

OLERICULTURA



**QUALIDADE DA ÁGUA,
MÉTODOS E MANEJO
DE IRRIGAÇÃO**

SISTEMA FAEP



SENAR - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares

Rosanne Curi Zarattini
Nelson Costa
Darci Piana
Alexandre Leal dos Santos

Membros Suplentes

Livaldo Gemin
Robson Mafioletti
Ari Faria Bittencourt
Ivone Francisca de Souza

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares

Sebastião Olímpio Santaroza
Paulo José Buso Júnior
Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes

Ana Thereza da Costa Ribeiro
Aristeu Sakamoto
Aparecido Callegari

Superintendente

Pedro Carlos Carmona Gallego

**ROBSON ANDRÉ ARMINDO
KARLLAS STIVAL FREITAS
LUIZ RICARDO SOBENKO
MAÍRA LASKOSKI
TAMARA FERNANDA DE ARAUJO**

**QUALIDADE DA ÁGUA,
MÉTODOS E MANEJO DE IRRIGAÇÃO
PARA OLERICULTURA**



2015

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n. 164, datada de 22 de julho de 1994, e junto a Fundação Biblioteca Nacional e Senar-PR.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a autorização do editor.

Autor: Robson André Armindo, Karllas Stival Freitas, Luiz Ricardo Sobenko, Maíra Laskoski e Tamara Fernanda de Araújo

Revisor: André Luiz Justi

Coordenação técnica: Vanessa Reinhart – CREA PR-122367/D e Luis Guilherme Paraná Barbosa Lemes

Coordenação metodológica: Patrícia Lupion Torres

Normalização: Rita de Cassia Teixeira Gusso – CRB 9./647

Coordenação gráfica: Adilson Kussem

Diagramação: Sincronia Design

Capa: Adilson Kussem

Fotografias: André L.T. Fernandes, Carlos Renato Bucco, Felipe Augusto Piacentin Grabarski, Flávio Daniel Szekut, Luiz Ricardo Sobenko, Marcelo Martins, Robson André Armindo.

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação
e Informação Técnica do SENAR-PR.

Armindo, Robson André et al.

Qualidade da água, métodos e manejo de irrigação para olericultura / Robson André Armindo; Karllas Stival Freitas; Luiz Ricardo Sobenko; Maíra Laskoski [e] Tamara Fernanda de Araújo. – Curitiba : SENAR - Pr., 2015. – 78 p.

ISBN: 978-85-7565-119-3

1. Agricultura. 2. Olericultura. 3. Irrigação. 4. Água. I. Armindo, Robson André. II. Freitas, Karllas Stival. III. Sobenko, Luiz Ricardo. IV. Laskoski, Maíra. V. Araújo, Tamara Fernanda de. VI. Título.

CDU631.4

CDD633

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O Sistema FAEP é composto pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR-PR) e os sindicatos rurais.

O campo de atuação da FAEP é na defesa e representação dos milhares de produtores rurais do Paraná. A entidade busca soluções para as questões relacionadas aos interesses econômicos, sociais e ambientais dos agricultores e pecuaristas paranaenses. Além disso, a FAEP é responsável pela orientação dos sindicatos rurais e representação do setor no âmbito estadual.

O SENAR-PR promove a oferta contínua da qualificação dos produtores rurais nas mais diversas atividades ligadas ao setor rural. Todos os treinamentos de Formação Profissional Rural (FSR) e Promoção Social (PS), nas modalidades presencial e online, são gratuitos e com certificado.



SUMÁRIO

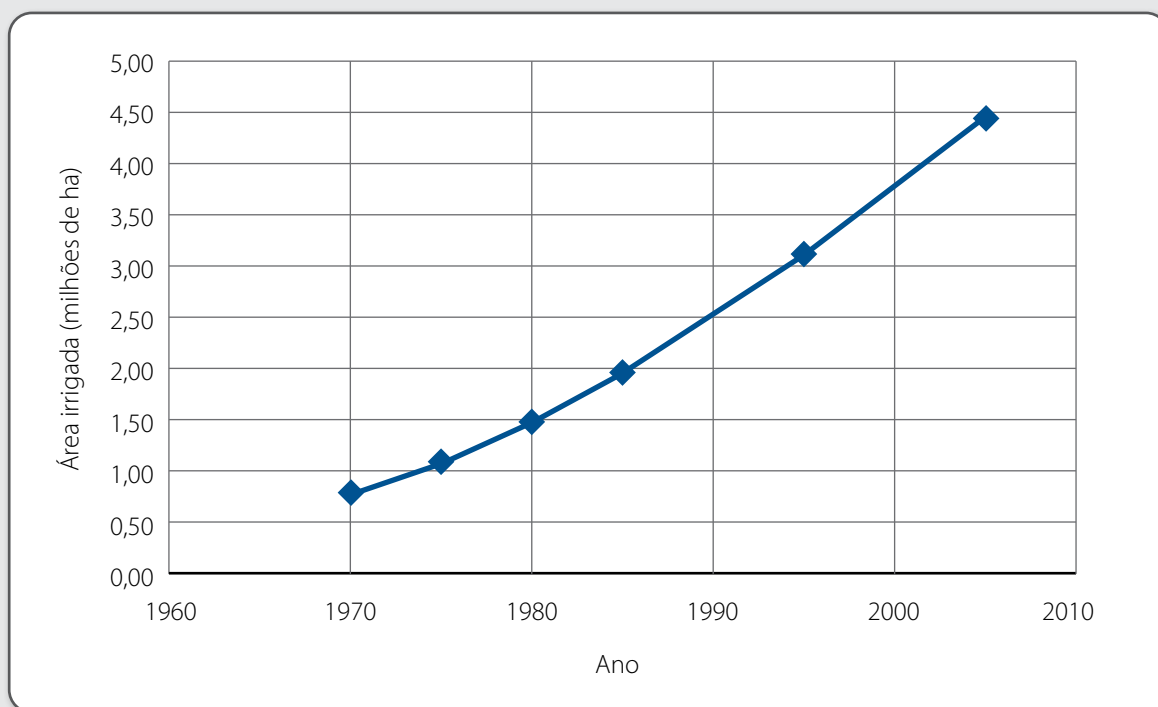
1	INTRODUÇÃO	7
1.1	PARANÁ	9
	REFERÊNCIAS.....	13
2	QUALIDADE DA ÁGUA	15
2.1	ÁGUA NA AGRICULTURA	15
2.2	CARACTERÍSTICA DOS MANANCIAIS	16
2.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS	17
2.3.1	Características físicas	18
2.3.2	Características químicas.....	19
2.3.3	Características biológicas.....	21
2.4	TRATAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	22
2.5	SALINIDADE.....	24
	REFERÊNCIAS.....	25
3	MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	27
3.1	ASPERSÃO.....	27
3.1.1	Aspersão convencional	27
3.1.2	Aspersão mecanizada.....	32
3.2	LOCALIZADA.....	36
3.2.1	Gotejamento.....	38
3.2.2	Microaspersão.....	39
3.3	SUPERFÍCIE	40
3.3.1	Sulcos.....	41
3.3.2	Inundação.....	41
3.4	SUBSUPERFICIAL	42
	REFERÊNCIAS.....	44
4	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	45
4.1	POR QUE REALIZAR O MANEJO DA IRRIGAÇÃO?	45
4.2	COMO CONTROLAR A IRRIGAÇÃO?	45
4.3	MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO	46
4.3.1	Disponibilidade total de água (DTA)	47
4.3.2	Disponibilidade real de água (DRA).....	48
4.3.3	Umidade crítica (θ_c)	48
4.3.4	Tipos de tensiômetros.....	50
4.3.5	Funcionamento dos tensiômetros.....	51
4.4	MONITORAMENTO DO CLIMA.....	55

4.5	ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET _o)	55
4.6	BALANÇO HÍDRICO NO CONTROLE DA IRRIGAÇÃO.....	59
4.7	REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DE TEMPO (TDR)	60
4.7.1	Princípio de funcionamento	60
4.7.2	Vantagens e desvantagens.....	62
4.8	MÉTODO DAS PESAGENS (FRASCO DE PAPADAKIS)	62
REFERÊNCIAS.....		63
5	FERTIRRIGAÇÃO.....	65
5.1	FERTILIZANTES UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO	66
5.1.1	Nitrogenados.....	66
5.1.2	Fosfatados.....	67
5.1.3	Potássicos.....	67
5.1.4	Cálcio, magnésio e enxofre	68
5.1.5	Micronutrientes.....	68
5.2	COMPATIBILIDADE ENTRE OS FERTILIZANTES	69
5.3	CORROSIVIDADE DOS FERTILIZANTES.....	70
5.4	SALINIDADE DOS FERTILIZANTES	70
5.5	ACIDIFICAÇÃO CAUSADA PELOS FERTILIZANTES.....	70
5.6	SOLUBILIDADE DOS FERTILIZANTES	71
5.7	NECESSIDADES DE NUTRIENTES	71
5.8	FREQUÊNCIA DE APLICAÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES.....	71
5.9	PREPARO E APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA	72
5.10	MÉTODOS DE INJEÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	72
5.11	MONITORAMENTO DE FERTIRRIGAÇÃO	76
REFERÊNCIAS.....		77

Com o crescimento populacional em proporção exponencial, cada vez mais são necessárias estratégias que aumentem a produção agrícola, aliadas à utilização de novas áreas. Porém, muito se fala em relação à aptidão ou não das terras à agricultura e também as causas desse empecilho à produção. Uma das alternativas para utilização de áreas que são inaptas em função de indisponibilidade de água, devido à falta de chuvas ou até às características do solo que não permitem o armazenamento da mesma, é o uso da irrigação, com a possibilidade de suprir parcialmente ou até totalmente a necessidade de água, podendo também aumentar a produtividade de áreas já agricultáveis.

Mais da metade da população mundial depende de produtos irrigados. Segundo a *Food and Agriculture Organization of The United Nations* (FAO, 2012), a área total irrigada no mundo é de aproximadamente 250 milhões de hectares. No Brasil, de acordo com o Censo 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), o país possui cerca de 4,45 milhões de hectares irrigados, totalizando 7,4% das áreas com lavouras temporárias e permanentes. Os números seguem aumentando com o decorrer do tempo frente ao aumento da demanda mundial de alimentos. Na Figura 1, apresenta-se a evolução da área irrigada no país entre os anos de 1970 e 2006.

Figura 1 – Evolução da área irrigada no Brasil (hectares), em função do ano.

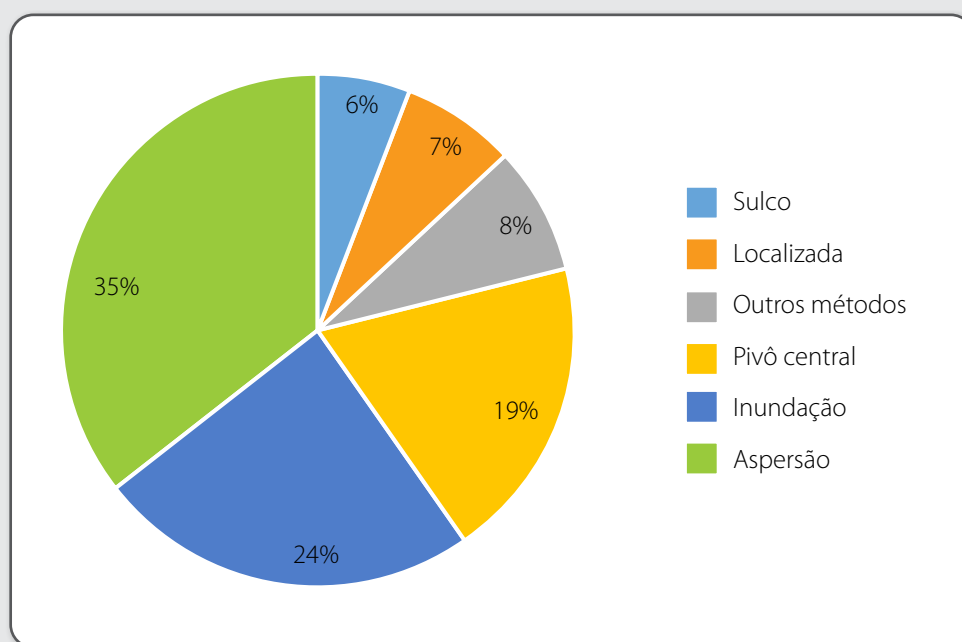


Fonte: IBGE, 2006.

Christofidis (2010) salienta o potencial nacional, em que a área apta à irrigação totaliza mais de 29 milhões de hectares, sendo dois terços desse valor nas regiões Norte e Centro-Oeste.

Entre os diversos métodos de irrigação existentes, os mais comumente encontrados são os de irrigação por pivô central e localizada. Na Figura 2, destacam-se os diferentes tipos de irrigação utilizados no Brasil e suas proporções.

Figura 2 – Perfil do uso da irrigação no Brasil.



Fonte: IBGE, 2006.

Nas Tabelas 1 e 2, apresenta-se a distribuição dos métodos por região do país e por estados da Região Sul, respectivamente.

Tabela 1 – Área irrigada por método em mil hectares, regiões do Brasil.

Região	Aspersão (outros)	Aspersão (pivô central)	Inundação	Sulcos	Localizada	Outros	Total
Centro-Oeste	292,2	201	31,1	32,2	9,4	15,7	581,6
Nordeste	412,3	207,8	69,6	109,7	105,5	94,1	999
Norte	31,4	9,1	34,5	4,1	5,0	25,5	109,6
Sudeste	738,6	413,6	27,8	28,4	193,2	206,1	1607,7
Sul	110,5	61,5	1002	15,3	17,6	30,7	1237,6
Brasil	1584,881	892,887	1165,263	189,72	330,774	372,242	4535,767

Fonte: SIDRA – IBGE, 2006.

Tabela 2 – Área irrigada por método, em mil hectares, nos estados da Região Sul.

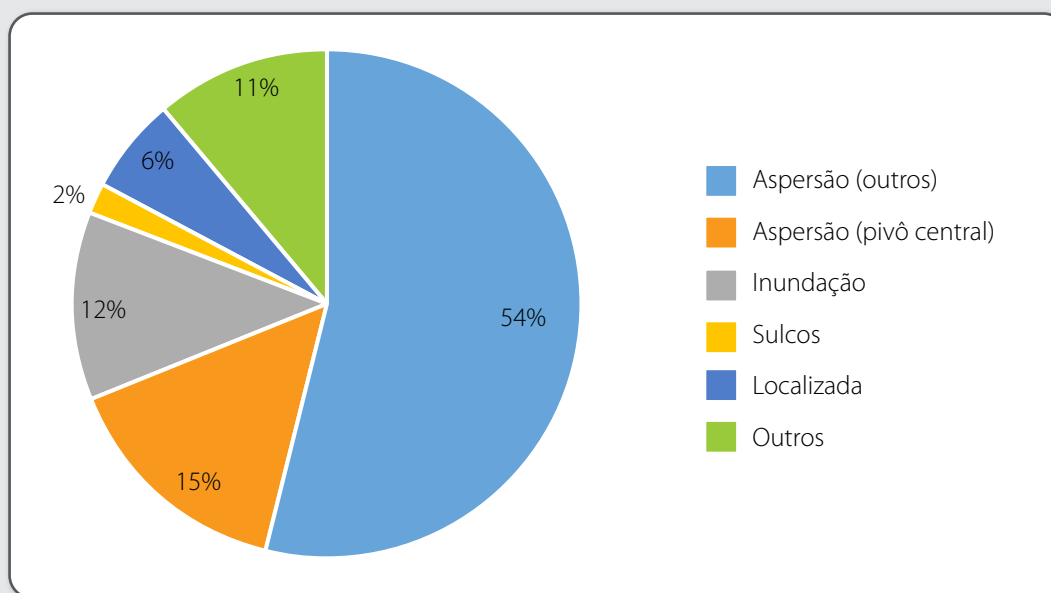
Estado	Aspersão (outros)	Aspersão (pivô central)	Inundação	Sulcos	Localizada	Outros	Total
PR	57,2	15,5	12,1	2,5	6,3	11,8	105,5
RS	34,1	44,9	891,4	1,9	8,9	14,8	996,0
SC	19,2	1,0	98,5	10,9	2,4	4,2	136,2
Total	110,484	61,488	1002,029	15,291	17,654	30,780	1237,726

Fonte: SIDRA – IBGE, 2006.

1.1 PARANÁ

Sabe-se que o estado do Paraná, que possui uma área irrigada de aproximadamente 104 mil hectares, tem um grande potencial de ampliação desse número, podendo alcançar a casa dos 1,3 milhões de hectares, multiplicando assim sua produção em sete vezes (Figura 3).

Figura 3 – Distribuição da irrigação no estado do Paraná.



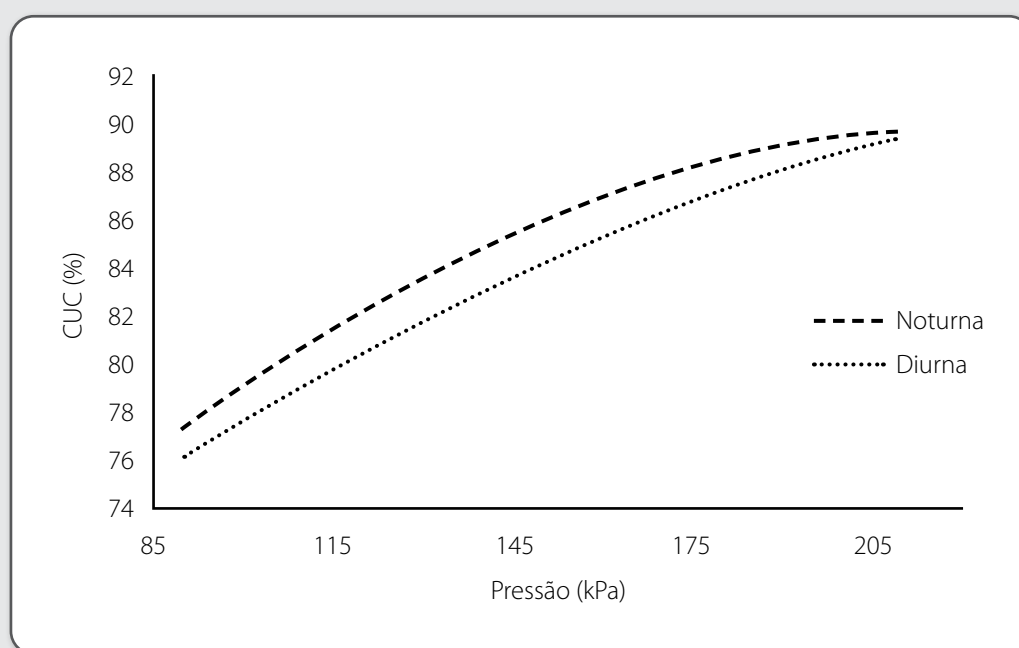
Fonte: IBGE, 2006.

A irrigação no período noturno é uma das alternativas que o produtor tem para diminuir os gastos com energia elétrica e também tentar aumentar a eficiência na aplicação da água. As companhias de energia elétrica oferecem descontos para quem utiliza eletricidade no período noturno, em especial aos agricultores. Como exemplo no estado do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) oferece descontos que variam de 60 a 70% no preço da energia utilizada entre 21h30min e 6h (PARANÁ, 2013). Além disso, há aumento da uniformidade de aplicação, uma vez que a velocidade dos ventos no período noturno é menor, diminuindo as perdas por deriva e também por evaporação, em função de a temperatura ser mais amena.

Além dessas vantagens, no Paraná, tem-se o Programa de Irrigação Noturna (PIN). Nesse programa, o governo e os demais órgãos envolvidos oferecem financiamentos para que o produtor possa adquirir sistemas de irrigação, bem como orientação técnica e descontos na conta de luz, pelo funcionamento dos sistemas no período noturno. Para que possa usufruir dessas vantagens, o interessado deve procurar o escritório da EMATER mais próximo. O Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural do Paraná disponibiliza assessoria na elaboração do projeto de irrigação gratuitamente, realiza vistoria na área e, durante todo o processo, auxilia e orienta o produtor desde os procedimentos para outorga do uso da água, concessão do direito de uso da água, até o licenciamento ambiental da atividade (EMATER, 2014). Os agricultores que já possuam seus sistemas de irrigação e desejam o desconto, ou mesmo os que irão adquiri-lo de forma diferente, devem procurar diretamente um posto de atendimento da COPEL e apresentar os documentos pessoais, da atividade (outorga ou declaração de uso independente da água, licenciamento ambiental), assinar o termo de compromisso ou termo aditivo – dependendo da tensão utilizada – e realizar o pagamento do medidor especial (COPEL, 2014). Sendo o desconto exclusivo para atividade rural de irrigação e aquicultura, os interessados devem atender a alguns requisitos, como: estar classificados como pertencentes à classe rural na COPEL; nesse caso, possuir as instalações necessárias a um sistema de medição exclusivo para a irrigação (bombeamento para captação e adução, iluminação desses locais, etc.); e não ter débitos vencidos (COPEL, 2014).

Em um estudo realizado por Alencar et al., (2007), mediu-se a precipitação de um sistema de microaspersão nos diferentes períodos do dia, para cálculo e análise de uniformidade de aplicação e de custos da utilização do sistema durante o dia e a noite. Com a Figura 4, percebe-se que houve diferença nos valores de Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) em função das pressões nos períodos do dia.

Figura 4 – Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) em função da pressão em diferentes períodos do dia.



