento tem como principal característica baixa vazão e alta frequência de irrigação. Esse sistema requer manejo diferenciado quanto ao tipo de solo: em solos argilosos, o diâmetro do bulbo é maior que em solos arenosos, porém menor profundidade, contudo, para ambos os solos, deve-se calcular a velocidade de infiltração básica (VIB), para estabelecer uma vazão ($L\ h^{-1}$) adequada para cada tipo de solo.

4.4 Eficiência da Irrigação

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) afirmam que a eficiência de aplicação é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação considerada útil às plantas. Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação está relacionada à desuniformidade de distribuição de água. A eficiência de aplicação está correlacionada com a eficiência de distribuição e com a eficiência em potencial de aplicação, podendo inferir as perdas de água por percolação e por evaporação (FRIZZONE, 1992).

Dentre os sistemas de irrigação, a localizada apresenta maiores valores de eficiência de aplicação, da ordem de 80% a 90%, bem superiores às faixas de 60% a 80%, e de 50% a 70%, dos sistemas por aspersão e superfície, respectivamente (KELLER; BLIESNER, 1990).

Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador que estudou a uniformidade de distribuição da água para aspersores rotativos, determinando o efeito da pressão de serviço, do espaçamento, da rotação e da velocidade do vento sobre a distribuição da água; estabeleceu o parâmetro conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), que é o coeficiente mais preciso e utilizado.

A eficiência de aplicação (EA) refere-se à relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor. Podem-se obter altos índices de eficiência empregando-se dimensionamento correto do sistema, equipamentos adequados e manejo racional da água. Nos sistemas de aspersão, de microaspersão e de gotejamento, os valores de EA variam normalmente de 80% a 90%. Isso quer dizer que entre 80% e 90% do volume de água aplicado ficará disponível para a planta.

Se a eficiência for baixa, haverá a necessidade de se aplicar um volume maior para compensar as perdas, significando um desperdício de água e de energia (CONCEIÇÃO, 2005).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é obtido pela equação 21.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{med})}{n \cdot x_{med}} \right\} \quad \text{eq. 21}$$

sendo:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

X_i - valores de precipitação, em mm;

X_{med} - média geral dos valores de precipitação, em mm;

n - tamanho da amostra.

Para o cálculo da eficiência de aplicação (EA) sob irrigação, pode-se utilizar a equação proposta por Merrian e Keller (1978):

$$EA = 0,9.CUC \quad \text{eq. 22}$$

A eficiência de irrigação na aspersão engloba a uniformidade com que a água é distribuída pelo sistema sobre a superfície do solo e das plantas e as perdas de água por evaporação e por arrastamento pelo vento, ou seja, é função da uniformidade de distribuição e da eficiência de aplicação de água pelo sistema. Depende de fatores como sistema de irrigação, dimensionamento hidráulico, manutenção do sistema e condições climáticas.

Valores aceitáveis de eficiência de irrigação para sistemas convencionais estão entre 70 % e 80 %, para autopropeleto, entre 65 % e 75 % e, para pivô central, entre 80 % e 90 %. Na prática, é comum encontrar sistemas de irrigação operando com eficiência muito abaixo do aceitável. A avaliação deve ser realizada, no mínimo, a cada dois anos, enquanto a manutenção do sistema deve ser realizada antes de cada safra.

Além de ser um dos principais parâmetros para avaliação do sistema de irrigação, a eficiência de irrigação é utilizada para o cálculo da lâmina total de água a ser aplicada por irrigação, para suprir as necessidades hídricas das plantas.

Existem, no mercado, empresas especializadas que prestam serviço para avaliação da uniformidade de distribuição de água, especialmente para sistemas de pivô central, e que realizam serviços de manutenção e de correções para solucionar possíveis problemas de baixa eficiência.

Tabela 13 - Eficiência e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação

Método de irrigação	Eficiência de Irrigação (%)	Uso de Energia (kWh m ⁻³)
Superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
Aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Microirrigação	80 a 95	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli e Silva (1998).

4.5 Exemplos de manejo de irrigação em solanáceas e cucurbitáceas

Tendo o conhecimento da cultura como o principal requisito para irrigação, procede-se às respostas das questões: como? quando? e quanto irrigar? Para isso, devemos seguir alguns passos para o dimensionamento de um sistema de irrigação.

