



Irrigação e Drenagem

Irrigação e Drenagem

Patrícia Ferreira Cunha Sousa

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Carolina Saldanha

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Letícia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Rodrigues, Renato Augusto Soares

R696i Irrigação e drenagem / Renato Augusto Soares
Rodrigues, Patricia Ferreira Cunha Sousa. – Londrina :
Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
232 p.

ISBN 978-85-522-0761-0

1. Irrigação. 2. Drenagem. 3. Agricultura. I. Rodrigues,
Renato Augusto Soares. II. Sousa, Patricia Ferreira Cunha.
III. Título.

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

CDD 630

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Introdução à irrigação e drenagem	7
Seção 1.1 - Introdução à irrigação	9
Seção 1.2 - Uso dos recursos hídricos nas atividades agrícolas	24
Seção 1.3 - Aplicações da irrigação	40
Unidade 2 Água no solo e demanda hídrica	61
Seção 2.1 - Umidade e densidade do solo aplicadas à irrigação	64
Seção 2.2 - Infiltração de água no solo	79
Seção 2.3 - Demanda hídrica das culturas agrícolas	96
Unidade 3 Sistemas de irrigação	115
Seção 3.1 - Irrigação localizada	118
Seção 3.2 - Irrigação de Aspersão	135
Seção 3.3 - Irrigação e Drenagem	155
Unidade 4 Drenagem agrícola	175
Seção 4.1 - Noções de drenagem na agricultura	177
Seção 4.2 - Fatores que influenciam na drenagem agrícola	194
Seção 4.3 - Drenagem subterrânea e drenagem superficial	211

Palavras do autor

Prezado aluno, bem-vindo à disciplina "Irrigação e drenagem".

Desde os primórdios da agricultura, o homem vem utilizando água e seus recursos para o próprio benefício. Com o passar dos séculos, devido à escassez desse recurso, torna-se cada vez mais importante o uso racional da água, por meio dos estudos que veremos no nosso livro didático.

O aprendizado desse material implica conhecer o processo histórico da irrigação e drenagem, além de assimilar os termos técnicos para os cálculos de viabilidade, o uso e manejo da água na agricultura, conhecer os sistemas de irrigação e seus aspectos, além das suas aplicações em diferentes culturas.

Na Unidade 1, faremos um mergulho profundo nos conceitos de irrigação e drenagem, verificando as nuances do uso dos recursos hídricos, além dos principais sistemas de irrigação e drenagem. Na Unidade 2, estudaremos como determinar a umidade e densidade do solo, e sua aplicabilidade para os cálculos de disponibilidade e dos infiltração da água no solo.

Veremos, na Unidade 3, os conceitos, tipos e as aplicações da irrigação localizada por aspersão e por superfície, além do dimensionamento e dos componentes de cada sistema. Por fim, na Unidade 4, aprenderemos drenagem agrícola, seus conceitos e dimensionamento.

Com base nos temas, você deve ter notado como todos esses conteúdos são importantes para o adequado desenvolvimento de uma cultura agrícola.

Introdução à irrigação e drenagem

Convite ao estudo

Irrigação significa a rega ou aplicação de água no solo utilizando métodos artificiais, para a complementação ou parcialidade da necessidade hídrica das plantas, com o uso dos recursos hídricos presentes na área. Já a drenagem consiste no processo de remoção do excesso de água dos solos, de modo que lhe dê condições de aeração, percolação, estruturação e resistência, a fim de torná-los viáveis à exploração agrícola.

A fazenda Frutos Doces, localizada em um polo frutífero próximo a um grande rio brasileiro no semiárido nordestino, estava à procura de um profissional qualificado para a implantação de um projeto de irrigação eficiente. Assim, nessa propriedade foi observado que nos períodos de chuva as plantas apresentam uma maior produtividade e, buscando manter uma produção constante ao longo de todo o ano, a empresa está à procura de um profissional para a implantação de um sistema de irrigação, sendo assim você foi contratado para desenvolver esse trabalho. Na primeira reunião sobre o assunto, você foi recepcionado pelo gerente da fazenda, o Sr. Francisco, técnico agrícola que lhe forneceu as informações da área, como o histórico de plantio, que serão um suporte para que você inicie sua tarefa.

O Sr. Francisco lhe entregou todas as planilhas com os dados dos plantios ao longo dos anos na fazenda, o método de irrigação que utilizavam até então é por superfície através de sulco de captação de água vinda do rio próximo a fazenda, porém você observou problemas como a falta de água e o uso incorreto do solo. Ele mesmo expôs que a água superficial está diminuindo drasticamente, como a região é semiárida intui-se que o lençol freático não é tão abundante de água de

qualidade para uso nos projetos futuros de irrigação, mas esse dado ele disse não possuir.