Fonte: Alencar et al., 2007.

Percebe-se que, durante a irrigação noturna, obteve-se em menores pressões a mesma uniformidade comparada à irrigação diurna. Isso se deve a pequena velocidade do vento, mensurada durante o experimento e apresentada na Tabela 3. Em geral, recomenda-se a prática da irrigação por aspersão com ventos menores que 4 km.h^{-1} . Resultados que mostram a vantagem da irrigação noturna, nesse caso e condições, em termos de economia de energia elétrica.

Tabela 3 – Velocidade do vento (m/s) em função da pressão em diferentes períodos do dia.

Pressão (kPa)	Velocidade do vento (m/s)	
	Noturno	Diurno
93,1	0,00 +/- 0,00	0,55 +/- 0,54
139,6	0,04 +/- 0,13	0,54 +/- 0,45
186,1	0,00 +/- 0,00	0,72 +/- 0,43
232,7	0,00 +/- 0,00	0,44 +/- 0,53

Fonte: Alencar et al., 2007.

Deve-se atentar ao horário mais adequado de irrigação, levando-se também em consideração o tempo de molhamento foliar, já que um período maior de folha úmida poderá afetar o aparecimento de doenças de forma negativa. A umidade é um fator determinante na incidência de grande parte das doenças fúngicas em olerícolas.

Para a implementação de um sistema de irrigação em áreas com deficiência hídrica, deve-se analisar, além da vazão disponível outorgável, diversos outros fatores, para que se realize a melhor tomada de decisão sobre qual método de irrigação utilizar, já que não há método mais correto, e sim aquele que melhor se adapta às várias condições locais existentes.

A escolha dos métodos tem que ser baseada em diversos fatores previamente analisados, como características de solo, topografia, cultura a ser irrigada, disponibilidade de mão de obra, de capital, entre outros.

Depois de escolhido o método, atenta-se ao seu correto dimensionamento e manejo, uma vez que a maioria das propriedades utiliza a irrigação na prática de maneira incorreta, desperdiçando água e energia, além de não atingir a produtividade máxima potencial da área.

Com todas essas variáveis dimensionadas de forma correta, constata-se a eficiência da irrigação e as produtividades alcançadas.

Em muitos dos lugares onde se implementa a irrigação de forma correta, obtém-se de um incremento real na produtividade, que usualmente é mais que suficiente para cobrir os custos da utilização do sistema.

De acordo com Christofidis (2010), da superfície total plantada, a porção irrigada correspondente a 18% do total, responsável por 44% do total colhido, enquanto as áreas de sequeiro (sem irrigação) com 1,2 bilhões de hectares contribuem com 56% da produção total. Isso mostra o potencial que pode ser alcançado com a utilização da irrigação.

Na Tabela 4, evidencia-se a vantagem econômica da utilização da irrigação.

Tabela 4 – Incremento de produtividade por meio do sistema de irrigação por pivô central e outros métodos.

Cultura	Sequeiro	Irrigado	Incremento
kg.ha⁻¹			
Algodão	848	2 700	218%
Arroz	1 739	3 750	116%
Feijão	388	2 300	493%
Milho	1 985	5 500	177%
Soja	1 844	3 000	63%
Trigo	1 668	3 400	104%
Tomate	25 000	60 000	140%
ton.ha⁻¹			
Uva	13	40	208%
Tomate	25	60	140%
Melão	14	30	114%
Banana	25	100	300%
Morango	20	50	150%
Abacate	10	31	210%
Maracujá	10	40	300%
Café	0,6	1,8	200%
Palmito de pupunha	0,7	2,6	271%
caixa.pé⁻¹			
Laranja	2,5	9	260%
Limão	1,5	3,5	133%
kg.pé⁻¹			
Manga	90	470	422%
Goiaba	58	120	107%

Fonte: Mendes, 2013.

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2012), o crescimento da área irrigada, de 1995 até 2030, poderá ser responsável pelo incremento em até 55% da produção de alimentos e 40% da área agrícola mundial. Estima-se também que, em 2030, metade da área de plantio de alimentos será irrigada e dois terços das áreas de grãos também.

REFERÊNCIAS

Alencar, C. A. B. et.al. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, 109-118, abr./jun., 2007.

CHRISTOFIDIS, D. Desafios e oportunidades para o desenvolvimento da agricultura irrigada. In: Seminário "O estado da Arte da Agricultura Irrigada no Brasil, Desafios e oportunidades". dez. 2010, Frutal, MG, **Anais**. Frutal, s. ed. dez. 2010.

COPEL. **Desconto ao irrigante e ao aquicultor**. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ffrutal%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F31B5D72B1D84BBAF03257D3100615D91>>. Acesso em: ago. 2014.

EMATER. **Projeto irrigação – resumo executivo**. Disponível em: <<http://www.emater.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=121>>. Acesso em: ago. 2014.

FAO. **Statistical yearbook, world food and agriculture**, 2012. Parte 1. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e01a.pdf>>. Acesso em: out. 2013.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2013.

MENDES, A. A. T. **Irrigação: tecnologia e produtividade**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/alfredo.htm>>. Acesso em: out. 2013.

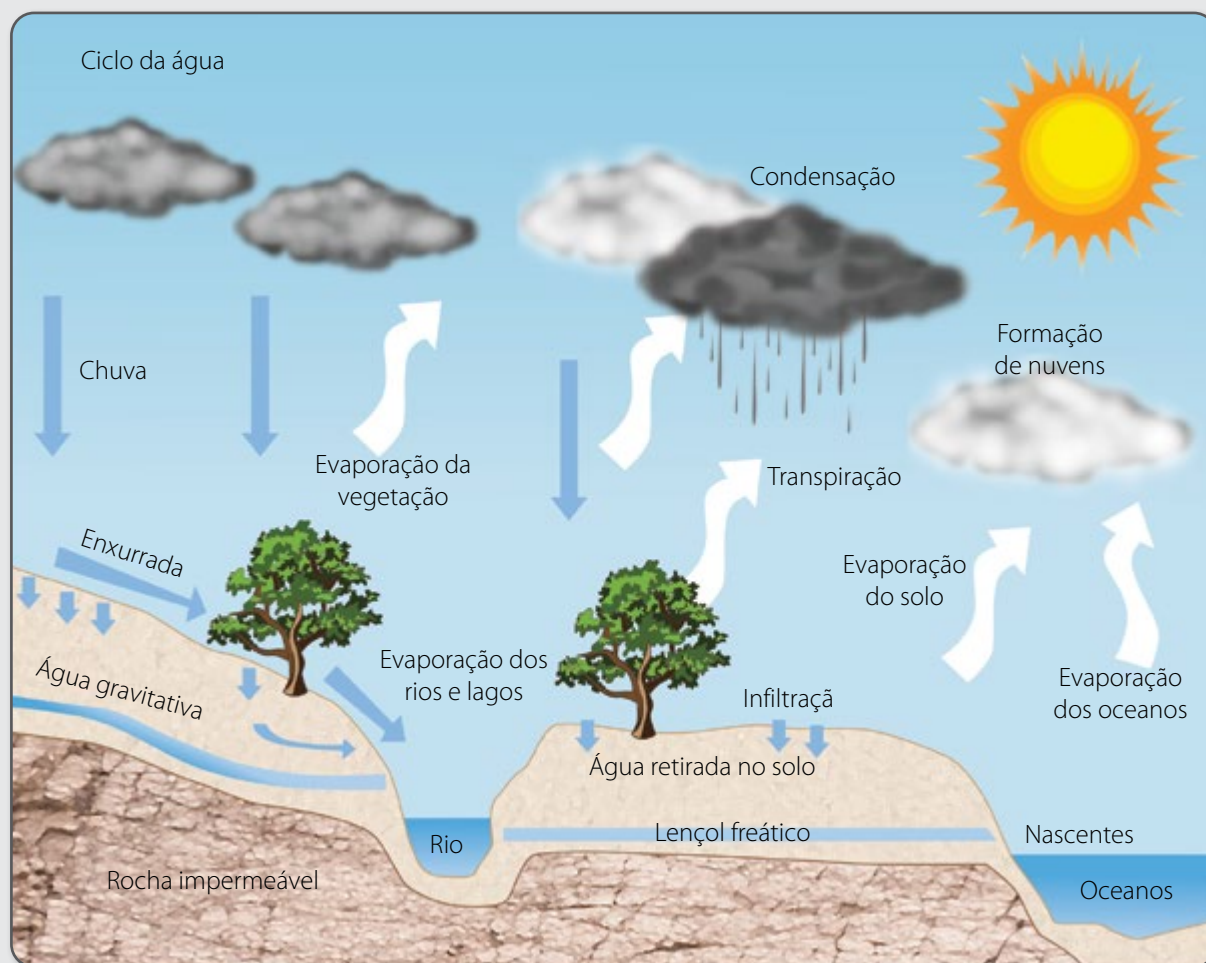
PARANÁ. Secretariada agricultura e abastecimento. **Programa de Irrigação Noturna – PIN**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=66>>. Acesso em: 19 jan. 2013.

SIDRA. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>>. Acesso em: out. 2013.

2.1 ÁGUA NA AGRICULTURA

Todos os dias, o solo e as plantas perdem água por evapotranspiração, processo que consiste na transpiração pelas folhas e evaporação da água do solo. Todo esse fenômeno faz com que a cultura exija uma reposição da quantidade de água perdida, e essa reposição pode ser feita por irrigação estudando-se o ciclo hidrológico local (Figura 5).

Figura 5 – Imagem do ciclo hidrológico.



Fonte: adaptado de Só Biologia, [200_a].

A irrigação deve ser feita de maneira adequada, utilizando-se o manejo mais eficiente, não desperdiçando água e atendendo às necessidades da cultura. O manejo inadequado da irrigação pode levar ao consumo excessivo de água, motivo que torna a agricultura a maior consumidora de água do mundo.

A água é um recurso natural renovável de grande importância, sendo a maior parte do planeta composta por ela, mas apenas uma pequena parcela corresponde à água doce, destinada ao consumo. Segundo a literatura, da água doce disponível, 70% são destinados à agricultura, principalmente à irrigação, e os outros 30%, destinados às indústrias e consumo domiciliar.

O excesso ou a falta de água no solo predispõe as plantas ao ataque de patógenos, bem como o manejo inadequado da irrigação pode reduzir a aeração do solo e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento das raízes.

Juntamente com essa informação, é importante ressaltar a qualidade da água. Cada vez mais, pesquisadores e especialistas desenvolvem técnicas para melhorar a sua qualidade e criam métodos adequados de captação, padronizando valores adequados de sedimentos, elementos químicos e suas características físicas. Para que a qualidade da água seja garantida, é necessário verificar sua procedência, ou seja, é necessário conhecer os rios, lagos e poços que fornecerão água para a irrigação.

O principal fator que compromete a quantidade e a qualidade da água é a poluição. Essa pode ser causada por vários motivos, como aplicação de fertilizantes e pesticidas, lançamento de esgotos industriais e rurais nos mananciais, entre outros. Com isso, a utilização de água de qualidade é de extrema importância para a agricultura, uma vez que as culturas alimentícias exigem uma qualidade de água superior, pois qualquer agente fora do padrão pode ser transmitido à cultura, podendo gerar problemas futuros.

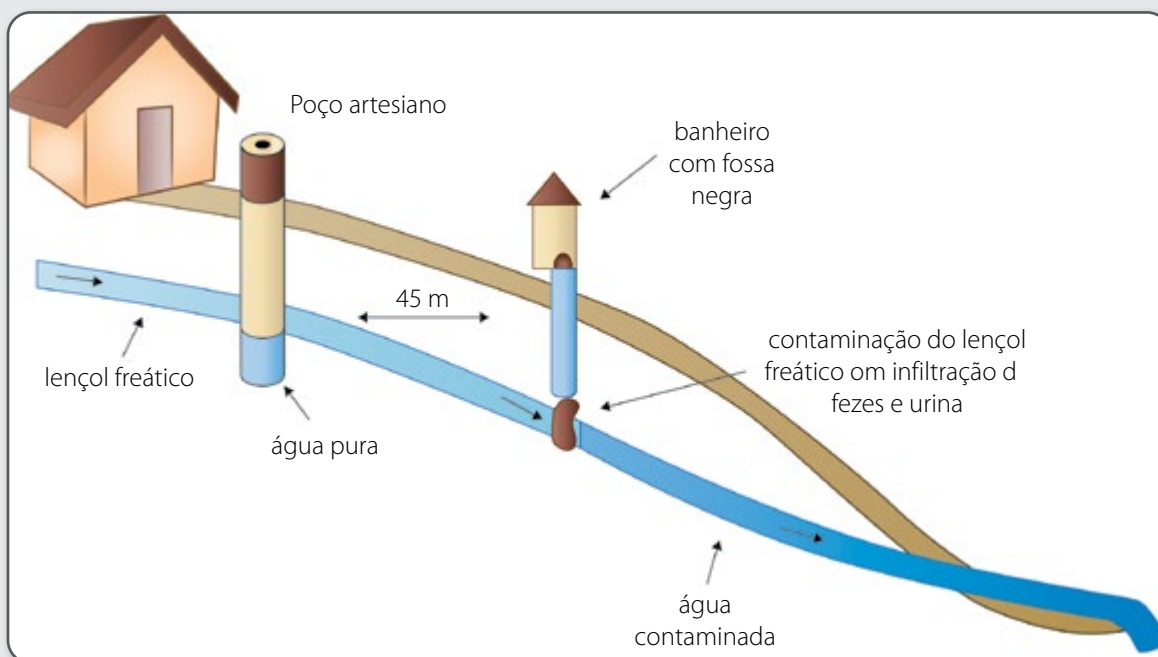
A qualidade da água está fortemente relacionada com os problemas dos equipamentos de irrigação. Água de qualidade ruim pode causar entupimento de gotejadores e aspersores, bem como corroer e depositar substâncias em tubos de abastecimento. Entre os métodos de irrigação, a localizada é a maior prejudicada.

2.2 CARACTERÍSTICA DOS MANANCIAIS

Segundo Paterniani e Pinto (2001), os rios, poços e lagos são as principais fontes de água para a irrigação, sendo que cada um deles possui diferentes características quantitativas e qualitativas.

Poços: são importantes fontes de água e, frequentemente, apresentam pequenas quantidades de microrganismos. Têm como principal desvantagem problemas causados por bactérias. A Figura 6 mostra um exemplo de ligação de um poço artesiano conectado ao lençol freático.

Figura 6 – Esquema de um poço artesiano.



Fonte: adaptado de Só Biologia, [200_b].

Rios: possuem uma pequena quantidade de elementos químicos, microrganismos e outras substâncias quando comparados aos lagos. Sofrem grandes influências do meio, apresentando diferenças em suas características qualitativas e quantitativas. Eles podem ser classificados como perenes (nunca secam) ou temporários (secam em determinada época do ano).

Cada rio tem suas características específicas para irrigação, como, por exemplo: fonte, velocidade de escoamento, tamanho e declividade. Todas elas estão relacionadas e influenciam os fatores qualitativos da água.

Lagos: apresentam boa estabilidade nas suas características físicas, além de uma maior superfície de evaporação. Podem ser classificados segundo a temperatura de suas águas: lagos tropicais, lagos subtropicais e lagos temperados.

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Antigamente, acreditava-se que água boa para irrigação era aquela que não prejudicava o crescimento da planta, ou seja, aquela que continha uma pequena quantidade de elementos tóxicos para a cultivar, mas na verdade, água de qualidade tem um significado mais amplo. Água de qualidade é aquela que possui baixas propriedades corrosivas (água corrosiva pode danificar tubulações, aspersores e motores da bomba), baixo nível de entupimento de emissores e bons aspectos sanitários (ausência de patógenos e parasitas que podem contaminar agricultores e produtos agrícolas).

Ademais, Paterniani e Pinto (2001) citam que a quantidade de sais solúveis, de sódio, de elementos químicos tóxicos e de carbonatos e bicarbonatos em relação à quantidade de cálcio e magnésio apresenta-se como característica básica da qualidade da água para irrigação.

Para determinar se essas substâncias estão presentes ou não na água, deve-se coletar amostras das mesmas e mandá-las para a análise. É importante que a amostra coletada seja representativa, ou seja, que as amostras contenham todas as características presentes na água.

Paterniani e Pinto (2001) afirmam que o método de análise varia com a finalidade de estudo, podendo haver procedimentos e recomendações específicas para cada caso. Os procedimentos de amostragem se diferem para cada fonte de água, sendo recomendados métodos para poços profundos, pequenos e grandes reservatórios, bem como rios e córregos.

- a) Poços profundos: a água pode ser coletada próximo à superfície ou em profundidade, sendo que a coleta deve ser realizada após o acionamento da bomba.
- b) Pequenos reservatórios: a água pode ser coletada na saída do reservatório.
- c) Grandes reservatórios: a amostragem deve ser feita coletando-se água de várias profundidades e em diversos locais do reservatório.
- d) Rios e córregos: a amostragem pode ser feita mensalmente ou semanalmente, devendo-se coletar a água em movimento (PATERNIANI; PINTO, 2001).

2.3.1 Características físicas

As características físicas da água são de extrema importância para a irrigação, assim como relata Teixeira (2006). Entre elas, pode-se destacar:

Temperatura: é uma importante propriedade física da água. Ela influencia o desenvolvimento de organismos e pode modificar as características químicas da água (pH e concentrações de oxigênio e gás carbônico).

Turbidez: dificulta a entrada de luz nos rios e lagos, e é causada pela presença de matéria orgânica e inorgânica na superfície das águas. Paterniani e Pinto (2001) comentam que a turbidez é uma propriedade importante na irrigação localizada, pois a água com sedimentos pode causar entupimento de emissores e, conseqüentemente, provocar alterações em sua vazão. Na Figura 7, apresenta-se uma imagem da análise da turbidez da água, que pode ser reduzida por meio do processo de filtração.

Figura 7 – Análises da turbidez da água.



Fonte: Marcelo Martins, [200_].

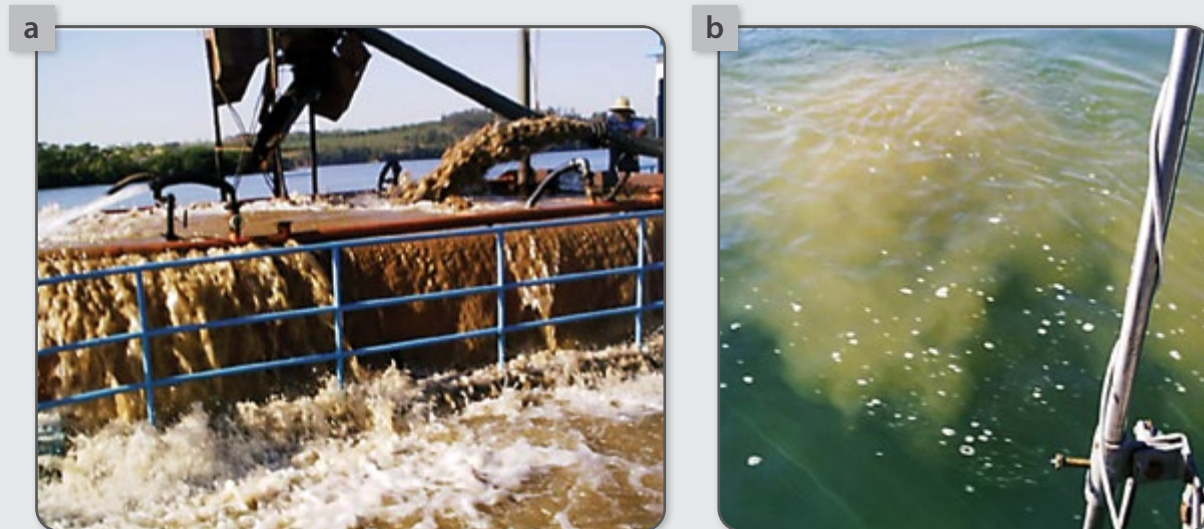
Uma forma usual e barata de medir a turbidez da água é por meio do disco de Secchi. Esse disco tem aproximadamente 20 cm de diâmetro, sendo preso por uma corda graduada com coloração branca ou branca e preta. Para determinar a turbidez, o disco é afundado na fonte de água até que o mesmo desapareça, devendo-se anotar a profundidade de desaparecimento. Feito isso, deve-se afundar mais um pouco o disco e, posteriormente, deve-se trazer o disco até sua completa visualização, anotando a segunda profundidade. O valor da turbidez é o resultado da média dos valores das duas profundidades.

Cor: a cor da água pode ser modificada devido à presença de matéria orgânica ou inorgânica dissolvida ou com a presença de material em suspensão. Paterniani e Pinto (2001) classificam a cor da água como verdadeira ou aparente, sendo que a primeira se refere à cor resultante da presença de matéria dissolvida, já a aparente se refere à presença de materiais em suspensão.

Materiais sólidos: são partículas que podem estar dissolvidas ou visíveis na água. Essas partículas podem ser filtráveis ou não, e isso depende do seu tamanho (Figura 8). Esses materiais sólidos podem ser sais minerais, como cloretos e sulfatos.

Quando presentes em grande quantidade, podem tornar a água imprópria para o consumo, podem corroer tubulações e causar problemas à irrigação localizada.

Figura 8 – Imagem de água com sólidos em suspensão. Trabalho de dragagem do material inconsolidado (a). Formação da pluma de turbidez (b).



Fonte: Santos; Stevaux, 2010.