Exemplo 01:

Dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão na cultura da melancia no município de Maringá – PR.

Sistema radicular - 0,40 m

ET_0 - 5 mm d⁻¹

Kc máximo - 1,36

Altura máxima da cultura - 0,8 m

CC - 43 cm³cm⁻³

PMP - $34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

Ds - $1,25 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

VIB - $6,2 \text{ L h}^{-1}$

Fator de disponibilidade 75%

Eficiência da irrigação 75%

Área a ser irrigada 200 x 150 metros

Figura 8 - Croqui de área a ser irrigada por aspersão.

Fonte: Os autores.

1.º Passo: Consumo de água pela cultura.

Pode ser determinado pela evaporação do tanque Classe A ou pela estimativa da ET_0 , ambos multiplicados pelo coeficiente da cultura K_c . Para o correto dimensionamento do sistema de irrigação, o K_c a se utilizar deve ser o maior dentre as fases da cultura, pois garantirá que o sistema atenda menores exigências de água.

$$ET_c = EV_{\text{classe A}} \times K_c \quad ET_c = 5,50 \times 1,36 \Rightarrow 7,48 \text{ mm/dia}$$

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

2.º Passo: Disponibilidade total de água no solo

$$\Rightarrow 1,125 \text{ L}$$

CC – Capacidade de Campo

PMP – Ponto de Murcha permanente

Ds – Densidade do solo

3.º Passo: Disponibilidade real de água

$$DRA = DTA \times \text{Fator}_{\text{disponibilidade}} \quad DRA = 1,125 \times 0,75 \Rightarrow 0,844 \text{ L}$$

4.º Passo: Lâmina líquida de água

$$LLI = DRA \times Z_{\text{radicular}} \quad LLI = 0,844 \times 40 \Rightarrow 33,76 \text{ mm}$$

5.º Passo: Lâmina bruta de água

$$LBI = LLI / \text{Eficiência do sistema} \quad LBI = 33,76 / 0,75 \Rightarrow 45,01 \text{ mm}$$

Obs: a diferença entre a LLI e LBI é a perda por evaporação e a deriva da água antes que chegue ao solo, ocasionada pelo vento e pela temperatura elevada.

6.º Passo: Turno de rega

$$Tr = 33,76 / 6,8 \Rightarrow 4,91 \text{ dias}$$

Obs: neste passo, sempre arredondar para menos 4 dias.

7.º Passo: Período de irrigação

$$PI = Tr - \text{número de dias de folga} \quad PI = 4 - 1 \Rightarrow 3 \text{ dias}$$

Obs: $Tr > 1$ semana = N.º dias de folga 2

$Tr < 1$ semana = N.º dias de folga 1

8.º Passo: Seleção dos aspersores em catálogos deve atender os critérios abaixo:

I - Intensidade de aplicação $\leq$ VIB

II – Pressão de serviço menor possível

III – Área irrigável maior possível

IV – Vazão maior possível

Índice de pulverização

$$Pd = \frac{Ps}{(10 \times (q^{0,4}))}$$

$$Pd = \frac{30}{(10 \times (0,73^{0,4}))}$$

= 3,40

Tamanho de gota:

$2 < Pd < 4$ – Adequado

$Pd = 4$ – Ideal

$Pd < 2$ – Grande

$Pd > 4$ – Pequena

Aspersor selecionado de acordo com catálogo FABRIMAR.

Bocais 5,6 x 3.2

$Ps = 30 \text{ mca}$

$Q = 2,66 \text{ m}^3/\text{h} - 0,73 \text{ L/s}$

Espaçamento 18x24

Intensidade 6,2 mm/h

Área irrigável raio = 21 m

9.º Passo: Tempo de irrigação

$$Ti = LBI / Ia \quad Ti = 45,01 / 6,2 \Rightarrow 7,25 \text{ h}$$

Ia – intensidade de aplicação do aspersor mm/h

10.º Passo: Número de horas trabalhadas por dia

$Nh = 8$ horas de trabalho por funcionário

Obs: este passo leva em consideração as atividades da propriedade e seu regime de trabalho: para exemplo, consideramos que os colaboradores trabalhem 8 horas por dia com dois dias de folga por semana, sendo assim 5 dias de trabalho.