Portanto, como você pode obter os dados de uso racional da água de maneira mais técnica? O que você recomendaria ser feito na área para atender aos anseios do seu cliente? Analisando esse contexto, como você poderá elaborar uma recomendação adequada sobre uma análise da eficiência técnica hídrica nos projetos de irrigação?

Para ajudá-lo a resolver e compreender essa situação, em cada seção desta unidade você aprenderá sobre os principais tópicos que possibilitarão que você consiga propor soluções viáveis para a problemática apresentada.

Seção 1.1

Introdução à irrigação

Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção vamos estudar alguns importantes conceitos de irrigação que nos permitirão, posteriormente, distinguir os tipos de sistemas de irrigação, suas formas de implantação e caracterização dos recursos hídricos na área.

Você foi contratado para a implantação de um sistema eficiente de irrigação, cujos dados para tal análise foram fornecidos pelo técnico agrícola da Fazenda Frutos Doces, Sr. Francisco. Você já analisou as informações sobre os plantios de fruteiras (caju, maracujá, banana), o sistema de irrigação utilizado é por superfície através de sulco de capitação de água vinda do rio próximo à fazenda, porém você sabe que há problemas de falta de água, sua perda através do processo de evaporação e uso incorreto do solo que necessita de um preparo específico para conduzir água por superfície. Diante da necessidade de mudança do sistema de irrigação para um método que apresente maior eficiência e menor desperdício de água, é fundamental sugerir ao produtor quais sistemas apresentam maior eficiência de aplicação de água.

Dessa maneira, você consegue perceber quais seriam os principais problemas a serem corrigidos para a melhoria na eficiência de irrigação? Quais os sistemas de irrigação que propiciam maior eficácia no uso da água? A disponibilidade hídrica da região é condizente com um sistema de irrigação que apresenta baixa eficiência de aplicação e distribuição de água? Dessa forma, qual a primeira etapa a ser cumprida para realizar a análise da qualidade técnica e hídrica nos projetos de irrigação da fazenda?

Para você conseguir responder a esses questionamentos serão introduzidos conceitos contextualizados que o ajudarão a chegar a uma conclusão.

Bons estudos!

Não pode faltar

A irrigação é usada para suprir parcial ou totalmente a necessidade de água nas plantas a fim de garantir uma produção favorável, através do uso de técnicas artificiais. Ela foi uma das primeiras formas de manipulação da agricultura no mundo, afetando conseqüentemente o meio ambiente. Na domesticação da agricultura podemos observar que houve mudanças na prática da coleta de vegetais e no uso da terra, o que posteriormente evoluiu para o que chamamos de agricultura, sendo considerada como ruptura na civilização para um mundo novo.

A princípio, a agricultura ocupava uma função complementar na alimentação, sendo assim colocada como outra via de sobrevivência paralela à caça e à busca de frutos ou plantas. Após a era do gelo, por volta de 10.000 anos a.C., o que compreendemos como período Neolítico, Idade da Pedra Polida, ocorreram as principais alterações climáticas, causando o surgimento dos grandes rios, devido ao derretimento das calotas e, posteriormente, o desenvolvimento das técnicas de plantio ao longo desses rios, como Nilo, no Egito, Gangues, na Índia, Amarelo, na China, Tigres e Eufrates, na Mesopotâmia e Sena e Danúbio, na Europa ou no período antigo englobando o Império Romano. Com o passar do tempo, a vida sedentária contribuiu para que casas e povoados tivessem cada vez mais destaque entre as comunidades humanas. Ao mesmo tempo, as trocas comerciais e a domesticação de animais passavam também a incorporar a construção desse novo cotidiano responsável pelo aparecimento das primeiras civilizações.

Desde a antiguidade podemos ver escrituras com relatos sobre a primeira intervenção com o uso de técnicas de irrigação sob sistema de fornecimento controlado de água em benefício da agricultura que nos remonta ao antigo Egito, onde, há cerca de 5 mil anos, foram feitos diques para controlar a vazão do Rio Nilo (NETO, 2017). Tal sistema, que hoje conhecemos por irrigação por superfície, permitia conduzir o volume de água que atingiria as margens do rio, tornando-as mais férteis, pois como sabemos nas margens de rios existe uma grande deposição de matéria orgânica; com o acréscimo da lâmina d'água aumentou-se a produtividade das principais culturas da época, como trigo e pastagens – base da alimentação da sociedade egípcia.

Na cronologia de evolução da agricultura podemos fazer um paralelo com a Revolução Industrial, cujas tecnologias implementadas

nas fábricas refletiam nos campos agrícolas, o que chamamos de Revolução Agrícola, surgindo também uma mudança de sociedade, em que as pessoas saíam dos campos para as cidades, o êxodo rural, transformação do espaço geográfico no meio rural, o que ocorreu graças à inserção de maiores aparatos tecnológicos na produção agrícola, permitindo uma maior mecanização do campo. Essa transformação materializou-se a partir do fornecimento de insumos da indústria para a agricultura, tais como máquinas e fertilizantes.