2.3.2 Características químicas

pH: é uma medida que está relacionada com a quantidade de substâncias químicas presentes na água. O pH pode apresentar valores que variam entre 0 e 14, podendo ser ácido, básico ou neutro. Quando o pH estiver inferior a 7, significa que a água está corrosiva, e pode prejudicar as instalações e equipamentos.

Porém quando o pH estiver acima de 7, a água pode estar incrustante, ou seja, pode causar obstruções e entupimentos nos gotejadores e aspersores (Figura 9).

Figura 9 – Imagem de emissores (gotejadores) de irrigação localizada entupidos.



Fonte: Vieira et al., 2004.

Segundo Paterniani e Pinto (2001), mudanças no pH também podem causar a solidificação de alguns elementos que anteriormente estavam dissolvidos. Devido a todos esses fatores, é importante manter a água destinada à irrigação com valores de pH que variem entre 6,5 e 8,4. Quando os valores estiverem fora desse intervalo, certamente ocorrerão problemas nas tubulações e equipamentos, evidenciando que a água apresenta problemas de qualidade. Um pH fora desse intervalo também pode ser um indicador de poluição.

O pH pode ser determinado por meio do medidor de pH, que quando calibrado corretamente apresenta valores com maior exatidão. Outra forma muito comum, mais barata e com menor exatidão de determinar o pH é utilizando o papel de tornassol.

Condutividade elétrica e sais solúveis: quanto maior a quantidade de sais presentes na água, maior será a capacidade da água em conduzir corrente elétrica. A presença de sais solúveis na água pode levar o solo a condições de salinização, prejudicando o crescimento das plantas, devendo-se assim evitar águas com altas concentrações de sais e alta condutividade elétrica.

Tabela 5 – Limites permissíveis para classes de água para irrigação (CE: corrente elétrica).

Sólidos totais solúveis		Sódio	Cloretos	Sulfatos	Classes de água
CE (microhm/cm)	ppm	(%)	(meq/L)	(meq/L)	
< 250	< 175	< 20	< 4	< 4	Excelente
250 – 750	175 – 525	20 – 40	4 – 7	4 – 7	Boa
750 – 2000	525 – 1400	40 – 60	7 – 12	7 – 12	Permissível
2000 – 3000	1400 – 2100	60 – 80	12 – 20	12 – 20	Duvidosa
> 3000	> 2100	> 80	> 20	> 20	Imprópria

Fonte: Adaptado de Scofield, 1936.

Elementos e compostos presentes na água: os elementos cálcio, magnésio, sódio, potássio e os compostos carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos e fluoretos são os principais cátions e ânions presentes na água. Outros elementos como ferro, manganês, nitrogênio, fósforo, oxigênio, cloro e boro também estão presentes na água.

Dureza: segundo Paterniani e Pinto (2001), a dureza é causada pela concentração de cálcio e magnésio, que podem reagir com outros elementos e se tornarem insolúveis. A dureza pode ser prejudicial à irrigação, pois as substâncias insolúveis podem ficar incrustadas nas tubulações. Na Tabela 6, apresenta-se a classificação de dureza da água:

Tabela 6 – Classificação da dureza da água.

Classificação	mg/L de CaCO ₃
Água mole	< 50
Dureza moderada	Entre 50 e 150
Água dura	Entre 150 e 300
Água muito dura	> 300

Fonte: Paterniani e Pinto, 2001.

Compostos inorgânicos: são partículas minerais presentes na água, normalmente metais pesados, como, por exemplo, arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata.

Compostos orgânicos: são compostos que podem ser tóxicos para as plantas em elevadas quantidades. Paterniani e Pinto (2001) citam que eles são derivados dos resíduos industriais e também podem ser causados pelo uso excessivo de defensivos agrícolas.

Os compostos orgânicos e inorgânicos podem causar entupimentos em emissores e gotejadores.

2.3.3 Características biológicas

As características biológicas, segundo Paterniani e Pinto (2001), estão relacionadas com presença de microrganismos na água, sendo que esses microrganismos podem ser patogênicos ou não.

Os coliformes fecais são provenientes das fezes humanas. São grandes indicadores de poluição da água e, conseqüentemente, da presença de microrganismos patogênicos que podem

causar doenças. A presença de coliformes fecais é um parâmetro muito importante para a água de irrigação, principalmente em hortaliças, pois esses microrganismos podem sobreviver nas frutas e verduras, causando doenças nas pessoas que as consumirem. A água com coliformes pode ser tratada pelo processo de filtração e com cloro.

Outra forma importante de microrganismos na água são as algas, que são responsáveis pela produção de oxigênio da água. Apesar de serem muito importantes para a vida aquática, elas também podem gerar problemas, como, por exemplo, a eutrofização. A eutrofização é causada pelo excesso de algas na água, devido a intensa adubação de certas áreas. Para a irrigação, o processo de eutrofização da água é um problema preocupante, pois pode causar entupimento de microaspersores e gotejadores. Ademais, ele pode causar outros problemas, que se apresentam como indicadores, por exemplo: sabor, odor, toxidez, turbidez da água e cor.

2.4 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Devido a todas as características químicas, físicas e biológicas da água, torna-se necessário, na maioria das vezes, o tratamento da água. O tratamento deve ser feito para tornar a água da irrigação de qualidade, e pode ser feito por vários métodos físicos e químicos.

Entre os tratamentos físicos, destacam-se os processos de aeração e filtração. Segundo Paterniani e Pinto (2001), o processo de aeração consiste em incorporar substâncias solúveis do ar na água e transferir substâncias da água para o ar. Ela deve ser feita quando se deseja eliminar grandes quantidades de gás carbônico para a atmosfera, ácido sulfídrico, ferro dissolvido e outras substâncias.

O processo de filtração consiste na retirada de partículas sólidas da água. Cada filtro pode ter uma eficiência e uma finalidade específica, sendo os mais comuns os filtros de areia, de tela e de disco.

Filtro de areia: é a maneira mais comum de se retirarem substâncias sólidas da água. Ele é constituído por várias camadas filtrantes, com diferentes tamanhos de partículas (Figura 10).

Figura 10 – Imagem de um sistema de filtragem de areia.



Fonte: Hidro Solo, [200_].

Filtro de tela: o principal objetivo desse filtro é reter substâncias sólidas inorgânicas que estavam em suspensão na água. Esse filtro é geralmente cilíndrico e no seu interior está contido o elemento filtrante (PATERNIANI; PINTO, 2001).

Filtro de disco: assim como o filtro de tela, o filtro de disco também tem formato cilíndrico e a água é filtrada ao passar por um conjunto de anéis que possuem ranhuras.

Outra maneira de tratar a água para a irrigação é a utilização do hidrociclone. Ele é um equipamento usado para separar as partículas sólidas da água por meio da força centrípeta, que descola as partículas sólidas maiores e mais pesadas para a parede do equipamento e essas saem pela parte inferior do equipamento. As partículas menores e mais leves ficam no centro e saem pela parte superior do equipamento.

Já os tratamentos químicos são realizados juntamente com os tratamentos físicos. É um processo que deve ser realizado com muito cuidado e precauções apropriadas. O tratamento químico mais utilizado é a cloração. Bucks et al. (1979) relacionaram os principais elementos responsáveis pelas obstruções na irrigação localizada (Tabela 7).

Tabela 7 – Elementos responsáveis pelas obstruções na irrigação localizada.

Físicos	Químicos	Biológicos
(sólidos em suspensão)	(precipitados)	(bactérias e algas)
1. Areia	1. Carbonatos de Ca e Mg	1. Filamentos
2. Limo	2. Sulfato de Ca	2. Lodo
3. Argila	3. Metais pesados: óxidos, hidróxidos, carbonatados, silicatos e sulfetos	3. Depósitos microbianos com fosfatos, enxofre e manganês
4. Matéria orgânica	4. Fertilizantes: amônia líquida, Fe, Cu, Zn, e Mn.	4. Bactérias
		5. Organismos aquáticos ovos de caracóis, larvas

Fonte: Bucks et al., 1979.

Pode-se avaliar por meio da Tabela 8 a influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução de emissores em sistemas de irrigação localizada.

Tabela 8 – Problemas de obstrução de emissores.

Problemas	Tipos	Unidades	Grau de restrição		
			Baixa	Moderada	Severa
Físicos	Sólidos em suspensão	mg/L	< 50	50 – 100	> 100
Químicos	pH		< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
	Sólidos solúveis	mg/L	< 500	500 – 2000	> 2000
	Manganês	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ferro	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
	Ácido sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológicos	Populações microbianas	Número máximo de unidades formadoras de colônia	< 10.000	10.000 a 50.000	>50.000

Fonte: Nakayama, 1982.

2.5 SALINIDADE

A salinidade é um fator muito preocupante para a irrigação, uma vez que o crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser prejudicados. Ela ocorre em locais em que há baixa ocorrência de chuvas e um nível muito alto de evapotranspiração. Esses dois fatores fazem com que o solo fique salino e, quando em contato com a água de irrigação, podem causar o acúmulo de sais solúveis, prejudicando a uniformidade das plantas e o solo.

A principal forma de minimizar o risco de salinidade ou até mesmo eliminá-lo é utilizar água de boa qualidade, um bom manejo do solo e também da cultura. Em condições de solo salino, devem-se selecionar culturas que possam produzir de maneira satisfatória sob tais condições. Segundo Bernardo et al. (2006), pode-se também utilizar práticas de manejo de solo com a finalidade de reduzir os problemas. Dessa forma, sugere-se aplicar uma quantidade de água adicional (lâmina de lixiviação) para realizar a lixiviação desses sais. Outra forma de amenizar seus efeitos é por meio da realização de um adequado manejo de irrigação, ajustando a frequência e a lâmina de aplicação.

REFERÊNCIAS

- BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625 p.
- BUCKS, D. A. et al. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 2, p. 149-162, 1979.
- HIDRO SOLO. **Sistemas de filtragem em areia**. [200_]. Disponível em: <http://www.pluvitec.com.br/?pg=irrigacao_sistema_filtragem_areia>. Acesso em: 29 out. 2013.
- MARQUES, P. A. A. et al. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n. 1, p. 17-31, 2006.
- NAKAYAMA, F. S. Water analysis and treatment techniques for control emitter plugging. In: Proc. Irrigation Association Conference, 1982, Portland, Oregon. **Anais...** Portland, Oregon, 1982.
- PATERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M.(Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p.195-253. (Série Engenharia Agrícola 1).
- POMPÊO, M. L. M. **O disco de Secchi**. Bioikos, Campinas, v. 13, n. 1/2, p. 40-45, 1999.
- SANTOS, D. N.; STEVAUX, J. C. Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no alto curso do Rio Paraná na região de Porto Rico, PR. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 603-612, 2010.
- SCOFIELD, C. S. The salinity of irrigation water. **Smithsonian Institution Annual Report**, Washington, DC, v. 1935, p. 275-287, 1936.
- SÓ BIOLOGIA. **Ciclo da água**. [200_a]. Disponível em: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/bio_ecologia/ecologia27.php>. Acesso em: 18 out. 2013.
- SÓ BIOLOGIA. **Quando não há estação de tratamento**. [200_b]. Disponível em: <<http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/Agua8.php>>. Acesso em: out. 2013.
- TEIXEIRA, M.B. **Efeito de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. 308f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.
- VIEIRA, G. H. S. et al. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. [online]. v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100001>>. Acesso em: 29 out. 2013.

3.1 ASPERSÃO

É um dos métodos de irrigação mais utilizados e consiste na realização de uma chuva artificial sobre a cultura por meio de **aspersores**, por onde a água, ao passar sob pressão, adquire grande velocidade (FRIZZONE et al., 2011).

Vantagens: dispensa o preparo do solo; apresenta economia de mão de obra e facilidade na operação e no manejo; pode ser utilizada para proteção da cultura contra altas temperaturas; permite a realização da fertirrigação mineral ou orgânica e pode ser utilizada como defesa contra geadas.

Desvantagens: apresenta custo de implantação elevado para alguns sistemas; a distribuição da água é afetada pelo vento; promove o favorecimento de algumas doenças na cultura e torna-se imprópria para o uso com água salina.

Segundo Olitta (1977), os sistemas de aspersão são classificados em dois grupos principais: convencional e mecanizada. Cada um pode ser subdividido em diferentes tipos, que serão apresentados a seguir.

3.1.1 Aspersão convencional

Pereira (2003) comenta que esse sistema é fabricado por muitas empresas e é constituído por:

- **Aspersores:** são as principais peças do sistema, com a finalidade de distribuir a água sobre o terreno na forma de chuva (Figura 11). Podem ser classificados de várias formas: quanto ao sistema de funcionamento, ao número de bocais, à pressão de serviço, ao alcance do jato, ao tamanho do aspersor e ao ângulo de ação. Os mais utilizados trabalham numa pressão de 200 a 400 kPa, a uma vazão entre 0,5 e 8 m³.h⁻¹, com um raio de alcance do jato entre 10 e 20 m e de um ou dois bocais de diâmetro variável de 2 a 30 mm.

Figura 11 – Exemplos de aspersores utilizados no sistema de irrigação por aspersão convencional.



Fonte: Sobenko, 2013.

- **Tubulações:** têm a finalidade de conduzir pressurizadamente a vazão necessária desde a motobomba até os aspersores. Podem ser classificadas em linhas: principal, secundárias e laterais.
- **Conjunto motobomba:** podem ser elétricos (Figura 12) ou a *diesel* (Figura 13), com a finalidade de captar a água da fonte de suprimento e enviá-la, sob pressão, por meio da rede de irrigação;

Figura 12 – Exemplo de um conjunto motobomba elétrico.



Fonte: Bucco, 2011.

Figura 13 – Exemplo de um conjunto motobomba a *diesel*.



Fonte: Sobenko, 2013.

- **Acessórios:** possibilitam a adaptação do sistema às situações de campo, como a topografia, forma da área e distribuição das tubulações. Também permitem as conexões entre as tubulações, direcionamento do escoamento, estabilidade das tubulações e dos aspersores e controle da vazão e pressão (Figura 14).

Figura 14 – Exemplos de peças e acessórios utilizados na montagem de tubulações.



Fonte: Bucco, 2011.

Fatores que afetam a distribuição da água pelo aspersor: velocidade do vento; diâmetro do bocal; pressão de serviço; vibração; velocidade de rotação e altura de instalação, entre outros (FRIZZONE et al., 2011).

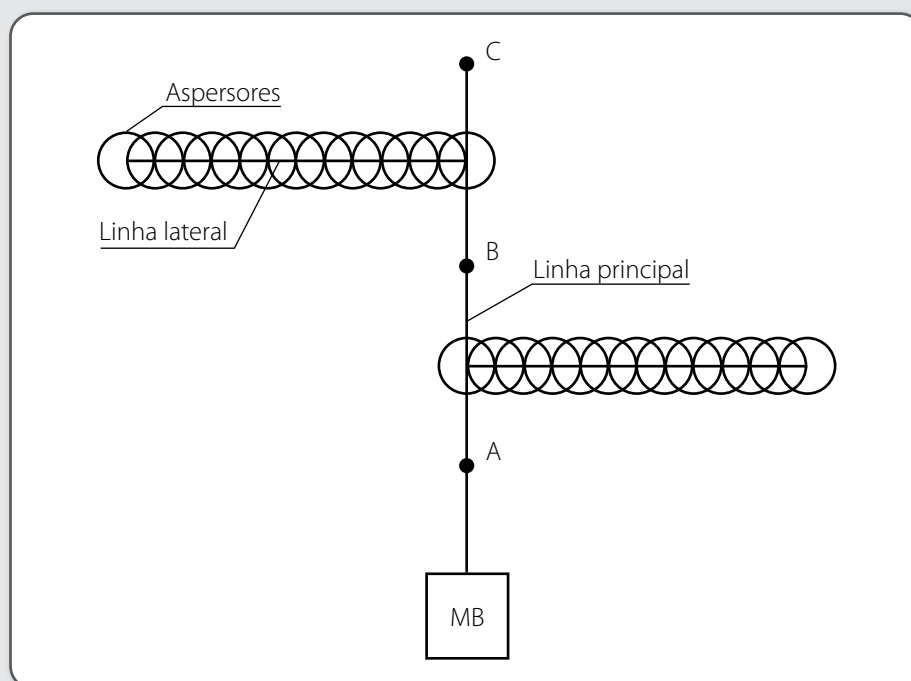
- Se bem manejado, a eficiência de irrigação pode ser maior que 80%.

Figura 15 – Irrigação por aspersão convencional na cultura do alface.



Fonte: Bucco, 2011.

Figura 16 – Esquema do sistema de irrigação por aspersão convencional.



Fonte: Sobenko, 2012.

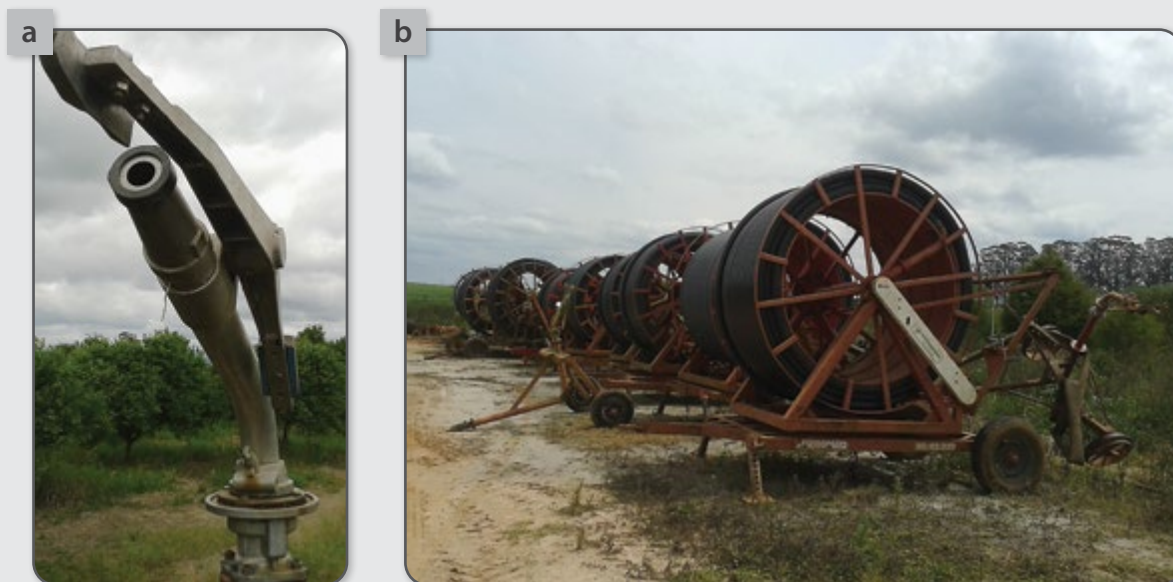
3.1.2 Aspersão mecanizada

Sistemas desenvolvidos com o objetivo de reduzir a mão de obra na movimentação das tubulações devido ao alto custo e a carência de trabalho capacitado (FRIZZONE et al., 2011). Os sistemas dividem-se em:

A) Canhão autopropelido

Possui uma ampla utilização, podendo irrigar áreas pequenas, médias ou grandes, e é normalmente recomendado para culturas anuais (cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) e em pomares, adaptando-se a diversos tipos de solo. O terreno tem que ser o mais plano possível. É constituído por aspersor de grande porte, com um ou mais bocais, que proporciona longo alcance ao jato de água (Figura 17a). Contém também suporte para o aspersor e mangueira (Figura 17b). Seu acionamento pode ser por cabo de aço (deve ser evitado) ou por carretel enrolador de sua própria mangueira (Figura 19).

Figura 17 – Exemplos de componentes do sistema de irrigação por canhão autopropelido aspersor (a); e suporte (b).



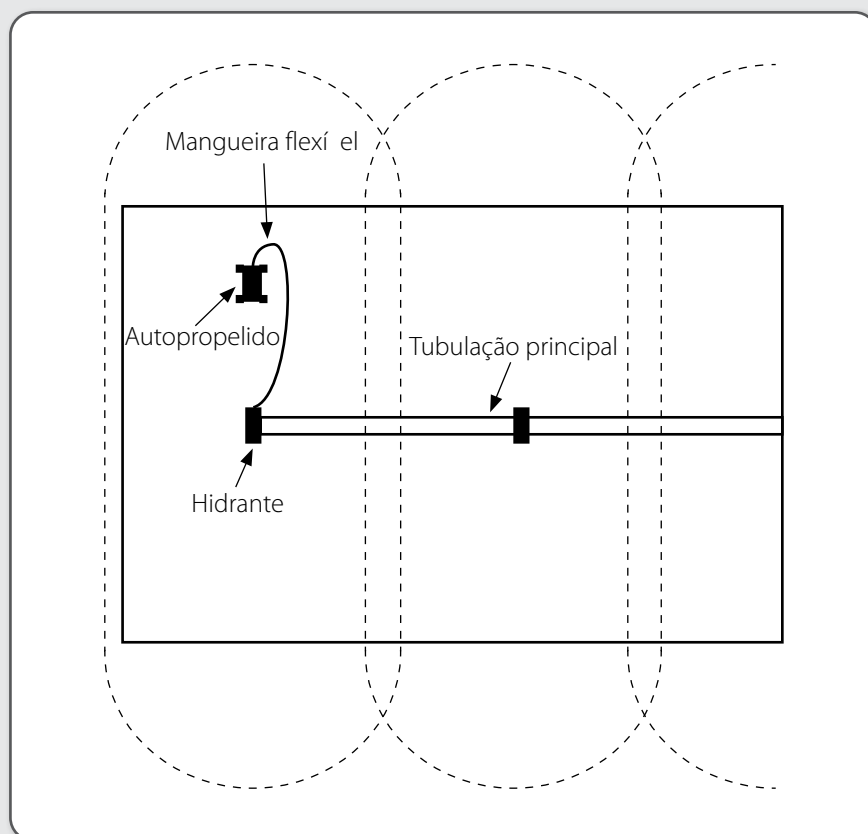
Fonte: Sobenko, 2013.