11.º Passo: Tempo operacional por posição

$$Tp = Ti + Tm \quad Tp = 7 + 1 \Rightarrow 8 \text{ horas}$$

Tm – tempo de montagem do sistema (mudança de posição das linhas)

12.º Passo: Número de posições por cada linha lateral

$$N = Nh / Tp \quad N = 8 / 8 \Rightarrow 1 \text{ posição}$$

13.º Passo: Número total de posições da linha lateral

$$N = L / El \quad N = 150 / 24 \Rightarrow 6,25 \times 2 \text{ lados} = 12 \text{ posições}$$

L – Comprimento da linha principal

El – Espaçamento entre linha lateral

Obs: sempre o menor espaçamento indicado pelo fabricante do aspersor será entre aspersor (18) e o maior na entre linha (24), (18x24 metros, respectivamente).

14.º Passo: Número de posições a serem irrigadas por dia

$$Nd = N / Pi \quad Nd = 12/3 \Rightarrow 4 \text{ posições}$$

15.º Passo: Número de linhas laterais irrigantes simultaneamente

$$NL = Nd / n \qquad NL = 4 / 1 = >4 \text{ LL}$$

16.º Passo: Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento da Linha Lateral se dá a partir do comprimento da linha lateral, o espaçamento entre aspersores na linha e a quantidade de aspersores.

O dimensionamento de linhas laterais sempre se dará da linha de maior comprimento para que o dimensionamento atenda sempre a condição de maior exigência.

$$N.^{\circ} \text{ de aspersores} = L_{ll} / \text{Espaçamento} \qquad N.^{\circ} \text{ de asp.} = 102 / 18 = > 5,6 =$$

6 aspersores por linha lateral

$$Q_{ll} = N.^{\circ} \text{ asp} \times Q_{asp} \qquad Q_{ll} = 6 \times 2,66 = > 15,96 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 = > 0,00443 \text{ m}^3/\text{s}$$

A vazão (Q) da linha lateral se dá pelo número de aspersores multiplicado pela vazão de cada aspersor, este já determinado no passo 8.

Critério de Pressão (perda de carga admissível)

$$h_{fa} = 20\% \times P_s - (-)\text{declive} (+)\text{aclive}$$

$$h_{fa} = 0,2 \times 30 - 0$$

$$h_{fa} = 6 \text{ mca}$$

Calcular o Diâmetro da Linha Lateral**Calcular o fator de correção de Chistiansen**

Em que:

m – Expoente da vazão na equação de Hazen Willians = 1,85

Na – Número de aspersores na linha = 6

$$F = 0,44$$

Perda de carga fictícia

$$H_{f_F} = h_{fa} / F$$

$$H_{f_F} = 6 / 0,44$$

$$H_{f_F} = 13,63$$

Hazen-Willians

Temos:

Hf – Perda de Carga (mca)

Q – Vazão (m³/s)

C – Coeficiente de rugosidade (adimensional)

D – Diâmetro (m)

Em que:

$$D^{4,87} = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times Hf}$$

$$D^{4,87} = \frac{10,641 \times 0,00443^{1,85} \times 102}{140^{1,85} \times 13,63}$$

$D = 0,0479 \text{ m}$ ou $47,97 \text{ mm}$

Obs: o diâmetro encontrado não é comercial, logo adota-se o próximo maior (50 mm).

Calcular a perda de carga real

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,00443^{1,85} \times 102}{140^{1,85} \times 0,050^{4,87}}$$

$$H_f = 11,16 \text{ mca}$$

$$Hf = \text{hfr}/F$$

$$11,16 = \text{hfr}/0,44$$

hfr = 4,91 mca

conclusão:

hfr => 4,91 mca < hfa => 6 mca

Real Admissível

Pressão no início da linha lateral

$$PiLL = P_s + 3/4 (hfr + dn) + Aa$$

PiLL – Pressão início da LL

Ps – Pressão de serviço

dn – Diferença de nível

Aa – Altura do aspersor

$$PiLL = 30 + {}^3/_4(4,91 + 0) + 1,5$$

$$Pill = 35,18 \text{ mca}$$

O valor de $\frac{3}{4}$ da equação garante que o primeiro aspersor trabalhe com pressão acima da pressão de serviço e, a partir do meio da linha, os aspersores trabalhem abaixo da pressão de serviço, equilibrando a pressão total necessária no início da Linha Lateral (LL).

Equação da continuidade hidráulica

Dedução da equação:

$$Q = A \times V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$Q = \frac{\pi \times D^2 \times V}{4}$$

$$4 \times Q = \pi \times D^2 \times V$$

$$D^2 = \frac{4 \times Q}{\pi \times V}$$

$$D = \left(\frac{4 \times Q}{\pi \times V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Q – Vazão m³/s

V – Velocidade m/s

D – Diâmetro m

A – Área m²

Dimensionamento da Linha Principal

$$\text{Trecho A - } D = \left(\frac{4 \times 4 \times Q_{LL}}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{4 \times 4 \times 0,00443}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 0,1088 \text{ m}$$

$$D = 108,8 \text{ mm}$$

Diâmetro comercial 125 mm

Obs: a velocidade da água na tubulação deve ser menor ou igual a 2,1 m/s para evitar turbulência e desgaste excessivo no sistema.

$$\text{Trecho B - } D = \left(\frac{4 \times 2 \times Q_{LL}}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{4 \times 2 \times 0,00443}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 0,0733 \text{ m}$$

$$D = 73,3 \text{ mm}$$

Diâmetro comercial 75 mm

Obs: para a escolha do diâmetro comercial, sempre utilizar o diâmetro superior ao obtido no cálculo.

$$\text{Trecho C} - D = \left(\frac{4 \times 1 \times QLL}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{4 \times 1 \times 0,00443}{\pi \times 2,1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 0,0518 \text{ m}$$

$$D = 51,8 \text{ mm}$$

Diâmetro comercial 75 mm

Cálculo da perda de carga por Hazen-Willians

$$\text{Trecho A} - Hf = \frac{10,641 \times 4 QLL^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,01772^{1,85} \times (2 \times 24)}{140^{1,85} \times 0,125^{4,87}}$$

$$Hf = 0,7863 \text{ mca}$$

$$\text{Trecho B} - Hf = \frac{10,641 \times 2 QLL^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,00886^{1,85} \times (2 \times 24)}{140^{1,85} \times 0,075^{4,87}}$$

$$Hf = 2,6246 \text{ mca}$$

$$\text{Trecho C} - Hf = \frac{10,641 \times 1 QLL^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,00443^{1,85} \times (1 \times 24)}{140^{1,85} \times 0,075^{4,87}}$$

$$Hf = 0,3641 \text{ mca}$$

Pressão no início da linha principal

$$PiLP = PiLL + \Sigma Hf_{LP} + dn_{LP}$$

$$PiLP = 35,18 + 3,775 + 0$$

$$PiLP = 38,955 \text{ mca}$$

Onde é solicitado o desnível, adiciona-se o valor em metros, sendo para aclave valor positivo e para declive negativo.

Dimensionamento da adutora

Vazão Total

$$Q = 4 \times Q_{LL}$$

$$Q = 4 \times 0,00443$$

$$Q = 0,01772 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600$$

$$Q = 63,79 \text{ m}^3/\text{h}$$

Perda de carga da linha adutora

$$\text{Trecho adutora} - H_f = \frac{10,641 \times 0,01772^{1,85} \times 250}{140^{1,85} \times 0,125^{4,87}}$$

$$H_f = 4,0953 \text{ mca}$$

Altura manométrica do recalque

$$H_{mr} = dnLP + H_fLP + PiLP$$

$$H_{mr} = 10 + 4,0953 + 38,955$$

$$H_{mr} = 53,05 \text{ mca}$$

Perda de carga da sucção

Tabela 14 - Valores de perda de carga pelo método de comprimento equivalente à tubulação retilínea

Peças especiais	Quant.	Diâmetro	Perda de carga tabelado (método do comprimento equivalente)	Comprimento equivalente (LV)
Tubos retos				7,5
Válvula de pé e crivo	1	0,150	250	37,5
Curva 90°	1	0,150	30	4,5
Redução gradual	1	0,150	6	0,9
Junção	1	0,150	30	4,5
Total				54,9