Figura 18 – Irrigação mecanizada do tipo canhão autopropelido na cultura da batata.



Fonte: Grabarski, 2013.

Figura 19 – Esquema do sistema de irrigação por canhão autopropelido.



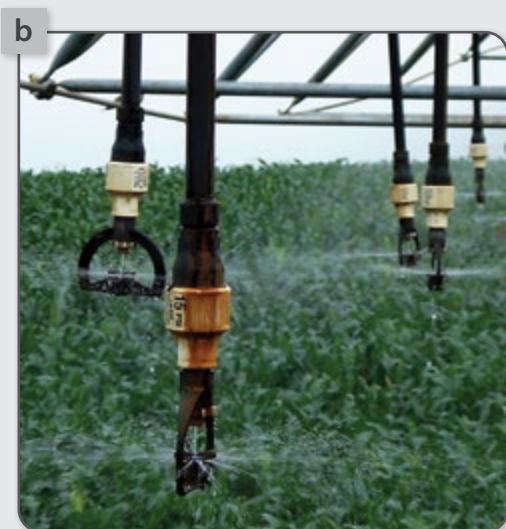
Fonte: Sobenko, 2012.

B) Pivô central

Esse sistema de irrigação gira sobre rodas pneumáticas, em torno de um ponto fixo, a uma velocidade constante em caso de irrigação convencional, irrigando uma área circular (Figura 22). É constituído por:

- **Aspersores:** segundo Colombo (2003), variam de acordo com a posição de instalação (LEPA, MESA e ONLINE), alcance de aplicação, intensidade de precipitação, preço e suscetibilidade ao efeito do evento (Figura 20).

Figura 20 – Aspersores utilizados no sistema do tipo pivô central. LEPA (a); MESA (b); ONLINE (c).



Fonte: Armindo, 2012 (a) e (c); Fernandes, 2002 (b).

Outros itens que constituem o sistema são: painel de controle, sensores, motorredutores, torres de sustentação, pneus e rodas pneumáticas, entre outros.

Vantagens: redução de mão de obra; possibilidade de acionamento remoto; flexibilidade no manejo de irrigação; o ponto de parada de irrigação é sempre o ponto de início para a próxima irrigação; permite aumento de área irrigada proporcionalmente ao aumento da tubulação lateral.

Desvantagens: limitação em áreas retangulares e carência de assistência técnica especializada.

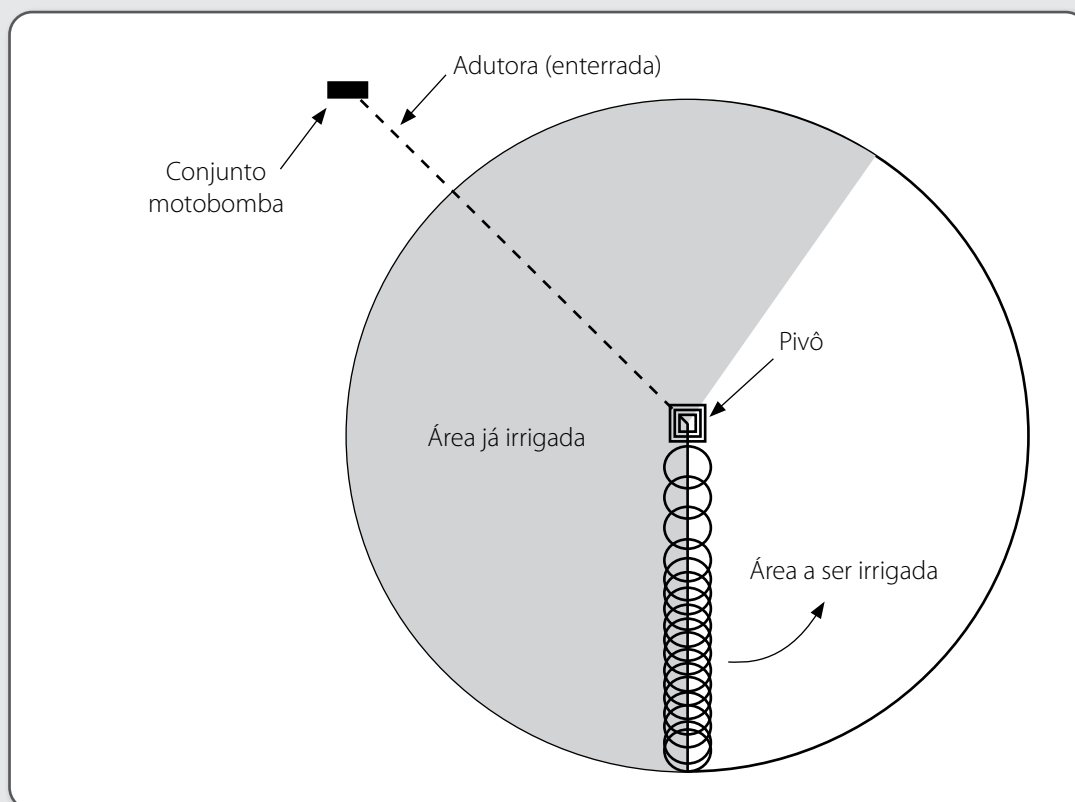
- Se **bem manejado**, pode chegar a mais de **90% de uniformidade** de distribuição.

Figura 21 – Irrigação mecanizada do tipo pivô central na cultura do feijoeiro.



Fonte: Szekut, 2010.

Figura 22 – Esquema do sistema de irrigação do tipo pivô central.



Fonte: Sobenko, 2012.

C) Sistema linear

Semelhante ao pivô central, porém todas as torres se deslocam à mesma velocidade, linearmente (Figura 23). Todos os aspersores aplicam a mesma vazão, consequentemente, a mesma intensidade de precipitação (chuva).

Figura 23 – Irrigação mecanizada do tipo sistema linear na cultura do girassol.



Fonte: Valley Irrigation, 2013.

3.2 LOCALIZADA

A técnica de irrigação localizada consiste em aplicar a água diretamente sobre a região radicular da cultura, em pequena intensidade e alta frequência, havendo a possibilidade de manter a umidade do solo sempre próxima da capacidade de campo (SILVA et al., 2003). O sistema geralmente é constituído por:

- **Emissores:** podem ser gotejadores ou microaspersores sendo os principais componentes do sistema e caracterizam o método localizado.
- **Conjunto motobomba:** geralmente, apresenta-se de menor potência em relação à irrigação por aspersão.
- **Cabeçal de controle:** possui as funções de realizar a filtragem da água, receber a inserção dos produtos químicos via água de irrigação (quimigação) e realizar a distribuição da água para os vários setores. É composto por registros, válvulas, filtros, manômetros, injetores de fertilizantes, etc. (Figura 24).

Os filtros mais comuns são:

- a) **hidrociclone:** tem função de separar partículas sólidas (areia, cascalhos e demais impurezas) da água através da força centrípeta. Deve ser sempre instalado verticalmente;

- b) de areia: usado para reter o material orgânico e partículas maiores e sua limpeza é feita via retrolavagem, de acordo com as especificações do fabricante;
- c) de tela: possui grande eficiência na retenção de partículas sólidas, como a areia fina;
- d) de disco: são colocados na linha de irrigação e a água, ao passar pelos pequenos condutos formados pelos discos, é filtrada.

Figura 24 – Componentes do cabeçal de controle do sistema de irrigação localizada. (a) e (b) conjunto de filtros, registros e válvulas; (c) filtro de disco.



Fontes: Szekut, 2009 (a) e (c); Bucco, 2011 (b).

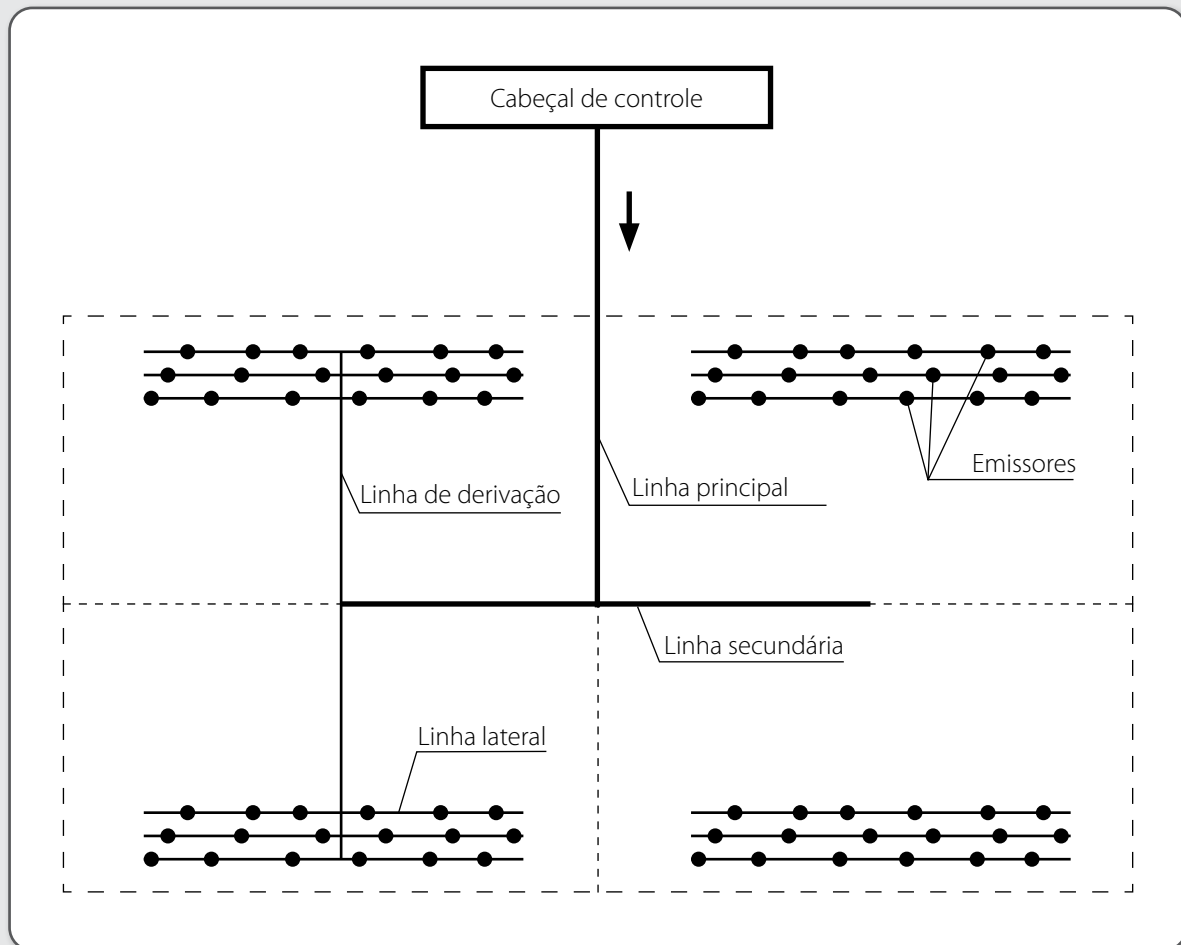
- **Tubulações:** são classificadas em linhas: principal, de derivação, secundárias e laterais (Figura 26). A linha principal e a de derivação são enterradas. Os materiais mais utilizados são: PVC, para a linha principal, e polietileno para as laterais e derivação, para facilitar a perfuração do tubo.
 - Pressões elevadas podem inviabilizar o uso de tubulações de polietileno.

A implantação da irrigação localizada é de alto custo, portanto deve ser usada em culturas de alto retorno econômico, como café, tomate, morango, melão, citros, cacau, uva e viveiros de frutíferas e plantas ornamentais.

Vantagens: economia de água e energia; permite o uso de água mais salina do que os outros métodos; controle rigoroso da lâmina de água fornecida à cultura e não dispersa sementes de plantas invasoras na área.

Desvantagens: sensível a entupimentos (lodo, bactérias e fertilizantes); exigência de um eficiente tratamento da água; menor controle do microclima e elevado custo inicial.

Figura 25 – Esquema do sistema de irrigação localizada.



Fonte: Sobenko, 2012.

O método de irrigação localizada divide-se em:

3.2.1 Gotejamento

A água é aplicada no solo gota a gota, em vazões que podem chegar até a 100 L.h^{-1} . Os gotejadores podem ser classificados de acordo com a sua posição na linha lateral: sobre a linha, na linha ou no prolongamento da linha (Figura 26).

Um bom gotejador deve fornecer vazão relativamente baixa, constante e uniforme; ser barato, resistente e compacto e ter um orifício de saída da água relativamente grande para evitar entupimentos.

Figura 26 – Irrigação localizada do tipo gotejamento nas culturas: (a) morango; (b) uva; (c) tomateiro; (d) beterraba.



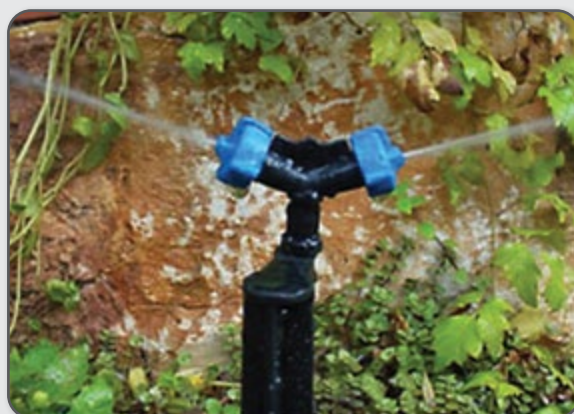
Fonte: Szekut, 2009 (a) e (b); Central Irrigação Ltda, 2013 (c); Sobenko, 2012 (d).

3.2.2 Microaspersão

A aplicação de água é realizada sob a copa das plantas em vazões que podem variar de 20 a 150 L.h⁻¹. Os microaspersores são instalados sobre a linha lateral e em relação aos gotejadores, são menos suscetíveis ao entupimento e proporcionam um maior raio molhado (Figura 28).

Esse sistema oferece maior vantagem para os plantios menos adensados e que apresentam culturas com elevada expansão do sistema radicular, como banana, limão e manga.

Figura 27 – Microaspersores utilizados no sistema de irrigação localizada do tipo microaspersão.



Fonte: Central Irrigação Ltda, 2013.

Figura 28 – Irrigação localizada do tipo microaspersão em viveiro de mudas.



Fonte: Bucco, 2009.

3.3 SUPERFÍCIE

Esse método é caracterizado pela utilização da própria superfície do solo para distribuir a água necessária às culturas. Nesse método, todo escoamento da água é realizado por meio da força gravitacional. No entanto, a superfície de escoamento deve conduzir e infiltrar a água, ao mesmo

tempo. Essa técnica é inadequada para solos rasos, pedregosos ou excessivamente permeáveis, devido à percolação excessiva e grandes riscos de erosão. Portanto, solos argilosos com elevada capacidade de retenção de água e infiltração moderada e reduzida são os mais recomendados (SCALLOPI, 2003).

Scaloppi (2003) cita que todas as culturas econômicas podem ser irrigadas por esse sistema, desde os cereais de pequeno porte (trigo, centeio, cevada e aveia) e forrageiras até as culturas arbóreas.

Vantagens: irrisório ou nenhum consumo de energia e baixo custo de implantação; aplicáveis a todas as culturas; não molha as folhas da cultura; pode ser utilizado em áreas com até 12% de declividade e baixa dependência de assistência técnica para equipamentos.

Desvantagens: menor eficiência de irrigação; exigência de mão de obra; dificuldades para operação de máquinas e acentuada dependência das condições topográficas.

O método de irrigação por superfície divide-se em:

3.3.1 Sulcos

Nesse método, a água é aplicada no solo por meio de pequenos canais distribuídos na área a ser irrigada e é mantida em circulação até que se infiltre a lâmina necessária (Figura 29). Culturas que tenham suficiente espaçamento entre linhas como milho, sorgo, soja, algodoeiro, tomateiro, batata, cana-de-açúcar, olerícolas e frutíferas podem ser irrigadas por sulcos (SCALLOPI, 2009).

Figura 29 – Irrigação por sulcos.



Fonte: Scaloppi, 2009.

3.3.2 Inundação

Na irrigação por inundação, o terreno é dividido em diques para que se formem compartimentos, onde é colocada a lâmina de água para se infiltrar no solo e permanecer fixa (Figura 30). Os diques podem ser retangulares ou em contorno.

Esse método é quase exclusivamente utilizado na cultura do arroz na Região Sul do Brasil, mas também pode ser utilizado para irrigar outras culturas, como sorgo, algodão, milho, pastagens e frutíferas, desde que a presença da lâmina de água não as afetem (SCALOPPI, 2003).

Figura 30 – Irrigação do tipo inundação na cultura do arroz.



Fonte: Ribeiro, 2013.

3.4 SUBSUPERFICIAL

A irrigação subsuperficial consiste na aplicação da água sob a superfície do solo por meio da elevação e controle do lençol freático, podendo ser fixo ou variável.

Vantagens: uso de energia baixo ou nulo; não remove agrotóxicos aplicados à folhagem; não é afetado pelo vento e apresenta baixo custo inicial.

Desvantagens: requer solos planos com camada de solo permeável sobre camada de solo impermeável; grande disponibilidade de água e um sistema de drenagem. Se for mal manejado pode ocorrer salinização do solo.

Pode-se também realizar a irrigação por subsuperfície pela técnica de **gotejamento subsuperficial**, na qual os emissores ficam enterrados sob a superfície do solo e dentro da camada que representa a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Figura 31). A irrigação por gotejamento subsuperficial pode ser utilizada em diversas culturas, como batata, hortaliças, algodão, melão e cana-de-açúcar, adaptando-se a uma ampla variedade de solos e climas.

Vantagens: promove redução da evaporação da água, da população de ervas daninhas, do acúmulo de sais na superfície e de danos mecânicos ao sistema. Apresenta baixa interferência nos tratos culturais e no aumento da profundidade do sistema radicular. Possui grande eficiência de fertirrigação e não permite contato com as folhas, fazendo com que haja menor incidência de doenças.

Desvantagens: por não umedecer a superfície do solo, pode prejudicar a germinação das sementes ou o pegamento das mudas, necessitando de um sistema secundário para a fase inicial da cultura. Requer um sistema de alta eficiência de filtragem, devido à alta suscetibilidade de entupimento pelas partículas do solo, precipitados químicos e, até mesmo, pela raiz da cultura.

Figura 31 – Irrigação do tipo gotejamento subsuperficial na cultura do tomateiro.



Fonte: Mortimer, 2012.



REFERÊNCIAS

- CENTRAL IRRIGAÇÃO LTDA. **Gotejamento**. 2013. Disponível em: <http://www.centralirrigacao.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=22>. Acesso em: abr. 2015.
- CENTRAL IRRIGAÇÃO LTDA. **Microaspersão**. 2013. Disponível em: <http://www.centralirrigacao.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=24>. Acesso em: abr. 2015.
- COLOMBO, A. Pivô central. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba; FUNEP, 2003. v.2, p. 209-258.
- FRIZZONE, J. A. et al. **Irrigação por aspersão**. Maringá: UEM, Editora da Universidade de Maringá, 2011. 271 p.
- MORTIMER, P. **Irrigação subsuperficial**. 2012. Disponível em: <<http://home.howstuffworks.com/irrigation4.htm>>. Acesso em: mai. 2012.
- OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Universidade de São Paulo, ESALQ, Nobel, 1977.
- PEREIRA, G. M. Aspersão convencional. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba; FUNEP, 2003. cap. 9, v. 2, p.107-178.
- RIBEIRO, A. **Cenário do Tocantins**. 2013. Disponível em: <<http://cenariotocantins.com.br/principal/tocantins-e-a-grande-promessa-brasileira-na-agricultura-irrigada/>>. Acesso em: nov. 2013.
- SCALOPPI, E. J. **Irrigação por superfície**: atualidades e perspectivas para o Brasil. 2009. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/winotec2012/palestras/scaloppi_winotec_29_maio_2012.pdf>. Acesso em: abr. 2015.
- SCALOPPI, E. J. Irrigação por superfície. In: MIRANDA, J H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba; FUNEP, 2003. v .2, p. 311-524.
- SILVA, J. G. F. et al. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba; FUNEP, 2003. v. 2, p. 259-310.
- VALLEY IRRIGATION. **Irrigation**. 2013. Disponível em: <<http://www.valmont.com/valmont/products/irrigation>>. Acesso em: abr. 2015.

A água é um fator limitante para o desenvolvimento agrícola, sendo que sua falta ou seu excesso pode comprometer o crescimento, a sanidade e a produção das plantas. A irrigação é um método de aplicação de água às plantas que, se realizado no momento e na quantidade adequada, ajuda a promover o máximo retorno do investimento com a maximização da produção, principalmente em áreas de baixo índice pluviométrico. Sendo assim, conhecer a quantidade de água requerida pelas culturas é um aspecto importante na agricultura irrigada para que haja um adequado controle (manejo) da irrigação, pois, se mal manejada, a técnica de irrigação pode trazer prejuízos ao produtor.