Fonte: Os autores.

$$H_{fs} = 0,3702 \text{ mca}$$

Altura manométrica da sucção

$$H_{ms} = H_{gs} + H_{fs}$$

H_{gs} – Altura geométrica da sucção

$$H_{ms} = 3,5 + 0,37$$

$$H_{ms} = 3,87 \text{ mca}$$

Altura Manométrica total

$$H_{mt} = H_{mr} + H_{ms} + 5\%$$

$$H_{mt} = 53,05 + 3,87 + 5\%$$

$$H_{mt} = 59,76 \text{ mca}$$

Seleção de bombas em catálogos

Para esse exemplo, será necessária uma bomba que possua a seguinte característica:

$$H_{mt} = 59,76 \text{ mca}$$

$$Q = 63,79 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}.$$

Exemplo 02:

Dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da melancia no município de Maringá – PR.

Sistema radicular - 0,40 m

$$ET_0 - 5 \text{ mm d}^{-1}$$

Kc máximo - 1,36

Altura máxima da cultura - 0,8 m

Eficiência da irrigação 90%

Área a ser irrigada 150 x 50 metros

Espaçamento - 3x1,5 m

Área molhada - 2,3 m²

Vazão - 3,5 L h⁻¹

Pressão de serviço - 10 mca

Turno de rega - 3 dias

1.º Passo: Consumo de água pela cultura

Em posse dos dados de evaporação do tanque classe A ou da estimativa da ET_0 , podemos calcular a evapotranspiração da cultura na fase em que ocorre o maior consumo de água.

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

$$ET_c = 5 \times 1,36$$

$$ET_c = 6,8 \text{ mm d}^{-1}$$

2.º Passo: Número de gotejadores por planta (área a ser irrigada)

$$N \text{ de gotej.} = \frac{AI \text{ (Área a ser irrigada 50\% do espaçamento)}}{AG \text{ (Área do irrigada pelo gotejador)}}$$

$$N \text{ de gotej.} = \frac{3 \times 1,5 \times 0,5}{2,3}$$

$N \text{ de gotej.} = 0,97$ gotejadores que arredondando torna-se 1 gotejador por planta.

3.º Passo: Lâmina líquida de irrigação

$$LLI = ET_c \times Tr$$

$$LLI = 5 \times 3$$

$$LLI = 15 \text{ mm}$$

O turno de rega depende da dinâmica da propriedade e do produtor, quanto aos funcionários e à disponibilidade de água.

4.º Passo: Lâmina bruta de irrigação

$$LBI = LLI/Efic.$$

$$LBI = 15/0,9$$

$$LBI = 16,6 \text{ mm}$$

5.º Passo: Tempo de irrigação

$$Ti = \frac{LBI \times AI}{N \times q}$$

$$Ti = \frac{16,6 \times 2,25}{1 \times 3,5}$$

$$Ti = 10,67 \text{ horas}$$

6.º Passo: Número de unidade operacional

$$N = \frac{Tr}{Ti}$$

$$N = \frac{3 \times 24 \text{ horas}}{10,67}$$

$$N = 6,74 = 6 \text{ unidades}$$

7.º Passo: Disposição do sistema na área

Figura 9 - Croqui de área a ser irrigada por gotejamento

Fonte: Os autores.

8.º Passo: Dimensionamento da Linha Lateral LL

$$LL = LT/N$$

$$LL = 150/6$$

$$LL = 25 \text{ m}$$

a) Número de gotejadores por linha lateral

$$N_{\text{gotej.}} = L_{LL}/1,5 - \text{espaçamento entre plantas}$$

$$N_{\text{gotej.}} = 25/1,5$$

$$N_{\text{gotej.}} = 16,66 = 16 \text{ gotejadores}$$

b) Vazão da linha lateral

$$Q_{LL} = N_{\text{gotej.}} \times q_{\text{gotej.}}$$

$$Q_{LL} = 16 \times 3,5$$

$$Q_{LL} = 56 \text{ L h}^{-1} \div 1000 \div 3600$$

$$Q_{LL} = 0,0000155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

c) Perda de carga admissível

$$h_{fa} = 20\% \times P_s - d_n$$

$$h_{fa} = 0,20 \times 10 - 0$$

$$h_{fa} = 2 \text{ mca}$$

d) Calcular o fator de correção de Christiansen

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 \times Na} + \frac{(m-1)^{0,5}}{6 \times Na^2}$$

Em que:

m – Expoente da vazão na equação de Haissen Willians = 1,85

Na – Número de emissores na linha = 16

$$F = 0,38265$$

$$H_{f_F} = h_{fa} / F$$

$$H_{f_F} = 2 / 0,38265$$

$$H_{f_F} = 5,23 \text{ mca}$$

Para a perda de carga fictícia, admite-se aumento de 20% da pressão de serviço para garantir que a média da vazão entre o primeiro gotejador e o último seja próximo.

Para o desnível, subtrai se declive e adiciona se aclave.

e) Calcular o diâmetro do tubo

$$H_f = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times \left(\frac{C}{C_g}\right)^{1,85}$$

Em que:

Cg – Coeficiente de atrito do gotejador – (Brasil = 100)

C – Rugosidade do gotejador (PVC = 144)

$$5,23 = \frac{10,641 \times 0,0000155^{1,85} \times 25}{144^{1,85} \times D^{4,87}} \times \left(\frac{144}{100}\right)^{1,85}$$

$$D = 0,01462 \text{ m}$$

D = 14,62 mm – diâmetro não comercial

Diâmetro comercial = 16 mm ou 5/8 de polegadas

f) Calcular a perda de carga com o diâmetro encontrado

$$H_f = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times \left(\frac{C}{C_g}\right)^{1,85}$$

$$H_f = \frac{10,641 \times 0,0000155^{1,85} \times 25}{144^{1,85} \times 0,016^{4,87}} \times \left(\frac{144}{100}\right)^{1,85}$$

$$H_f = 0,0374 \text{ mca}$$

g) Calcular a perda de carga real

$$H_{fr} = H_{fx} F$$

$$H_{fr} = 0,0374 \times 0,38265$$

$$H_{fr} = 0,0143 \text{ mca}$$

$$P_{iLL} = P_s + \frac{3}{4} \times h_f + d_n$$

$$P_{iLL} = 10 + \frac{3}{4} \times 0,0143 + 0$$

$$P_{iLL} = 10,011 \text{ mca}$$

O valor de $\frac{3}{4}$ da equação garante que o primeiro emissor trabalhe com pressão acima da pressão de serviço e, a partir do meio da linha, os emissores trabalhem abaixo da pressão de serviço, equilibrando a pressão total necessária no início da Linha Lateral (LL).

9.º Passo: Dimensionamento da Linha de Derivação LD

Número de derivações = $L_{LD} / \text{espaçamento entre LL}$

$$\text{Número de derivações} = 25 / 3$$

Número de derivações = $8 \times 2 \text{ lados} = 16$ linhas laterais

$$Q_{LD} = 16 \times 0,0000155$$

$$Q_{LD} = 0,000248 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h_{fa} = 10\% \times P_s - d_n$$

$$h_{fa} = 0,1 \times 10 - 0$$

$$h_{fa} = 1,0 \text{ mca}$$

Assim como na irrigação de aspersão, para o dimensionamento em sistema de gotejamento, a pressão de serviço dependerá do tipo de emissor.

Para o desnível, se aclone, adiciona o valor em metros; se declive, subtrai o valor em metros.

a) Calcular o fator de correção de Christiansen

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 \times Na} + \frac{(m-1)^{0,5}}{6 \times Na^2}$$

$$F = \frac{1}{1,85+1} + \frac{1}{2 \times 8} + \frac{(1,85-1)^{0,5}}{6 \times 8^2}$$

$$F = 0,4157$$

$$H_{f_F} = h_{fa} / F$$

$$H_{f_F} = 1,0 / 0,4157$$

$$H_{f_F} = 2,405 \text{ mca}$$

$$Hf = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times 5\%$$

$$2,405 = \frac{10,641 \times 0,000248^{1,85} \times 25}{144^{1,85} \times D^{4,87}} \times 1,05$$

$$D = 0,01716 \text{ m}$$

$$17,16 \text{ mm}$$

Diâmetro comercial 20 mm

b) Calcular a perda de carga com o diâmetro encontrado

$$Hf = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \times 5\%$$

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,000248^{1,85} \times 25}{144^{1,85} \times 0,020^{4,87}} \times 1,05$$

$$Hf = 1,1398 \text{ mca}$$

Adiciona-se 5% na perda de carga para as conexões entre o emissor e a tubulação.