4.1 POR QUE REALIZAR O MANEJO DA IRRIGAÇÃO?

Muitos produtores acreditam que apenas adquirindo um sistema de irrigação irão obter elevados níveis de produtividade, sem considerar que é preciso adotar técnicas que possibilitem aplicar a água no momento certo e na quantidade necessária às culturas. Por não adotar um método de controle da irrigação, na tentativa de evitar estresse hídrico da cultura, o produtor rural costuma irrigar em excesso, o que pode comprometer a produção.

Para evitar tal situação o Controle da Irrigação é indispensável para monitorar, quantificar e aplicar corretamente a lâmina de água necessária à cultura, evitando assim fases de estresse hídrico e, conseqüentemente, buscando atingir uma produção que maximize o retorno econômico ao produtor.

Vantagens: a adoção do manejo da irrigação traz benefícios, tais como: economia de água e energia evitando desperdícios; aumento de produtividade, pois um controle de irrigação bem planejado permite o melhor aproveitamento da água evitando excessos que podem comprometer o desenvolvimento da cultura; minimização da perda de nutrientes por lixiviação, proporcionando maior eficiência na utilização dos recursos hídricos e minimizando assim os impactos ambientais ocasionados pelo uso insustentável da água para irrigação. Embora simples, essa técnica ainda é pouco utilizada na agricultura irrigada brasileira.

4.2 COMO CONTROLAR A IRRIGAÇÃO?

Para a utilização eficiente da água na irrigação, torna-se necessário conhecer as relações existentes no sistema água-solo-planta-atmosfera.

O controle da irrigação pode ser realizado controlando-se a umidade do solo, monitorando-se variáveis climáticas e/ou da planta ou ainda associando-se essas três maneiras no chamado balanço hídrico.

4.3 MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO

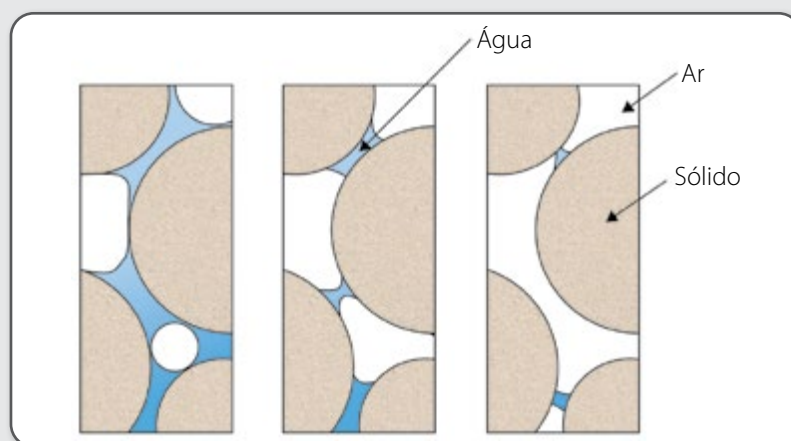
O solo se constitui em um sistema trifásico, formado por uma parte sólida (minerais, matéria orgânica, etc.), uma parte líquida (solução do solo) e uma parte gasosa (ar do solo). As partes líquida e gasosa ocupam os espaços livres do solo, que são os poros. Estes variam em tamanho e dividem-se em macroporos e microporos.

Os macroporos têm um diâmetro maior (superior a 0,1 mm) e por isso perdem água mais facilmente pela ação da gravidade. Já os microporos estão dispostos em forma de capilares contínuos de pequeno comprimento em muitas direções e, por terem um diâmetro bem menor (menor que 0,05 mm), têm maior capacidade de reter água.

Quando ocorre uma chuva ou é realizada irrigação, parte da água que infiltra no solo fica retida nos poros do solo, expulsando praticamente todo o ar. Diz-se então que esse solo está saturado, ou seja, todo o solo está preenchido com água inclusive o volume de poros (Figura 32). No momento em que cessar a precipitação, a água retida nos macroporos passará a ser drenada para as camadas mais profundas, e a água retida pelos microporos permanecerá no perfil que antes estava saturado. Nessas condições, o solo se encontrará na chamada “capacidade de campo”, que corresponde à máxima capacidade que o solo tem de perder água depois que o excesso desta tenha sido drenado. O solo na capacidade de campo representa a umidade ideal para o crescimento da cultura, pois, além da facilidade de absorção de água pela planta, haverá ainda determinada quantidade de ar no solo que garantirá a respiração das raízes. Porém, com o passar do tempo e o consumo da planta, essa umidade ideal começa a diminuir, dificultando a absorção de água, até chegar ao ponto em que a planta não consegue mais se recuperar dos danos causados pelo estresse hídrico, mesmo com reposição de água no solo (Figura 33). Esse ponto é chamado de “murchamento permanente”.

O monitoramento da umidade do solo pode ser feito valendo-se de várias técnicas. Um instrumento muito utilizado é o chamado tensiômetro, que determina a tensão (“força”) com que a água está retida no solo, ou seja, determina o esforço que as raízes das plantas exercem para absorver a água que se encontra ali. A tensão da água no solo está diretamente ligada à umidade do solo, dessa forma com o tensiômetro pode-se o monitorar indiretamente a umidade do solo.

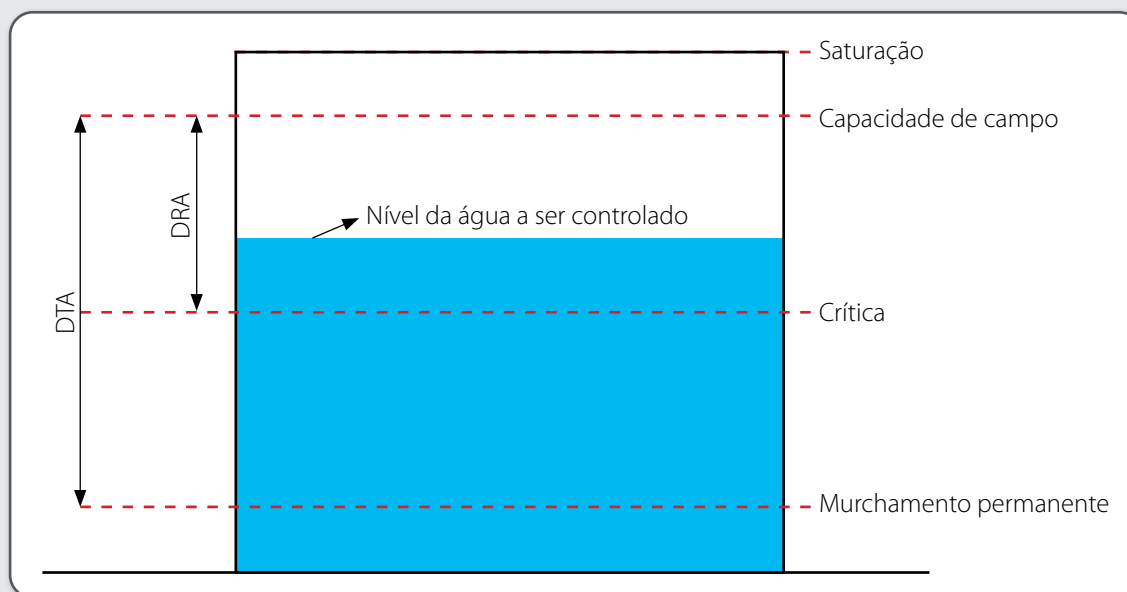
Figura 32 – Esquema representativo de um solo, indicando a relação entre ar, água e sólidos.



Fonte: Prevedello; Armindo, 2015

Existe um valor de umidade entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente chamado ponto crítico (Figura 33). Quando o solo possui umidade entre o nível crítico e a capacidade de campo, a planta absorve a água do solo mantendo sua taxa de crescimento máxima, ou seja, sem prejudicar seu máximo crescimento fisiológico. Portanto, a irrigação deve ser sempre realizada quando a umidade do solo atingir o chamado ponto crítico.

Figura 33 – Imagem de um reservatório representativo dos níveis de umidade no solo. DTA: disponibilidade total de água, DRA: disponibilidade real de água.



Fonte: Armindo, 2013.

4.3.1 Disponibilidade total de água (DTA)

Também conhecida como capacidade de água disponível (CAD), a DTA representa o total de água do solo disponível para as plantas e pode ser calculada pela equação (1).

$$DTA = (U_{cc} - U_{pmp}) \times \frac{\rho_s}{\rho_{\text{água}}} \times z \quad (1)$$

em que:

DTA: disponibilidade total de água (mm);

U_{cc} : umidade na capacidade de campo (kg.kg^{-1});

U_{pmp} : umidade no ponto de murchamento permanente (kg.kg^{-1});

ρ_s : densidade do solo, (kg.m^{-3});

$\rho_{\text{água}}$: massa específica da água, constante igual a 1000 kg.m^{-3} ;

z : profundidade efetiva média do sistema radicular (mm).

Amostras de solo em anéis volumétricos devem ser tomadas no local onde será realizada a irrigação e, posteriormente, enviadas ao laboratório mais próximo para receber os valores de U_{cc} , U_{pmp} e p_s .

4.3.2 Disponibilidade real de água (DRA)

Também definida como água facilmente disponível (AD), é a água retida entre a umidade crítica (ponto crítico) e a capacidade de campo, que está facilmente disponível para as plantas. Para calcular a DRA utiliza-se a equação (2).

$$DRA = DTA \times f \quad (2)$$

em que:

DRA: disponibilidade real de água (mm);

DTA: disponibilidade total de água no solo (mm);

f : fator de disponibilidade da cultura.

O fator f dever ser retirado da Tabela 9, na qual se nota que mesmo que o controle esteja sendo realizado pelo monitoramento da umidade do solo, o valor de f varia em função do grupo de cultura e das variáveis climatológicas (ETc). Assim, nessa técnica estão contidas condições de clima, planta e solo.

Tabela 9 – Valores de f para culturas em função da evapotranspiração máxima da cultura (ETc).

Grupo de cultura	ETc (mm.dia ⁻¹)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,17
2	0,67	0,57	0,47	0,40	0,35	0,32	0,27	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,37	0,35	0,30
4	0,87	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

1. cebola, pimentão e batata

2. banana, repolho, uva, ervilha e tomate

3. alfaça, feijão, citros, amendoim, abacaxi, girassol, melancia e trigo

4. algodão, milho, azeitona, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar e fumo.

Fonte: Doorenbos; Kassan, 1979.

4.3.3 Umidade crítica (θ_c)

O cálculo da umidade crítica no momento em que se irá proceder à irrigação pode ser feito pela equação (3).

$$\theta_c = \theta_{cc} - [f \times (\theta_{cc} - \theta_{pmp})] \quad (3)$$

em que:

θ_c : umidade crítica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);

θ_{cc} : umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);

f : fator de disponibilidade da cultura;

θ_{pmp} : umidade no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$).

Exemplo 1:

Será realizado um manejo de irrigação monitorando-se a umidade do solo para uma variedade de cana-de-açúcar, que possui profundidade efetiva de sistema radicular de 50 cm, em um município onde a evapotranspiração máxima é: $ET_{c_m} = 6\text{mm/dia}$. Amostras de solo foram tomadas e enviadas para um laboratório técnico. Os dados de solo fornecidos pelo laboratório são: $U_{cc} = 20\%$; $U_{pmp} = 11\%$; $\rho_s = 1200 \text{ kg/m}^3$. Pede-se:

a) Disponibilidade total de água no solo

$$DTA = [U_{cc} - U_{pmp}] \times \frac{\rho_s}{\rho_{\text{água}}} \times Z_{(\text{mm})}$$

$$DTA = [0,20 - 0,11] \times 1,2 \times 500_{(\text{mm})}$$

$$DTA = 54_{\text{mm}}$$

b) A disponibilidade real de água no solo consultando-se o valor de f na Tabela 9

$$DRA = DTA \times f$$

$$DRA = 54_{\text{mm}} \times 0,55$$

$$DRA = 29,7_{\text{mm}}$$

c) A umidade crítica no momento em que se irá proceder à irrigação

$$\theta_c = \theta_{cc} - f \times (\theta_{cc} - \theta_{pmp})$$

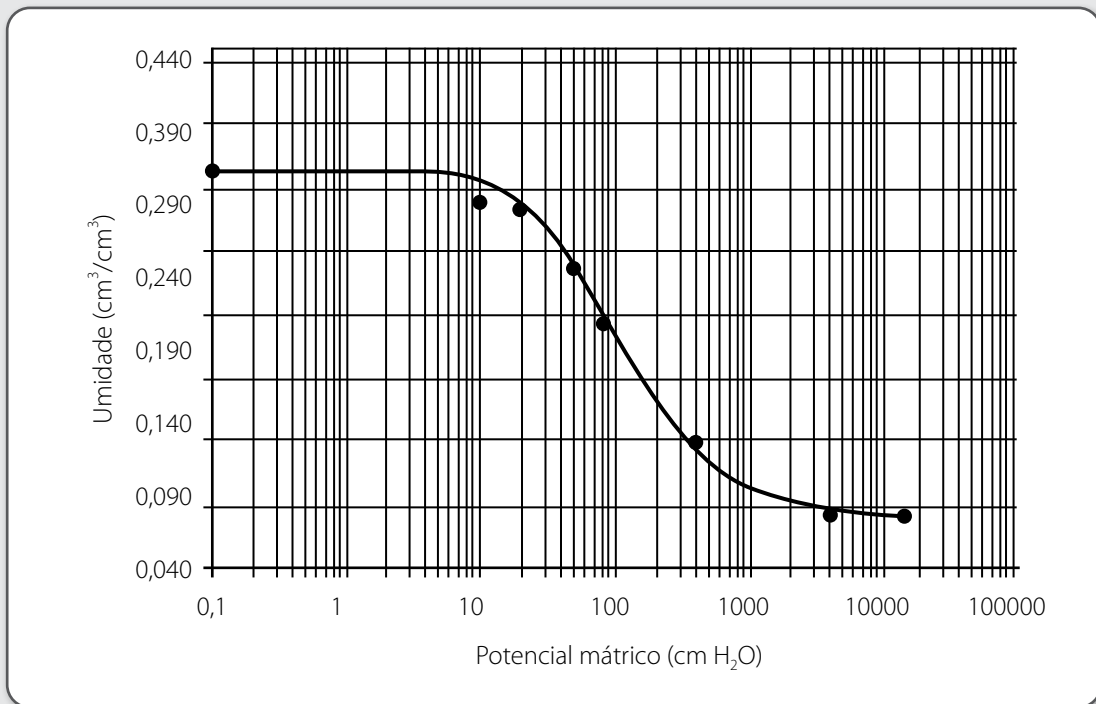
$$\theta_c = (0,20 \times 1,2) - 0,55[(0,20 - 0,11) \times 1,2]$$

$$\theta_c = 18,06\%$$

Conclusão: Com esses valores, podemos concluir que nesse solo a disponibilidade total de água no solo para as culturas é de 54 mm, mas a lâmina de água que está facilmente disponível para as plantas consumirem é 29,7 mm e que a cultura deve ser irrigada quando o solo atingir uma umidade crítica de 18%.

Depois de determinada a umidade crítica para proceder a irrigação (θ_c), é necessário convertê-la em tensão para realizar o controle, caso seja utilizado o tensiômetro. Na Figura 34, tem-se um exemplo de curva de retenção da água no solo. Por meio dela, torna-se possível descobrir qual a tensão referente a determinada umidade do solo e vice-versa.

Figura 34 – Curva de retenção da água no solo.



Fonte: UNESP – Hidráulica e Irrigação, Ilha Solteira-SP, 2000.

Essa curva é construída em laboratório, basta que o produtor colete amostras indeformadas de solo em anéis volumétricos e as envie para o laboratório mais próximo que preste esse tipo de serviço. Geralmente, o laboratório envia, juntamente com a curva, os parâmetros θ_s , θ_r , α e n da equação (4) que correlaciona a umidade e a tensão da água no solo (potencial matricial).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\psi_m|)^n\right]^m} \quad (4)$$

em que:

θ : Umidade atual do solo, cm³.cm⁻³;

θ_r : Umidade residual do solo, cm³.cm⁻³;

θ_s : Umidade na saturação do solo, cm³.cm⁻³;

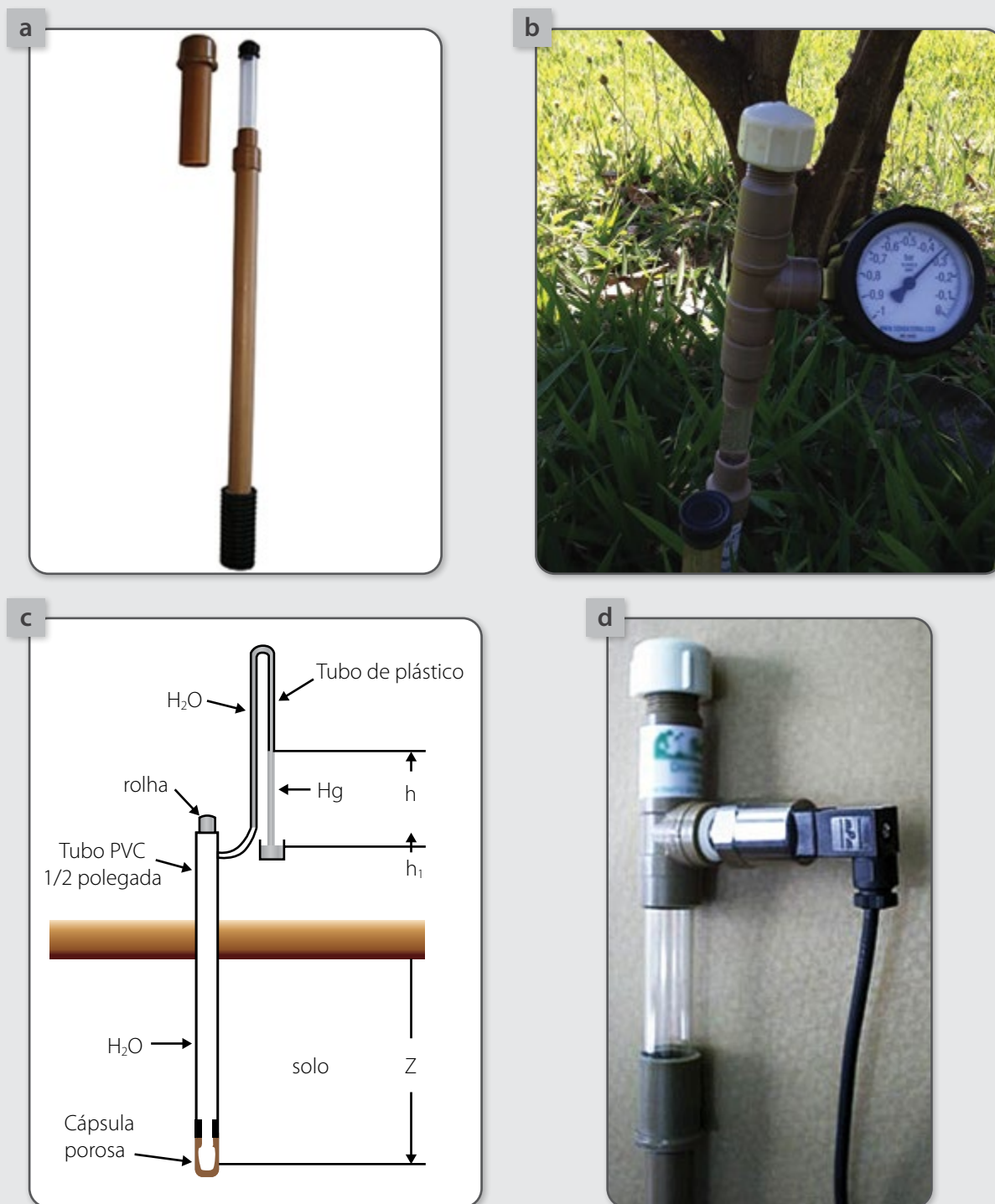
ψ_m : Potencial mátrico da água no solo, cm.c.a;

α , n e m : Parâmetros de ajuste da equação.

4.3.4 Tipos de tensiômetros

De acordo com Villas Boas et al., (2009), existem quatro tipos de tensiômetros mais utilizados atualmente na agricultura irrigada. São eles: tensiômetro de mercúrio, de punção, com leitura por tensímetro digital ou analógico, com vacuômetro acoplado ao tubo de PVC e automatizado com transdutor de pressão (Figura 35).

Figura 35 – Imagem de tensiômetros utilizados. (a) por punção; (b) com vacuômetro; (c) de mercúrio ; (d) automatizado.



Fonte: Szekut, 2009 (a) e (b); Central Irrigação Ltda, 2013 (c); Sobenko, 2012 (d).

4.3.5 Funcionamento dos tensiômetros

O funcionamento de um tensiômetro é baseado na variação de pressão que ocorre no interior do tubo de PVC, sendo essa variação registrada por um vacuômetro, tensímetro, cuba de mercúrio ou ainda por um transdutor de pressão. Quanto mais seco estiver o solo, maior será a quantidade

de água que sairá pela cápsula porosa do tensiômetro e, conseqüentemente, maior será o valor de tensão (vácuo) existente no tubo de PVC. Por outro lado, quando o solo recebe água, seja pela ocorrência de chuva ou por irrigação, a água passa do solo para o interior do tensiômetro através da cápsula porosa, ocasionando em uma queda na tensão, que será acusada pelo tensiômetro.