$$hfr = Hfx F$$

$$hfr = 1,1398 \times 0,4157$$

$$hfr = 0,4738 \text{ mca}$$

$$PiLD = PiLL + hfr$$

$$PiLD = 10,011 + 0,4738$$

$$PiLD = 10,4848 \text{ mca}$$

10.º Passo: Dimensionamento da Linha Principal LP

A vazão da linha principal é igual à vazão total exigida pela linha de derivação de um setor.

Comprimento da linha principal

$$LLP = 150 - 25$$

$$LLP = 125 \text{ m}$$

Vazão da linha principal

$$QLP = QLD$$

$$QLP = 0,000248 \text{ m}^3/\text{s}$$

Equação da vazão

$$Q = A \times V$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times V$$

$$4Q = \pi D^2 V$$

$$D^2 = \frac{4Q}{\pi V}$$

$$D = \left(\frac{4Q}{\pi V} \right)^{1/2}$$

$$D = \left(\frac{4 \times 0,000248}{\pi 2,1} \right)^{1/2}$$

$$D = 0,0122 \text{ m}$$

12,2 mm

$$V = 2,1 \text{ m/s}$$

Velocidade limite para que não ocorra turbulência.

Calcular a perda de carga com o diâmetro calculado da linha de derivação.

$$Hf = \frac{10,641 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,87}}$$

$$Hf = \frac{10,641 \times 0,000248^{1,85} \times 125}{144^{1,85} \times 0,020^{4,87}}$$

$$Hf_{LP} = 5,4279 \text{ mca}$$

O diâmetro encontrado para a linha principal é menor que o diâmetro da linha de derivação. Para efeitos práticos, isso não é viável, então recomenda-se utilizar o mesmo diâmetro da linha de derivação. Isso ocorre devido o comprimento da linha principal ser menor tornando a perda de carga reduzida.

11.º Passo: Pressão total do sistema

$$PiLP = PiLD + Hf_{LP}$$

$$PiLP = 10,4848 + 5,4279$$

$$PiLP = 15,91 \text{ mca}$$

Perda de carga da sucção

Tabela 15 - Valores de perda de carga pelo método de comprimento equivalente à tubulação retilínea

Peças especiais	Quant.	Diâmetro (m)	Perda de carga tabelado (método do comprimento equivalente)	Comprimento equivalente (LV)
Tubosretos				7,5
Válvula de pé e crivo	1	0,050	250	12,5
Curva de 90°	1	0,050	30	1,5
Redução gradual	1	0,050	6	0,3

Junção	1	0,050	30	1,5
Filtro de tela	1			3,0
Filtro de areia	1			4,0
Injetor de fertilizante	1			1,0
Total				31,3

Fonte: Os autores.

$$H_{mt} = P_{iLP} + \text{peças especiais}$$

$$H_{mt} = 15,91 + 31,3$$

$$H_{mt} = 47,21$$

12.º Passo: Seleção de bombas em catálogos

$$H_{mt} = 47,21 \text{ mca}$$

$$Q = 0,000248 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 0,893 \text{ m}^3/\text{h}$$

Este é o último passo do cálculo do projeto; a partir deste ponto, é listar tubulações e conexões de acordo com o layout.

5 Referências

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO irrigation and drainage paper, 56).

_____. **Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Rome: FAO, 2006. (Estúdio. Riego e drenaje paper, 56).

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2004.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo. In: AGUIAR NETTO, A. O.; BASTOS, E. A. **Princípios agronômicos da irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 69-99.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. (Estudos de irrigação e drenagem, 29).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995.

_____; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BLAINSKI, E. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002.