Recomenda-se fazer as leituras dos tensiômetros logo nas primeiras horas da manhã para evitar o efeito da variação da temperatura nas leituras e para melhor organização e planejamento das irrigações. Ressalta-se que, para se manejar a irrigação com o uso de tensiômetros, torna-se preciso ter em mãos a curva de retenção de água no solo, para se ter a umidade atual do solo, a fim de calcular a lâmina de irrigação a ser aplicada. Primeiramente, deve-se fazer a leitura no tensiômetro, seja de mercúrio ou com vacuômetro. Depois, utilizam-se as equações (5) e/ou (6) para calcular o potencial matricial da água no solo (ψ_m).

▪ **Tensiômetro de mercúrio:**

$$\psi_m = (-12,6 \times h) + h_1 + z \quad (5)$$

▪ **Tensiômetro de punção e/ou vacuômetro:**

$$\psi_m = (1000 \times T) + h_1 + z \quad (6)$$

em que:

ψ_m : potencial mátrico, cm.c.a.;

h : altura de equilíbrio da coluna de mercúrio, cm;

h_1 : altura da superfície do mercúrio até a superfície do solo, cm; e

z : profundidade de instalação dos tensiômetros, cm.

T : tensão lida pelo tradutor de pressão ou pelo vacuômetro, bar.

Com o valor de ψ_m utiliza-se a curva de retenção da água no solo ou a equação (4) para descobrir a umidade atual do solo. A partir da diferença entre esse valor e a umidade pretendida, calcula-se a Lâmina Líquida de Irrigação (LLI), por meio da equação (7).



OBSERVAÇÃO

Deve-se atentar para a seguinte conversão de unidades e lembrar que é imprescindível determinar a curva de retenção da água no solo para cada área onde se deseja controlar a irrigação via tensiometria.

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ mca} = 100 \text{ kPa} = 1000 \text{ cmca} = 736 \text{ mmHg}$$

$$LLI_{(mm)} = [\theta_{cc} - \theta_a] \times z_{(mm)} \quad (7)$$

em que:

LLI: lâmina líquida de irrigação (mm);

θ_a : umidade atual do solo correspondente ao momento de leitura do tensiômetro, $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$.

z: profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm).

Tabela 10 – Profundidade efetiva média (z) do sistema radicular de algumas culturas.

CULTURA	z (cm)	CULTURA	z (cm)
Abacaxi	20	Culturas perenes	50 a 70
Algodão	30	Feijão	20 a 30
Amendoim	50 a 60	Melancia, melão	30
Arroz	20 a 30	Milho	40 a 50
Banana	40	Pastagem	30
Batata	20 a 30	Soja	40 a 50
Café	50	Tomate, fumo	20 a 50
Cana-de-açúcar	50 a 70	Trigo	30 a 40
Cebola	20	Videira	50

Fonte: Villas Bôas et al., 2009.

A umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) é determinada como a umidade correspondente a 100 cm.c.a para solos arenosos e 330 cm.c.a para solos argilosos.

Com o valor da lâmina líquida calculado, calcula-se a lâmina bruta de irrigação (LBI) com a equação (8).

$$LBI = \frac{LLI}{Ef} \quad (8)$$

em que:

LBI: lâmina bruta de irrigação (mm);

LLI: lâmina líquida de irrigação (mm);

Ef : eficiência de irrigação (%).

Exemplo 2:

Será realizado um manejo de irrigação monitorando-se a umidade do solo para 13 ha cultivados com cebola, em um município onde a evapotranspiração máxima é: $ET_{cm} = 5 \text{ mm/dia}$.

Amostras de solo foram tomadas e enviadas para o laboratório técnico mais próximo. Os resultados fornecidos pelo laboratório são: $U_{cc} = 22\%$; $U_{pmp} = 12\%$; $\rho_s = 1230 \text{ kg.m}^{-3}$; $\theta_r = 11,8\%$; $\theta_s = 37,8\%$; $\alpha = 0,04 \text{ cm}^{-1}$; $m = 0,6$ e $n = 2,5$. Sabe-se que o produtor realiza o controle da umidade do solo com tensiômetros. Pede-se:

- a) Disponibilidade total de água no solo.

Verificando-se na Tabela 10, será utilizado o valor de $z = 20 \text{ cm}$.

$$DTA = [U_{cc} - U_{pmp}] \times \frac{\rho_s}{\rho_{\text{água}}} \times z_{(\text{mm})}$$

$$DTA = [0,22 - 0,12] \times 1,23 \times 200_{(\text{mm})}$$

$$DTA = 24,6_{\text{mm}}$$

- b) A disponibilidade real de água no solo consultando-se o valor de f na Tabela 9.

$$DRA = DTA \times f$$

$$DRA = 24,6_{\text{mm}} \times 0,30$$

$$DRA = 7,38_{\text{mm}}$$

- c) A umidade crítica no momento em que se irá proceder à irrigação.

$$\theta_c = \theta_{cc} - f \times (\theta_{cc} - \theta_{pmp})$$

$$\theta_c = (0,22 \times 1,23) - 0,3[(0,22 - 0,12) \times 1,23]$$

$$\theta_c = 23,37\%$$

- d) O potencial matricial no momento de ligar a irrigação.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\psi_m|)^n]^m}$$

$$0,2337 = 0,118 + \frac{0,378 - 0,118}{[1 + (0,04 |\psi_m|)^{2,5}]^{0,6}}$$

$$|\psi_m| = 37 \text{ cm.c.a}$$

- e) Para uma vazão do sistema de irrigação de $Q = 150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ e eficiência do sistema de 80%, determine o tempo de rega.

Calculando-se a intensidade de precipitação (IP).

$$IP = \frac{Q}{A} = \frac{150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}}{13 \text{ ha}} = \frac{150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}}{130000 \text{ m}^2}$$

$$IP = 1,15 \text{ mm.h}^{-1}$$

Calculando-se o tempo de rega ou de irrigação.

$$t_{\text{irrig}} = \frac{7,38 \text{ mm}}{1,15 \text{ mm.h}^{-1} \times 0,8} \approx 8 \text{ horas}$$

Conclusão: Com esses valores, podemos concluir que a irrigação deverá ser ligada quando o tensiômetro acusar um valor referente a um potencial matricial de 37 cm.c.a. Deve-se deixar o sistema em funcionamento por um tempo de 8 horas para que seja aplicada uma LLI de 7,38 mm. Nesse caso, tem-se uma irrigação de lâmina fixa e frequência variável, pois o momento de acionar a irrigação será sempre quando houver um potencial matricial de 37 cm.ca.. Ressalta-se que o potencial matricial de 37 cm.c.a se refere ao potencial da água no solo na altura da cápsula do tensiômetro, devendo ser corrigido para a leitura do instrumento que estiver sendo utilizado.

4.4 MONITORAMENTO DO CLIMA

A necessidade hídrica de uma cultura é quantificada através da evapotranspiração. Entretanto, diferentes culturas requerem diferentes necessidades hídricas, em fases diferentes do seu ciclo de desenvolvimento, por isso é importante realizar o monitoramento dia a dia.

A perda de água das culturas por evapotranspiração pode ser afetada por diversos fatores climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar, ventos e precipitações; fatores da planta, como necessidade hídrica nos diferentes estágios de desenvolvimento para diferentes culturas; fatores do solo, como capacidade de retenção e armazenamento de água no solo, tipo de estrutura e textura do solo que influenciam na drenagem da água deste.

4.5 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)

Uma maneira bastante prática e barata de se estimar a ET_o é por meio do tanque classe A, que deve ser um tanque circular com 1,21 m de diâmetro por 25,4 cm de altura, construído em chapa galvanizada número 22. O tanque é instalado sobre um estrado de 0,10 x 0,05 x 1,24 m, nivelado sobre o terreno (Figura 36a). Coloca-se água no tanque até 5 cm da borda superior permitindo-se que esse nível atinja o mínimo de 7,5 cm, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação deve-se restaurar o volume do tanque. Sua operação é bastante simples e a variação do nível da água é medida com o auxílio de uma ponta de medida, tipo gancho (Figura 36b), assentada em cima do poço tranquilizador, também devidamente nivelado. A precisão da medida é de aproximadamente 0,02 mm. De acordo com Villas Bôas (2009), o nível da água a ser considerado, é quando a ponta do gancho aflorar na superfície da água, e este ponto é importante, pois poderá variar conforme o observador. Por esse motivo, não se recomenda que ocorra mudança do leitor, buscando diminuir as chances de erro. A leitura do nível de água é realizada diariamente, e a diferença entre leituras caracteriza a evaporação no período. Para medida do nível de água, existem também outros dispositivos mais simples e de menor custo que o micrômetro de gancho, como o uso de réguas graduadas inseridas no tanque ou mangueiras transparentes conectadas à parede lateral do tanque, os quais permitem medir a água evaporada diariamente, através de escalas próprias.

Figura 36 – Imagem do tanque classe A para monitoramento da evaporação da água.



Fonte: UNESP – Hidráulica e Irrigação, Ilha Solteira-SP, 2000.

Com as leituras diárias ainda não temos a evapotranspiração, portanto torna-se necessária a conversão da evaporação do tanque classe A para evapotranspiração de referência (ET_o), através das equações 9 e 10, que calculam a ET_o e a evapotranspiração da cultura (ET_c), respectivamente. Segundo Folegatti (2003), o tanque classe A deve ser utilizado mediante o ajuste de uma correção, por um coeficiente denominado de K_p (coeficiente de tanque), cuja determinação é baseada nas informações da velocidade do vento, umidade relativa, extensão e condição da área de bordadura ao redor do tanque (SENTELHAS; FOLEGATTI, 2003).

- Estimativa da ET_o :

$$ET_o = K_p \times ECA \quad (9)$$

em que:

ET_o : evapotranspiração de referência, mm.dia^{-1} ;

ECA: evaporação da água observada no tanque classe A, mm.dia^{-1} ;

K_p : coeficiente do tanque, adimensional.

Os valores do coeficiente do tanque classe A (K_p) são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores dos coeficientes do tanque classe A (Kp).

Velocidade do vento (m/s)	Posição do tanque	Exposição A (tanque circundado por grama)			Exposição B (tanque circundado por solo nu)		
		UR média (%)			UR média (%)		
	R (m)	Baixa (< 40%)	Média (40-70%)	Alta (> 70%)	Baixa (< 40%)	Média (40-70%)	Alta (> 70%)
Leve < 2	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,60	0,60	0,70
Moderado 2-5	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

Fonte: Villas Bôas et al., 2009.

Para calcular o valor da Evapotranspiração de Referência (ET_o) substitui-se o valor do coeficiente do Tanque Classe A (K_p) na equação (9), e com o valor de ET_o, por meio da equação (10), calcula-se a evapotranspiração da cultura (ET_c).

- Estimativa da ET_c:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (10)$$

em que:

ET_c: evapotranspiração da cultura, mm.dia⁻¹;

ET_o: Evapotranspiração de Referência mm.dia⁻¹;

K_c: coeficiente do cultivo, adimensional.

Os valores de K_c variam com as fases fenológicas da cultura e também entre cultivares e espécies, sendo função do Índice de Área Foliar (IAF). Os valores de K_c são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Coeficientes de cultivo (K_c) em diferentes fases de desenvolvimento e alturas máximas de plantas.

CULTURA	K_c inicial	K_c médio	K_c final	Altura máxima da cultura – h (m)
Brócolis	0,70	1,05	0,95	0,30
Repolho	0,70	1,05	0,95	0,40
Cenoura	0,70	1,05	0,95	0,30
Couve-flo	0,70	1,05	0,95	0,40
Aipo	0,70	1,05	1,00	0,60
Alho	0,70	1,00	0,70	0,60
Alface	0,70	1,00	0,95	0,30
Espinafre	0,70	1,00	0,95	0,30
Rabanete	0,70	0,90	0,85	0,30
Pimenta doce	0,60	1,05	0,90	0,70
Tomate	0,60	1,15	0,70-0,90 ¹	0,60
Pepino	0,60	1,00	0,75	0,30
Melão	0,60	1,05	0,75	0,40
Melancia	0,40	1,00	0,75	0,40
Mandioca – 1º ano	0,30	0,80	0,30	1,00
Mandioca – 2º ano	0,30	1,10	0,50	1,50
Batata	0,50	1,15	0,75	0,60
Batata-doce	0,50	1,15	0,65	0,40
Nabo	0,50	1,10	0,95	0,60
Beterraba	0,50	1,05	0,90	0,40
Feijão	0,40	1,15	0,35	0,40
Lentilha	0,40	1,10	0,30	0,50
Ervilha fresca	0,50	1,15	1,10	0,50
Ervilha – grãos frescos	0,50	1,15	0,30	0,50
Soja	0,40	1,15	0,50	0,5 - 1,0
Amendoim	0,40	1,15	0,60	0,40
Algodão	0,35	1,15-1,20 ¹	0,70-0,50 ¹	1,2-1,5
Mamona	0,35	1,15	0,55	0,30
Girassol	0,35	1,00-1,15 ¹	0,35	0,60
Cevada	0,30	1,15	0,25	1,00
Aveia	0,30	1,15	0,25	1,00
Milho verde	0,30	1,20	0,60-0,35 ¹	2,00
Milho semente	0,30	1,15	1,05	1,50
Milheto	0,30	1,00	0,30	1,50
Sorgo	0,30	1,00-1,10 ¹	0,55	1 - 2
Arroz	1,05	1,20	0,90-0,60 ¹	1,00
Cana-de-açúcar	0,40	1,25	0,75	3,00
Banana – 1º ano	0,50	1,10	1,00	3,00
Banana – 2º ano	1,00	1,20	1,10	4,00
Cacau	1,00	1,05	1,05	3,00
Café – em fase de crescimento	0,90	0,95	0,95	2 a 3
Café em grãos	1,05	1,10	1,10	2 a 3

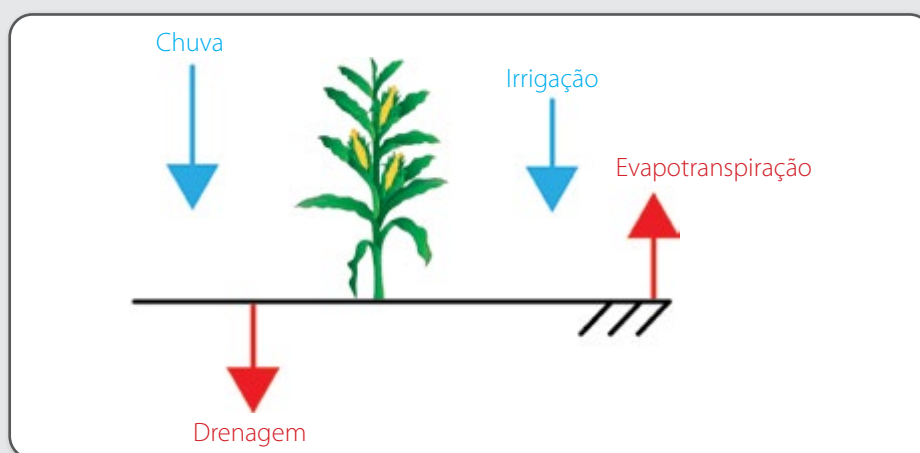
Fonte: Villas Bôas et al., 2009.

Substituindo os valores, obtém-se o valor de ET_c , ou seja, quanto houve de perda de água pela cultura por ET_c . Esse valor é considerado com a lâmina líquida de irrigação a ser aplicada. Considerando-se a eficiência do sistema, tem-se então a lâmina bruta a ser aplicada.

4.6 BALANÇO HÍDRICO NO CONTROLE DA IRRIGAÇÃO

Consiste em contabilizar evapotranspiração, chuvas, irrigação, armazenamento de água do solo e drenagem (Figura 37). Assim, deve-se proceder à irrigação quando o armazenamento de água do solo atingir o valor crítico.

Figura 37 – Representação do balanço hídrico no solo.



Fonte: Luiz Ricardo Sobenko.

Na Tabela 13, apresenta-se um exemplo de balanço hídrico, mostrando o momento da irrigação e a quantidade a se irrigar.

Tabela 13 – Exemplo de balanço hídrico no controle da irrigação.

DIA	ECA (mm)	K_p	ET_o ($ECA \times K_p$) (mm)	K_c	ET_c ($ET_o \times K_c$) (mm)	Chuva (mm)	Irrigação (mm)	DRA	
								Início	Final
								(mm)	
1	5,3	0,75	3,975	1,1	4,373	0		27,300	22,93
2	5,5	0,70	3,850	1,1	4,235	0		22,930	18,695
3	4,9	0,85	4,165	1,1	4,582	0		18,695	14,113
4	5,2	0,85	4,420	1,1	4,862	0		14,113	9,251
5	5,0	0,75	3,750	1,1	4,125	0		9,251	5,126
6	5,2	0,75	3,900	1,1	4,290	0		5,126	0,836
7	5,0	0,75	3,750	1,1	4,125	0	26,46	27,300	23,175
8	5,1	0,75	3,825	1,1	4,208	0		23,175	18,967
9	5,0	0,85	4,250	1,1	4,675	17		27,300	22,630

Fonte: Robson André Armindo.

Quando a DRA (disponibilidade real de água para a cultura) atingiu o ponto crítico, próximo de 0, procedeu-se à irrigação, no valor de 26,46 L/m² (27,3 – 0,836) para que o solo retornasse à condição inicial de 27,3 mm, ou seja, foi reposta a lâmina de água perdida por evapotranspiração no sétimo dia.

4.7 REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DE TEMPO (TDR)

Outra maneira de se realizar a medição da umidade do solo é por meio de diversos equipamentos, como o TDR. Com esse equipamento mede-se a constante dielétrica do solo, que varia em função da umidade (Figura 38). Entre os métodos empregados para medidas de umidade do solo, esse tem sido considerado como um dos mais adequados, pois permite calcular de forma simples a permissividade dielétrica do meio (VALERO, 2006).

Figura 38 – Exemplo de equipamento TDR.



Fonte: Campbell Scientific.

4.7.1 Princípio de funcionamento

O método se baseia na emissão de um pulso elétrico, por um gerador de pulso, que é propagado ao longo de uma haste inserida no solo, onde ocorre a reflexão do pulso. A leitura da reflexão é feita com o auxílio de um osciloscópio e, a partir do tempo de reflexão do pulso, é calculado a constante dielétrica no solo.

As determinações utilizando o equipamento TDR em solos envolvem medidas da propagação de sinais ou ondas eletromagnéticas (EM). O aparelho TDR é formado por hastes paralelas como condutores (Figura 39) e o solo (onde as hastes estão fixadas) serve como meio dielétrico, atuando como guia de onde o sinal é propagado como uma onda plana no solo. Esse sinal é refletido e retorna para o receptor TDR, onde a velocidade de propagação e amplitude do sinal refletido são utilizadas na medição e análise.

Figura 39 – Equipamento TDR com hastes.



Fonte: Surechem Sdn. Bhd.

Assim, calcula-se a constante dielétrica, por meio da equação (11).

$$\varepsilon = \left(\frac{c \cdot t}{2 \cdot L} \right)^2 \quad (11)$$

em que:

ε : constante dielétrica do solo, adimensional;

c: velocidade de propagação de onda EM no vácuo, $2,9979 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;

t: tempo de percurso do sinal, s;

L: comprimento das linhas de transmissão, m.

Com o valor da constante dielétrica do solo, Topp (1987) apresentou a uma relação empírica para determinação da umidade volumétrica do solo (θ) para qualquer tipo de solo. Entretanto, recomenda-se realizar o processo de calibração para cada solo onde se deseja manejar a irrigação, uma vez que a relação de Topp (1987) não proporciona bons resultados práticos. Assim, faz-se necessária a utilização de dados de umidade real do solo, para construção de uma curva de calibração, pois possuem maior exatidão quando obtidas para cada tipo de solo em estudo.

4.7.2 Vantagens e desvantagens

A principal vantagem do uso da TDR está na realização de um ensaio não destrutivo no solo. Quando devidamente calibrado, o equipamento apresenta grande precisão e exatidão das leituras. Como desvantagens, têm-se o alto custo de aquisição e o trabalhoso processo de calibração.

4.8 MÉTODO DAS PESAGENS (FRASCO DE PAPADAKIS)

Outro método para obtenção da umidade do solo é o método conhecido método do balão volumétrico e foi desenvolvido por Papadakis (1941) e melhorado posteriormente por Klar et al., (1966). Para determinar a umidade do solo via método das pesagens, é necessária calibração do mesmo para cada tipo de solo, a fim de se verificar e conhecer a massa padrão. Uma vez feita a calibração e determinado o procedimento padrão, a determinação do conteúdo de água no solo procede utilizando-se um balão volumétrico de capacidade de 500 mL, no qual é adicionado 250 mL de água e 100g de solo da área a ser analisada. Completa-se o balão com água e a quantidade de água no solo será obtida por meio do conhecimento da massa de solo úmido em função da massa padrão predeterminada, juntamente com a densidade do solo.

Como vantagem, esse método apresenta rapidez em relação aos demais métodos, principalmente na determinação em campo, além de baixo custo e não ser necessário o uso de equipamentos sofisticados. Como limitante, tem-se a necessidade, em campo, dos equipamentos utilizados.