- BOMAN, B. J. Distribution patterns of microirrigation spinner and spray emitters. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph v. 5, no. 2, p. 50-56. 1989.
- BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination**. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1912. (Series: Bulletin United States. Bureau of Plant Industry, 230).
- CARARO, D. C.; BOTREL, T. A. Uso de cloração e ar comprimido no controle do entupimento de gotejadores. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 336-345, 2007.
- CARRIJO, O. A. et al. Tendências e desafios da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. (Org.) **Fertirrigação: citrus, flores, e hortaliças**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1999. p. 155-169.
- CARVALHO, L. C. C. de; BEZERRA, F. M. L.; CARVALHO, M. A. R. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem sementes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 53-59, 2007.
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part I. Physical and mineralogical methods. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 901-926, (Agronomy monograph, 9).
- CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California Experiment Station, 1942. (Bulletin, 670).
- COLMAN, E. A. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 63, no. 4, p. 277-283, 1947.
- CONCEICÃO, M. A. F. **Irrigação: sistemas e manejo**. 2005. (Embrapa Uva e Vinho. Serviço de Produção de Informação, 8). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasSemSementes/irrigacao.htm>>. Acesso: 18 fev. 2018.
- COSTA, A. C. S. da; NANNI, M. R.; JESKE, E. Determinação da umidade na capacidade de campo e ponto de murchamento permanente por diferentes metodologias. **Revista UNIMAR**, Maringá, v. 19, n. 3, p. 827-844, 1997.
- COSTA, C. S. et al. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 524-530, 2009.
- DAKER, A. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1970. v. 3.
- DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura do pimentão em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 33-41, 2003.
- DAVIS, J. L.; CHUDOBIAK, W. J. **In-situ meter for measuring relative permittivity of soils**. Ottawa: Geology Survey of Canada, 1975. (Paper, 75- 1A).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994.
- _____. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. (FAO irrigation and drainage paper, 33).
- _____; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

EMBRAPA. **Cultivo de tomate para industrialização**. 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/mudas.htm>>. Acesso: 10 fev. 2018.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ/USP. Departamento de Engenharia Rural, 1992. (Série didática, 003).

_____. et al. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.

GARCIA, G. de O. et al. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 7-18, 2008.

GOMES, E. P. et al. Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, Estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 373-385, 2010.

GONÇALVES, F. M. et al. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009.

IBGE-instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola - fevereiro 2017**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>>. Acesso em: 07 mar. 2018.

_____. **Levantamento sistemático da produção agrícola - dezembro 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>>. Acesso: 17 fev. 2018.

JENSEN, M. E. (Ed.). **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 646-650, 2006.

LIMA, P. A. et al. Efeito do manejo da irrigação com água moderadamente salina na produção de pimentão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n. 1, p. 73-80, 2006.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 2008. (Circular técnica, 57).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPH, 1998. (Circular técnica da Embrapa Hortaliças, 11).

_____. **Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2002.

_____.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade de água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 2. ed. rev. atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008.

_____. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa CNPH, 1996.

- MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.
- MENEZES, S. M. de et al. Determinação do coeficiente de cultivo do pepino através de lisimetria de drenagem. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. **nais...** Fortaleza: UFC, 2017. p. 1-9.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Departament. Utah State University, 1978.
- MIRANDA, F. R. de; OLIVEIRA, J. J. G.; SOUZA, F. Evapotranspiração máximas e coeficientes de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. **Revista Ciência Agronômica**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 36-46, 2004.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990.
- _____. **Processos de transferência no sistema solo planta atmosfera**. 4. ed. Campinas: Fund. Cargill, 1985.
- RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. Fitten-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. **Soil Science**, Baltimore, v. 56, no. 5, p. 331-339, 1943.
- RIVERS, E. D.; SHIPP, R. F. Soil water retention as related to particle size in selected sands and loamy sands. **Soil Science**, v.126, p.94-100, 1978.
- SANTANA, M. J. et al. Coeficiente de cultura para o Tomateiro Irrigado. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 11-20, 2011.
- SIMONNE, E. H.; DUKES, M. D.; HAMAN, D. Z. Principies and practices of irrigation management for vegetables. In: OLSON, S. M.; SIMONNE, E. H. (Ed.). **The vegetable production handbook for Florida**. Gainesville: University of Florida: IFAS Extention, 2006. p. 33-39. (AE260 Horticultural Sciences Department).
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, D.C., v. 16, no. 3, p. 574-582, 1980.
- VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soils Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, no. 5, p. 892-898, 1980.