Exemplo 3:

Em laboratório, colocou-se 100 g de solo seco em um balão de 500 mL. Completando-se o volume com água, obteve-se a massa padrão M de 120,35 g. Em campo, coletou-se a amostra que se deseja obter a umidade, colocando-se 100 g dessa amostra no referido balão. Após completar o volume com água, obteve-se a massa M^* de 106,45 g. Pede-se a umidade gravimétrica dessa amostra.

$$U^* = (M - M^*) \times \left(\frac{\rho_p}{\rho_p - 1} \right)$$

$$U^* = (120,35 - 106,45) \times \left(\frac{2,65}{2,65 - 1} \right)$$

$$U^* = 13,9\%$$

Com a U^* calcula-se a umidade gravimétrica do solo (U).

$$U(\%) = \left[\frac{100U^*}{100 - U^*} \right]$$

$$U(\%) = \left[\frac{100 \times 13,9}{100 - 13,9} \right]$$

$$U = 16,14\%$$



REFERÊNCIAS

- ANDRADE, N. C. M.; VANZELA, S. L. **Manejo da irrigação via solo**. Ilha Solteira. UNESP, 2002. Trabalho de pós-graduação – UNESP, Ilha Solteira. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/lsvmanejoirrigacao.htm>>. Acesso em: out. 2012.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 611 p.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 656 p.
- CAMPBELL SCIENTIFIC, 2013. Disponível em: <<http://www.campbellsci.com/tdr100>>. Acesso em: nov. 2012.
- CIENTEC – Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas – Irriga – Informações Técnicas. Disponível em: <http://www.cientec.net/cientec/InformacoesTecnicas_Irriga/Solo_UmidadedoSolo.asp>. Acesso em: mar. de 2013.
- DALTON, F. N. Development of Time-Domain Reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. **Soil Science Society of America**, Special Publication, n. 30, 1993.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Yield response to water. **FAO**. Irrig. and Drain. Paper 33, 1979, 193 p.
- EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Uso de tensiômetro na irrigação do coqueiro**. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/tensiometro.pdf>>. Acesso em: fev. 2013.
- EMBRAPA SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UVA DE MESA NO NORTE DO PARANÁ. **Manejo da irrigação**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteParana/irrigacao.htm>>. Acesso em: jan. 2013.
- FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP. **Estação climatológica de Marinópolis**. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/fotos_estacao2.htm>. Acesso em: nov. 2012.
- FOLEGATTI, M. V. **Métodos de manejar uma cultura irrigada**. 2003. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Folegatti/leb1571/04_Metodosdemanejo.pdf>. Acesso em: out. 2012.
- HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação**. Disponível em: <<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em: out. 2012.
- HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.html>>. Acesso em: nov. 2012.
- IF BAIANO CAMPUS CATU. **Necessidades hídricas das culturas**. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/tsoria/manejo-de-irrigao>>. Acesso em: nov. 2012.
- KLAR, A. E. et al. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. **Anais**. Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, v. 23, 1966.
- MANIERI, J. M. et al. Sonda espiral de TDR a medida da umidade no perfil do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 191-198, 2007.

MANTOVANI, E. C. et al. **Uso do DUPEA para determinação do teor de umidade do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1986. 15 p.

MARQUELLI A. W.; SILVA L. C. W. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Circular Técnica 98**, Brasília-DF, 2. ed., 1998. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/bbeletronica/2011/ct/ct_98.pdf>. Acesso em: fev. 2013.

PAPADAKIS, J. S. **A Rapid Method for Determining Soils Moisture Soil Science**, v. 51, p. 279-281, 1941.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. 2015. **Física do solo**: com problemas resolvidos. 2 ed. rev. e ampl. Curitiba. 474p.

SAAD, A. M. **Uso do tensiômetro de faixas em pivô central**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.html>>. Acesso em: out. 2012.

SENTELHAS, P. C. Z.; FOLEGATTI, M. V. Cass A pan coeficientes (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, PB, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.

SOIL CONTROL. **Tensiômetro com Transdutor Analógico**. Disponível em: <<http://www.soilcontrol.com.br/produto/123521/tensiometro-com-transdutor-analogico.aspx>>. Acesso em: fev. 2013.

SURECHEM SDN. BHD. **Trase soil moisture measuring system**. 2013. Disponível em: <http://www.surechem.com.my/product_info.php?uid=901003-100097>. Acesso em: out. 2013.

TOPP, G. C. The application of Time-Domain Reflectometry (TDR) to soil water content measurerent. **International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status**. July 6-10, p. 85-92, 1987.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Projeto piloto de conservação dos recursos de solo e água e irrigação coletiva nas microbacias hidrográficas dos córregos Sucuri, Bacuri e Macumã em Palmeira D'Oeste-SP**. 2000. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/noroeste/noroeste.htm>>. Acesso em: nov. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. **Manejo da irrigação**. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Pos-graduacao/Agricultura%20Irigada/Manejo%20da%20irrigacao.pdf>>. Acesso em: nov. 2012.

VILLWOCK, R. et al. Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 82-88, 2004.

VILLAS BÔAS, R. L. et al. **Manejo de irrigação**: um guia prático para o uso racional da água. 21 ed. Botucatu: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2009. 136 p.

ZEGELIN, S. L. et al. A critique of the Time-Domain Reflectometry technique for determining fieldsoil water content. In: TOPP, G.C; REYNOLDS, W.O.; GREEN, R.E. (eds). **Advances in measurements of soil physical properties: Bringing Theory into practice**. Madison, 1992, p.187-208.

Com a crescente necessidade de alimentos, a agricultura é cada vez mais forçada a se reinventar para que o aumento da produtividade das culturas consiga suprir a demanda. A irrigação é uma das técnicas que mais auxiliam nesse aumento de produção, sendo que a necessidade de água é um fator de extrema limitação em nosso país. A adubação é também uma técnica de grande relevância no Brasil, levando-se em consideração que os nossos solos apresentam-se altamente intemperizados e pobres em nutrientes e fertilidade natural. O uso dessas duas atividades em conjunto no sistema produtivo pode acarretar em grandes aumentos na produtividade, já que a adubação por meio da água e sistema de irrigação possibilita o fornecimento de nutrientes em quantidades e em momentos adequados a necessidade da cultura. Segundo Testezlaf (20--), a quimigação apresenta inúmeras vantagens, entre elas: o aproveitamento do sistema de irrigação; a economia de mão de obra, maquinário e combustíveis que seriam utilizados na aplicação de adubos via solo; a melhor distribuição dos nutrientes; a melhor absorção pelas plantas; a diminuição da lixiviação; a possibilidade de aplicação em diversas fases do cultivo; a redução do trânsito de máquinas e a aplicação de micronutrientes. Mas uma das principais vantagens é o melhor aproveitamento dos nutrientes pela planta, uma vez que a adub  o torna-se mais eficiente. Como exemplo, na Tabela 14 mostram-se incrementos na produtividade de algumas culturas cultivadas com fertirrigação por gotejamento e sem fertirrigação.

Tabela 14 – Efeito da fertirrigação em relação   adubação convencional na produtividade em sistemas irrigados por gotejamento.

Cultura	Fertirrigação (t/ha)	Adubação convencional (t/ha)
Batata	70	37
Cenoura	54	42
Tomate (cultivo protegido)	350	150
Tomate (campo)	180	55
Pepino	300	140
Morango	48	20

Fonte: Garcia et al., 2003. Agrianual, 2005 apud Brito, (2012)

Testezlaf (20--) também comenta sobre as desvantagens desse método, como entupimento de emissores, reação química entre os fertilizantes dentro do sistema ocasionando precipitação, aumento da salinidade da água, corrosão de componentes metálicos e contaminação das fontes de  gua.

Assim, tornam-se necessários cuidados e a realização de manejo correto da fertirrigação. Primeiramente, deve-se dimensionar corretamente o sistema de irrigação para que este promova boa uniformidade de aplicação e seja possível a utilização para aplicação de fertilizantes. Depois,

para que não ocorram as desvantagens citadas, devem-se também observar os aspectos quanto ao tipo de fertilizantes e suas características, como compatibilidade entre nutrientes, tipo mais adequado, solubilidade dos adubos, entre outros.

5.1 FERTILIZANTES UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

De acordo com Borges e Silva (2011) os fertilizantes utilizados estão divididos em sólidos e líquidos, apresentando-se em misturas em suspensão, além de soluções claras e coloidais.

Os produtos sólidos devem possuir alta solubilidade, sendo os nitrogenados os mais solúveis, os fosfatados pouco utilizados e os potássicos com moderação e cuidado já que o cloreto, mais utilizado, em sua forma de cor branca contém alumínio, que é tóxico as plantas, e na de cor vermelha possui ferro em excesso. No caso das misturas em suspensão, há a mistura de formulações fluidas com cloreto de potássio, onde grande parte do potássio é mantida em suspensão pelo uso de argilas. Sendo assim, esse tipo de fertilizante não é recomendado para irrigação localizada, pois seus emissores possuem bocais de menor diâmetro e são facilmente entupidos pela suspensão. Já as soluções coloidais dos produtos líquidos são resultantes da reação do ácido fosfórico com a amônia, sendo viscosas e espessas, diferentes das soluções claras, que são puras. Essas podem conter micronutrientes que são adicionados também para manter a estabilidade da formulação (BORGES; SILVA, 2011).

Os fertilizantes também podem ser divididos em grupos dos elementos constituintes.

5.1.1 Nitrogenados

São muito aplicados na quimigação; recomenda-se seu parcelamento devido à alta mobilidade e elevada salinidade. Podem-se ter adubos nitrogenados de efeito ácido ou alcalino, tendo como regra: NO_3^- alcalino, NH_4^+ ácido, NH_4NO_3 ácido e NH_2 ácido. Os mais utilizados são a ureia, o sulfato de amônio, o nitrato de alumínio e a solução líquida uran (BORGES; SILVA, 2011). Na Tabela 15, mostram-se os valores de concentração, solubilidade, índice salino e outras características dos principais fertilizantes nitrogenados usados.

Tabela 15 – Características dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração do nutriente (g/kg)		Solubilidade (g/L) (1)	Índice salino (2)	Índice salino/ unidade (3)	Índice acidez/ basicidade (4)
	N	Outros				
Nitrato de amônio	340	-	1900	105	3,28	60
Nitrato de cálcio	140	280 Ca	1200	61	4,07	Básico
Nitrato de magnésio	70-110	100-160 MgO	-	-	-	Básico
Nitrato de potássio	130	460 K ₂ O	310	74	1,30	Básico
Sulfato de amônio	200	240 S	730	69	3,45	110
Ureia	450	-	1000	75	1,70	71
Nitrato de sódio	160	-	730	100	6,25	Básico
Uran	320	-	-	-	-	-
DAP	170	400 P ₂ O ₅	400	34	0,56	88
MAP	110	440-600 P ₂ O ₅	220	30	0,53	60
MAP + ureia	125	125 P ₂ O ₅	-	-	-	-
Magnitra-L	70	100 MgO	-	-	-	-

(1) solubilidade a 20 °C

(2) relativo ao índice salino do nitrato de sódio, considerado 100

(3) índice salino dividido pelo teor de N no fertilizante x10

(4) quantidade de CaCO₃ para neutralizar 100kg do adubo

Fonte: Frizzone; Botrel, 1994, Vitti et al., 1994, apud Borges e Silva, 2011.

5.1.2 Fosfatados

Segundo Borges e Silva (2011), a utilização de adubos fosfatados é pouco realizada devido a sua baixíssima mobilidade e sua afinidade em reagir com diversos elementos e compostos. Porém, com a utilização de fósforo em fertirrigação localizada pode-se aumentar seu movimento, quando em comparação a adubação convencional. Isso ocorre devido à saturação dos sítios de fixação com o elemento, já que ele pode ser aplicado em menor área, como exemplo o bulbo de molhamento, e não em toda a superfície, como exemplo em uma adubação de cobertura.

O ácido fosfórico possui alta concentração de P₂O₅ (460 a 760g/L) e é amplamente utilizado na fertirrigação, assim como o MAP (fosfato monoamônico) e o DAP (fosfato diamônico) (Tabela 15), mesmo com alto poder corrosivo, podendo assim também ser utilizado para desentupimento de emissores (BORGES; SILVA, 2011).

5.1.3 Potássicos

São amplamente utilizados devido à sua alta solubilidade, porém são altamente móveis, sendo recomendado o seu parcelamento em pequenas quantidades a cada aplicação, com a finalidade de evitar a lixiviação desse elemento (BORGES; SILVA, 2011). A Tabela 16 contém características como concentração, solubilidade, índice salino e outras dos principais fertilizantes potássicos utilizados.

Tabela 16 – Características dos fertilizantes potássicos utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração do nutriente (g/kg)		Solubilidade (g/L) (1)	Índice salino (2)	Índice salino/unidade (3)	Índice acidez/basicidade
	K ₂ O	Outros				
Cloreto de potássio	600	480 Cl	340	115	1,98	Neutro
Nitrato de potássio	440	140 N	320	74	1,30	Básico
Sulfato de potássio	520	170 S	110	46	0,96	Neutro
Nitrato de sódio e potássio	140	140 N	-	31	-	Básico
Sulfato de potássio e magnésio	220	220 S + 110 Mg	290	43	-	-
Fosfato Monopotássico	340	520 P ₂ O ₅	-	-	-	-

(1) solubilidade a 20 °C

(2) relativo ao índice salino do nitrato de sódio, considerado 100

(3) índice salino dividido pelo teor de K₂O no fertilizante x10

Fonte: Frizzzone; Botrel, 1994; Vitti et al., 1994; apud Borges e Silva 2011.

5.1.4 Cálcio, magnésio e enxofre

Devido às limitações da aplicação de cálcio via água de irrigação, a necessidade do solo e do cultivo para esse elemento deve ser suprida por meio da calagem. O magnésio pode ser suprido com a aplicação de sulfato de magnésio, que é altamente solúvel (Tabela 16). Já o enxofre, normalmente, é suprido com a aplicação de fertilizantes carreadores de macronutrientes, como sulfato de potássio (Tabela 16) e sulfato de amônio (Tabela 14) (BORGES; SILVA, 2011).

5.1.5 Micronutrientes

Segundo Borges e Silva (2011), micronutrientes como Zn, Fe, Cu e Mn podem precipitar e entupir partes do equipamento, por isso são amplamente utilizados sob a forma de quelatos. Nessa forma, os micronutrientes ficam solúveis e dificilmente reagem com outras. Para aplicação desses elementos, faz-se necessária atenção à compatibilidade com os demais utilizados na fertirrigação (Tabela 18). Na Tabela 16 apresentam-se a concentração e a solubilidade dos principais fertilizantes com micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Tabela 17 – Características dos fertilizantes com micronutrientes utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Concentração de nutriente (g/kg)	Solubilidade (g/L)
Sulfato de cobre	250 de Cu	220
Sulfato de manganês	280 de Mn	1050
Sulfato manganoso ($\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	270 de Mn	7,42
Molibdato de sódio	390 de Mo	560
Molibdato de amônio	480 de Mo	400
Sulfato de zinco	220 de Zn	750
Quelato de zinco	140 de Zn	-
Ácido bórico	160 de B	50
Bórax	110 de B	50
Solubor [$(\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$]	200 de B	220
Sulfato de ferro	190 de Fe	240
Tenso TM Fe	60 de Fe	Alta
Quelato de Fe (NaFeEDDHA)	60 de Fe	140
Hydroplus TM Micro	30 de B + 120 de Cu + 38 de Fe-EDTA + 32 de Fe-DTPA + 120 de Mn + 41 de Mo + 140 de Zn	-
Tenso Cocktail	5,2 de B + 25,7 de Ca-EDTA + 5,3 de Cu-EDTA + 21 de Fe-EDTA + 17,4 de Fe-DTPA + 25,7 de Mn-EDTA + 1,3 de Mo + 5,3 de Zn-EDTA	Alta

Fonte: Villas Bôas et al., 1994, Vitti et al., 1994, apud Borges e Silva, 2011.

5.2 COMPATIBILIDADE ENTRE OS FERTILIZANTES

Segundo Borges e Silva (2011), esse aspecto deve ser observado com a finalidade de evitar a precipitação dos elementos, aplicando-se produtos incompatíveis com um intervalo mínimo de 4 dias.

Na Tabela 18, pode-se observar o resultado da mistura de alguns tipos de fertilizantes quanto à compatibilidade.

Tabela 18 – Orientação para mistura de alguns fertilizantes na fertirrigação com base na compatibilidade.

Compatibilidade entre os fertilizantes empregados na fertirrigação															
Fertilizante		UR	NA	SA	NC	NK	CK	SK	FA	MS	MQ	SM	AF	AS	AN
Ureia	UR	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de amônio	NA			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio	SA				I	C	C	SR	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio	NC					C	C	I	I	I	SR	I	I	I	C
Nitrato de potássio	NK						C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio	CK							SR	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio	SK								C	SR	C	SR	C	SR	C
Fosfatos de amônio: MAP e DAP	FA									I	SR	I	C	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn, sulfato	MS										C	C	I	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn, quelato	MQ											C	SR	C	I
Sulfato de magnésio	SM												C	C	C
Ácido fosfórico	AF													C	C
Ácido sulfúrico	AS														C
Ácido nítrico	AN														-

C: compatível; SR: solubilidade reduzida; I: incompatível.

Fonte: Villas Bôas et al., 1999, apud Pinto et al., [200-].

Borges e Silva (2011) também comentam que se deve observar a fonte de água de irrigação utilizada, pois em alguns locais há o que se conhece por “águas duras”, que são ricas em cálcio e magnésio, e esses se tornam insolúveis com fosfatos e sulfatos.

5.3 CORROSIVIDADE DOS FERTILIZANTES

Varia conforme elementos constituintes do fertilizante e pode comprometer o funcionamento do sistema de irrigação dependendo do material em que foi montado, sendo os de materiais plásticos notavelmente mais resistentes que os materiais metálicos (BORGES; SILVA, 2011).

Na Tabela 19, mostra-se a corrosividade relativa de alguns compostos em relação aos materiais utilizados nos sistemas de irrigação.

Tabela 19 – Corrosão relativa dos fertilizantes dissolvidos na água em relação a diversos metais.

Fertilizante	pH	Alumínio	Cobre	Bronze	Aço	Aço galvanizado	Aço inoxidável
Ureia (solução)	8,0	C	SC	C	SC	SC	SC
Nitrato de amônio	7,0	BC	BC	BC	BC	BC	BC
Ureia-nitrato de amônio	8,0	C	C	C	C	BC	SC
Amônia líquida	9,0	SC	BC	BC	SC	SC	SC
Sulfato de amônio	5,0	BC	MC	MC	MC	MC	MC
Nitrato de cálcio	5,0	SC	BC	BC	BC	C	SC
Nitrato de sódio	8,0	C	SC	SC	BC	BC	SC
Ácido fosfórico	1,0	MC	MC	MC	MC	MC	SC
Fosfato diamônico (DAP)	6,0	MC	MC	MC	-	-	BC
Polifosfato de amônio	6,0	C	BC	BC	SC	BC	SC

SC: sem corrosividade; BC: baixa corrosividade; C: corrosividade a elevada concentração; MC: muito corrosivo.

Fonte: Borges; Silva, 2011.

Para diminuir a corrosão das partes do equipamento Borges e Silva (2011) recomendam que o sistema seja utilizado com água pura por cerca de 30 minutos após a fertirrigação, assim os compostos corrosivos são parcialmente lavados e retirados do sistema.

5.4 SALINIDADE DOS FERTILIZANTES

Quando a fertirrigação é planejada e manejada de forma incorreta, problemas diversos podem surgir, entre eles o acúmulo de sais no solo. Algumas plantas apresentam determinada resistência ou tolerância à salinidade, através de mecanismos fisiológicos específicos, porém quanto maior a concentração de sais no solo, menor será a capacidade das raízes absorverem água e com isso, todos os seus processos são prejudicados, inclusive a produtividade (BORGES; SILVA, 2011).

Nas Tabelas 15 e 16, apresenta-se o índice salino de alguns fertilizantes.

5.5 ACIDIFICAÇÃO CAUSADA PELOS FERTILIZANTES

Segundo Borges e Silva (2011), a mudança no pH do solo pode ser prevista por meio da observação da acidez ou basicidade dos fertilizantes a serem utilizados; que por sua vez é fruto das reações dos seus elementos e compostos com as frações e elementos presentes na solução do solo. As Tabelas 15 e 16 apresentam índices de acidez ou basicidade de alguns fertilizantes comumente empregados.

5.6 SOLUBILIDADE DOS FERTILIZANTES

De acordo com Borges e Silva (2011), devem-se escolher fertilizantes que apresentam alta solubilidade, a fim de que a concentração dos elementos na solução nutritiva seja semelhante a calculada para aplicação. Esse poder de dissolução dos compostos é função da temperatura da água de irrigação. Essa deve estar próxima de 20 °C, já que em menores temperaturas os produtos tornam-se menos solúveis e fertilizantes com impurezas e aditivos devem ser evitados (BORGES; SILVA, 2011). Nas Tabelas 15, 16 e 17, mostram-se valores de solubilidade dos fertilizantes mais utilizados.

5.7 NECESSIDADES DE NUTRIENTES

Como na adubação convencional, a quantidade de nutrientes a ser aplicada deve ser corretamente calculada para que não haja prejuízos ao produtor e ao meio ambiente (ARAUJO et al., 2011). Assim, a estimativa de adubação deve se iniciar com conhecimentos acerca da cultura e do solo. Conhecimentos como extração da cultura durante o ciclo, necessidade para determinada produtividade, quantidade de nutrientes na água de irrigação, quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer e eficiência de absorção desses elementos no sistema de irrigação são indispensáveis para se obter a necessidade da cultura (DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993; PAPADOPOULOS, 1990 apud ARAUJO et al., 2011).

A capacidade que o solo possui de fornecer os elementos aplicados é função da profundidade e volume do sistema radicular explorado pela cultura, da densidade do solo e dos nutrientes disponíveis, todos obtidos mediante análise do solo (ARAUJO et al., 2011).

Segundo Araujo et al. (2011), essa necessidade também pode ser estimada através do uso de recomendações de adubação já estudadas e próprias para a região, onde a produtividade esperada e a quantidade de nutrientes que o solo é capaz de oferecer a cultura são aspectos levados em consideração.

5.8 FREQUÊNCIA DE APLICAÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES

De acordo com Araujo et al. (2011), o intervalo entre uma fertirrigação e outra é função de vários fatores, como: sistema de irrigação, salinidade do solo, tipo de adubo utilizado, taxa de absorção pela planta, entre outros. Elementos que são altamente móveis no solo tendem a lixiviar mais facilmente, então recomenda-se maior fracionamento da dose necessária durante o ciclo; também deve-se observar as características físicas do solo em questão. Solos de textura mais grossa (arenosa) necessitam de maior frequência de aplicação, pois têm excelente drenagem e baixa capacidade de reter água e nutrientes, já os solos de texturas mais finas (argilosos) podem receber fertirrigações menos frequentemente, pois retêm mais água e nutrientes. Araujo et al. (2011) comenta que, para um sistema de irrigação por gotejamento em um solo arenoso, é recomendada a fertirrigação entre 1 e 2 dias, já no caso de um solo argiloso esse intervalo pode variar entre 2 e 7 dias.

De modo geral, aplicações de nutrientes com maior frequência e maior fracionamento das doses promovem a minimização de perdas por lixiviação aumentando a eficiência da adubação, gerando assim aumento na produtividade das culturas (SOUSA, 1993; PINTO et al., 1993; COELHO et al., 2003 apud ARAUJO et al., 2011). Aplicações menos frequentes e mais concentradas possuem soluções mais salinas, o que pode alterar o potencial osmótico e a condutividade elétrica da solução do solo para níveis que alterem os mecanismos e processos das plantas, diminuindo assim a produtividade (ARAUJO et al., 2011).

Papadopoulos (1999) apud Araujo et al. (2011) explica que a taxa absorção dos macronutrientes, especialmente os primários (N, P, K), é semelhante a taxa de acúmulo de matéria seca, sendo essa então um parâmetro para o fracionamento das doses, já que a velocidade de absorção dos elementos é de difícil conhecimento.

5.9 PREPARO E APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

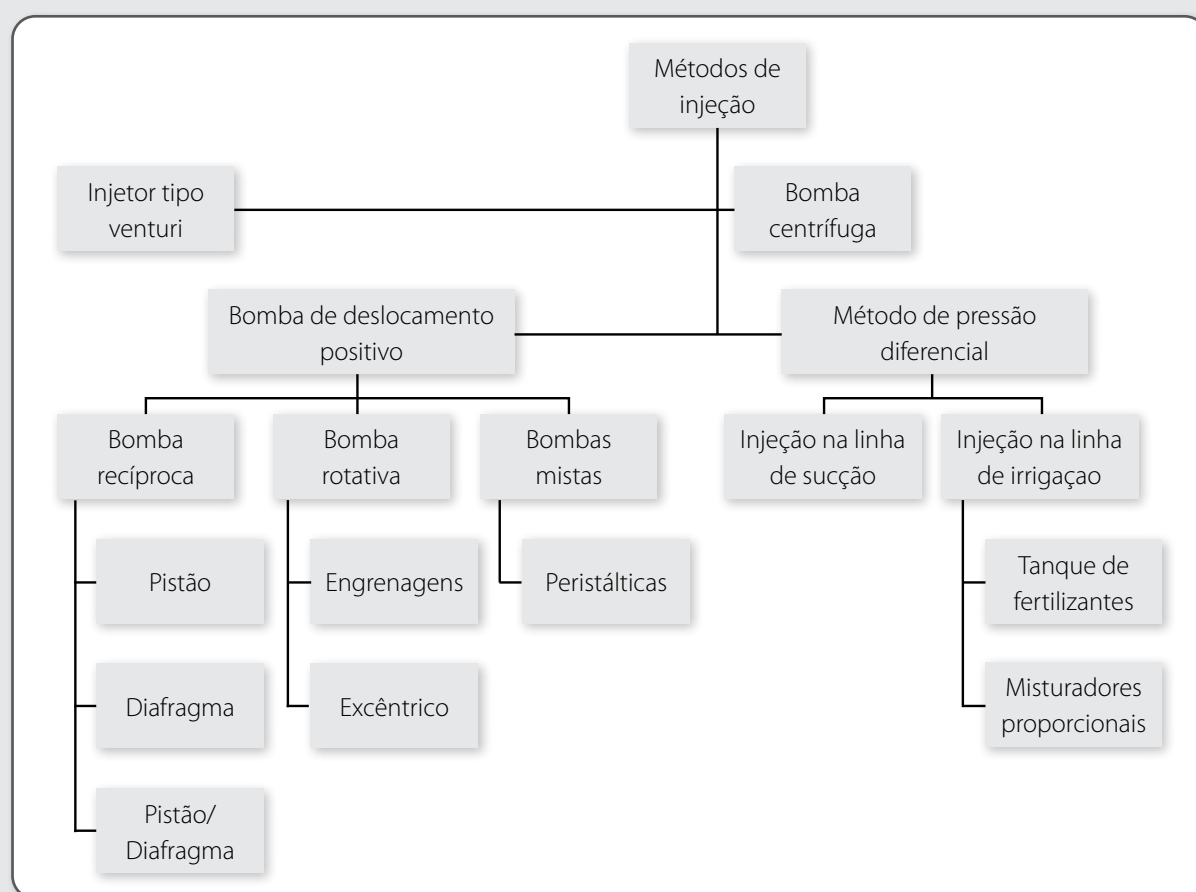
Para boa solubilidade dos adubos utilizados o pH da solução nutritiva, que contém os elementos e adubos em alta concentração para serem distribuídos pelo sistema, deve ter pH em torno de 5,5 a 6,5 (SOUSA et al., 1999 apud ARAUJO et al., 2011).

De acordo com Araujo et al. (2011), a aplicação da solução nutritiva deve ser iniciada quando o sistema já estiver em funcionamento, com aproximadamente 25% do tempo de irrigação concluído, deixando os últimos 25% do tempo livre de solução para que seja feita a limpeza do sistema. Sendo assim, em 50% do tempo de irrigação deve se aplicar toda a solução nutritiva. Shani et al. (1981), Frizzone et al. (1985) apud Araujo et al. (2011) recomendam que esse tempo não seja inferior a 30 minutos, já que avaliações de campo mostram que somente após 22 minutos há completa uniformidade de aplicação da solução pelos emissores da linha de funcionamento.

5.10 MÉTODOS DE INJEÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Segundo Testezlaf [20--], os diversos métodos de injeção química podem ser agrupados em quatro principais tipos: bomba centrífuga, bomba de deslocamento positivo, método de pressão diferencial e métodos baseados no princípio de Venturi (Figura 40), sendo que alguns desses métodos podem ser utilizados em conjunto.

Figura 40 – Esquema dos grupos de métodos de injeção.



Fonte: Testezlaf, [20--].

Na Tabela 20, apresenta-se um comparativo entre as vantagens e desvantagens dos diversos métodos de injeção de solução nutritiva.

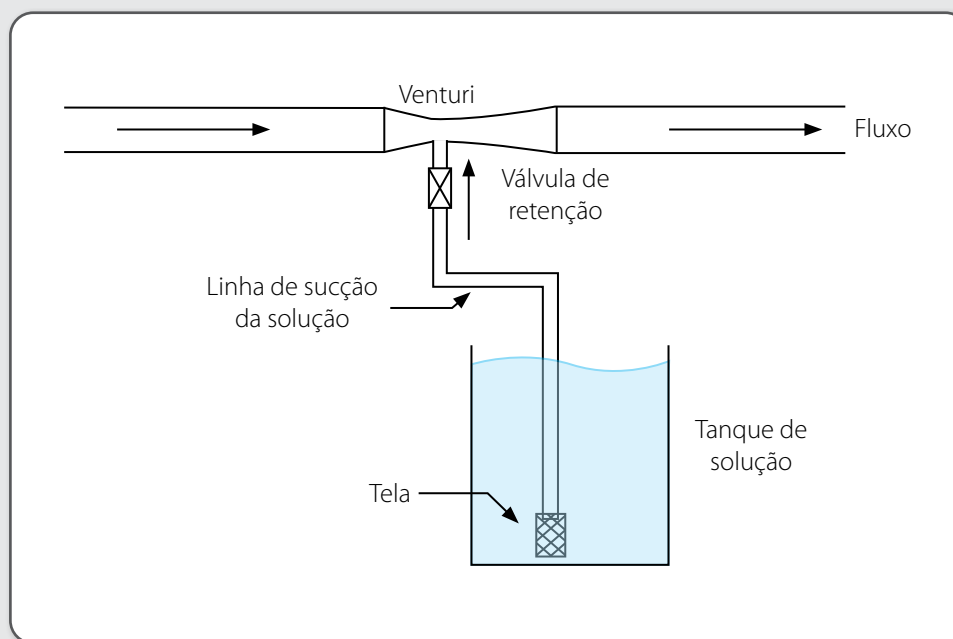
Tabela 20 – Comparativo dos vários métodos de injeção de solução química.

TIPO DE INJEÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Bomba centrífuga	Baixo custo. Pode ser calibrada durante o funcionamento.	Calibração depende da pressão do sistema.
Bomba de pistão	Alta precisão. Calibração linear. Calibração independe da pressão. Funciona para altas pressões.	Alto custo. Pode necessitar de parada para ajustar a calibração. Vazão da solução química não é contínua.
Bomba de diafragma	Ajuste da calibração durante o funcionamento. Alta resistência a produtos químicos.	Calibração não é linear. Calibração depende da pressão do sistema. Custo médio e alto dependendo da bomba. Vazão da solução química não é contínua.
Bomba pistão/diafragma	Alta precisão. Calibração é linear. Alta resistência a produtos químicos. Funciona para altas pressões. Calibração independe de pressão.	Alto custo. Pode necessitar de parada para ajustar a calibração.
Bomba peristáltica	Alta resistência a produtos químicos. Ajustes podem ser feitos fazendo a troca do tamanho do tubo. A taxa de injeção pode ser ajustada durante o funcionamento.	Taxa de injeção depende da pressão do sistema. Pressão de funcionamento é baixa e média.
Venturi	Baixo custo. Uso simples. Calibração durante operação. Maior precisão na taxa de injeção de fertilizantes.	Calibração depende do nível do produto no depósito. Necessita de diferencial de pressão. Variação na concentração química. Não pode ser calibrado para uma taxa de injeção constante.
Misturador proporcional	Baixo e médio custo. Calibração durante operação. Maior precisão na taxa de injeção de fertilizantes.	Necessita de diferencial de pressão. Variação na concentração da solução química. O volume de solução injetada é limitado pelo tamanho do tanque. Frequente reabastecimento de solução
Tanque misturador sobre pressão	Custo médio. Fácil operação. Volume total de solução química pode ser feito com precisão.	Necessita de diferencial de pressão. Variabilidade na concentração da solução química. Não pode ser calibrado para taxa de injeção constante.
Combinado composto de bomba principal e auxiliar Venturi e tanque misturador	Médio custo, movido pela energia da água do sistema. Maior precisão que o tanque misturador ou venturi sozinho	Controle relativo da qualidade de produto injetado. Mais caro que o tanque misturador ou venturi sozinho.

Fonte: Testezlaf, [20--].

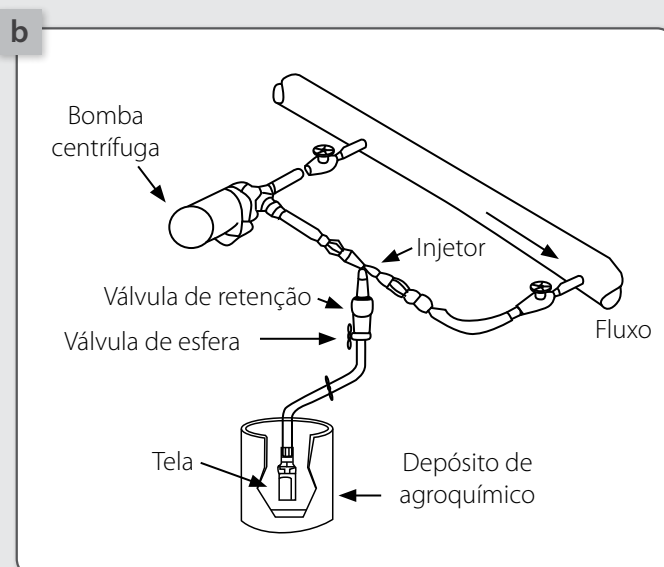
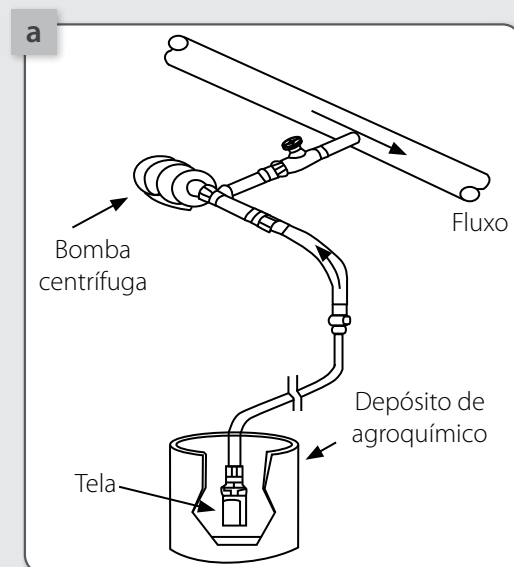
Nas Figuras 42, 43 e 44, mostram-se alguns dos métodos de injeção mais utilizados.

Figura 41 – Injetor venturi instalado na linha principal.



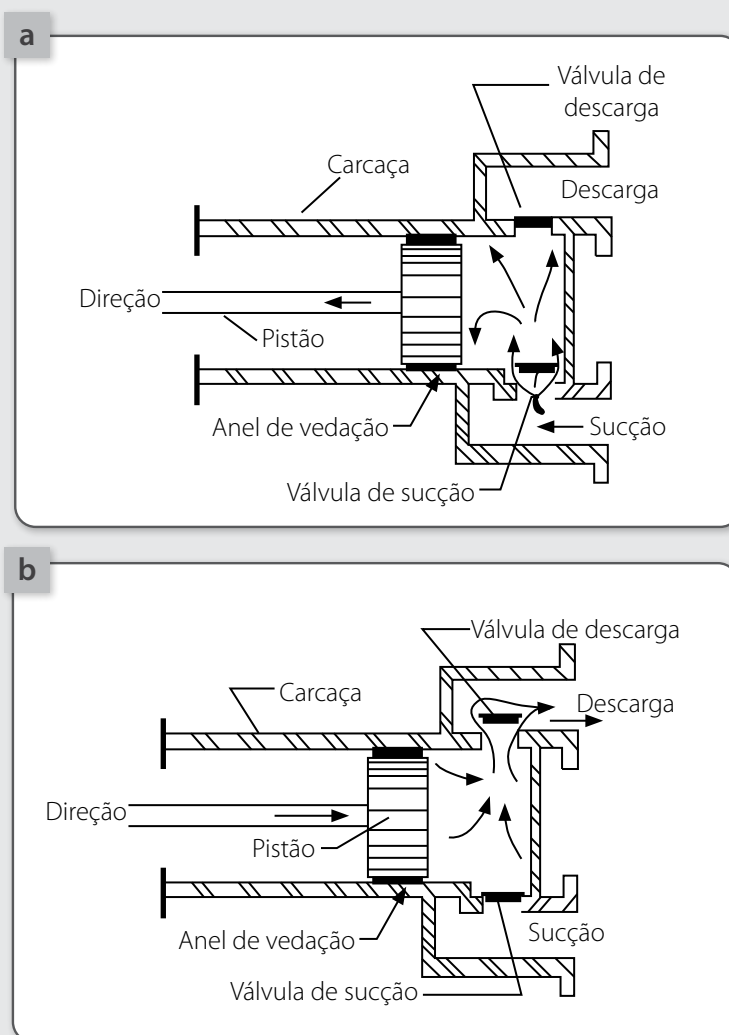
Fonte: Testezlaf, [20--].

Figura 42 – (a) bomba centrífuga; (b) injetor venturi combinado com bomba centrífuga.



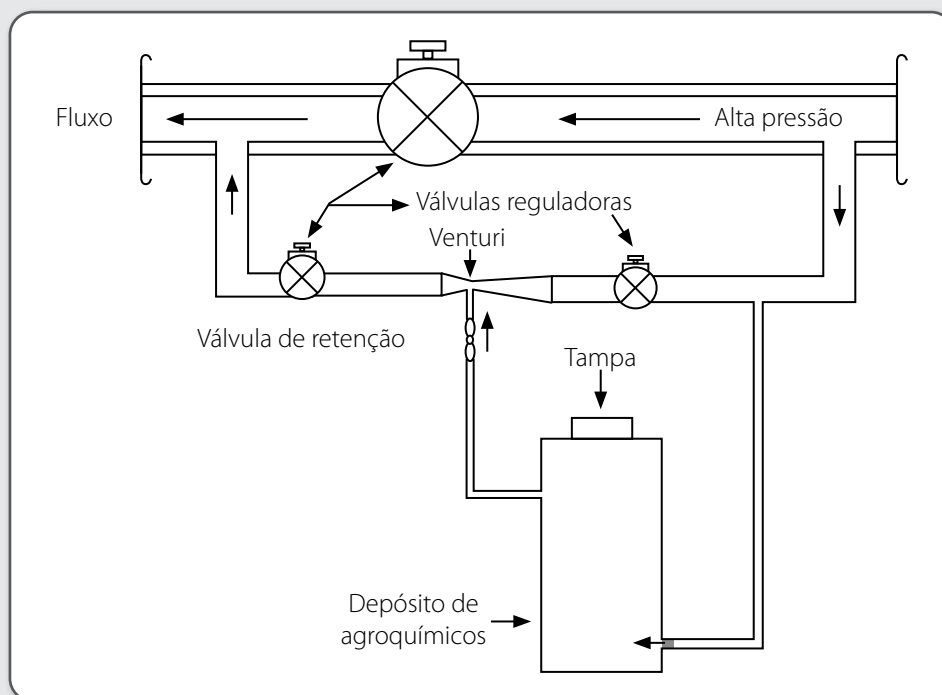
Fonte: Testezlaf, [20--].

Figura 43 – Bomba de pistão de impacto. (a) Posição de admissão; e (b) posição de compressão.



Fonte: Testezlaf, [20--].

Figura 44 – Injetor venturi com tanque sob pressão.



Fonte: Testezlaf, [20--].

5.11 MONITORAMENTO DE FERTIRRIGAÇÃO

De acordo com Vilas Boas e Sousa (2008) apud Araujo et al. (2011), essa prática deve ser efetuada observando-se todos os aspectos que envolvem o processo, desde o monitoramento da água utilizada na irrigação, da solução nutritiva, acompanhamento da aplicação, solução fertirrigada, uniformidade de aplicação até a dinâmica dos nutrientes no solo.

A uniformidade de aplicação é um fator que necessita de extrema atenção caso se adote a fertirrigação, já que o entupimento dos emissores poderá acontecer mais facilmente. Araujo et al. (2011) recomenda que a cada dois meses a uniformidade deve ser verificada e deve estar acima de 90%, verificando-se sempre se há peças entupidas ou com defeito.

Segundo o mesmo autor, deve-se realizar amostragem das soluções fertirrigadas para análise de concentração de nutrientes durante e após a aplicação. Já o monitoramento no solo é efetuado por meio da análise da solução retirada por extratores, como, por exemplo, tubos tensiômetros com seringas para sucção, ou mesmo via amostragem do solo. O acompanhamento do movimento dos elementos no solo é de suma importância na fertirrigação, já que esta pode promover grandes impactos no ambiente quanto a lixiviação e/ou salinização.



REFERÊNCIAS

- ARAUJO, A. R. de et al. Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: SOUSA, V. F. de et al. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 317-337. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55935/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap10.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.
- BORGES, A. L.; SILVA, D. J., Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. de et al. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 253-264. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55933/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap7.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.
- BRITO, E. B., **Fertirrigação: definições, importância e limitações**. Disponível em: <<http://www.ccta.ufcg.edu.br/admin.files.action.php?action=download&id=712>>. Acesso em: jan. 2015.
- PINTO, J. M. et al. **Manejo da fertirrigação**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_53_24112005115222.html>. Acesso em: jan. 2015.
- TESTEZLAF, R., **Métodos de fertirrigação**. [20--]. Disponível em: <<http://webensino.unicamp.br/disciplinas/FA876-055506/apoio/14/fertirriga.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.





NAEB

Núcleo de Atividades de Engenharia de Biosistemas

SISTEMA FAEP



Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar

Fone: (41) 2106-0401

80010-010 - Curitiba - Paraná

e-mail: senarpr@senarpr.org.br

www.sistemafaep.org.br



Facebook
Sistema Faep



Twitter
SistemaFAEP



Youtube
Sistema Faep



Instagram
[sistema.faep](https://www.instagram.com/sistema.faep)



Linkedin
[sistema-faep](https://www.linkedin.com/company/sistema-faep)



Flickr
SistemaFAEP