No período das grandes navegações, por volta do século XV, as potências europeias da época implementaram o desenvolvimento da revolução agrícola no mundo, onde disseminaram as diferentes culturas por meio do monocultivo, os chamados *plantations*, como a cana-de-açúcar. No Brasil a interação entre o colonizador e o colonizado, incluindo os indígenas, também contribuiu para a evolução agrícola, à medida que técnicas antes pouco conhecidas passaram a ser aplicadas, a exemplo do terraceamento praticado tanto na China antiga quanto pelas civilizações pré-colombianas.

A segunda fase da evolução agrícola é definida como Revolução Verde, já no século XX, após a Segunda Guerra Mundial. Todas as mudanças técnicas e científicas das sociedades ganharam um impulso, o caos desse pós-guerra forçou ao aumento da produção de alimentos, com o surgimento de novas ciências como a genética e a introdução dessas melhorias nas plantas e na evolução as máquinas de produção agrícola.



Assimile

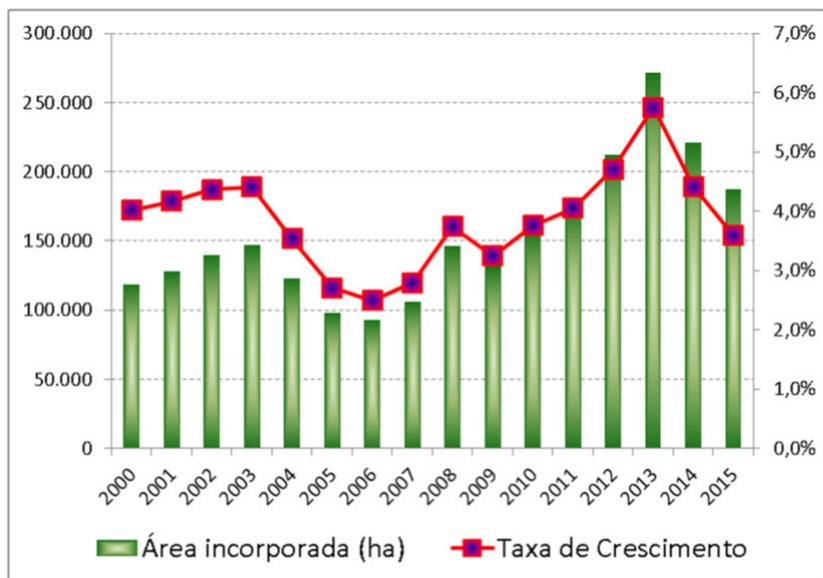
A irrigação fornece uma quantidade adequada de água às plantas, atrelada a outros manejos agrícolas como adubação, mecanização, controle de pragas e doenças, entre outros, contribuindo de forma mais efetiva para o aumento da produtividade das culturas.

Atualmente, irrigação é o fornecimento total ou parcial de água às culturas, com o intuito de assegurar a produtividade dessas culturas, tanto como complemento para chuvas e umidade natural quanto fonte única de água às plantas em locais áridos ou mesmo sem precipitação regular. A situação da irrigação no Brasil em relação à mundial, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2012), aponta que o país possui a

nona maior área irrigada do mundo, atrás apenas de Tailândia, México, Indonésia, Irã, Paquistão, Estados Unidos, Índia e China.

De acordo com o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), a irrigação brasileira tem crescido com taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década de 1960 (Figuras 1.1 e 1.2). No início da coleta de dados em 1960, havia 462 mil hectares equipados para irrigação, ultrapassamos a marca de 1 milhão de hectares na década de 1970 e de 3 milhões de hectares na década de 1990. De acordo com o senso agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2009), a área atual irrigada no Brasil é de 4,5 milhões de hectares.

Figura 1.1 | Evolução da área irrigada brasileira (2000-2015)



Fonte: CSEI/Abimaq (2015, [s.p.]).

Tabela 1.1 | Incremento anual da área irrigada mecanizada (2000-2016)

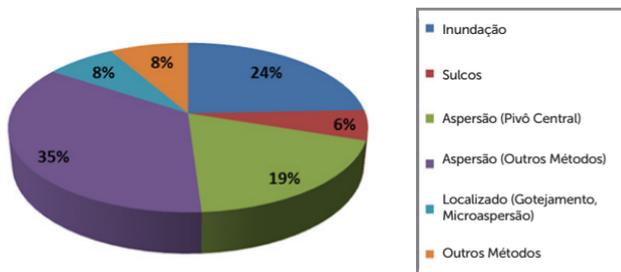
Ano	Área Total Irrigada Ano/ha							
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pivô Central	50.540	57.820	59.500	47.600	26.600	17.500	19.600	49.000
Carretel	29.000	30.000	22.500	21.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Convencional	15.300	14.650	17.500	15.000	15.000	15.000	16.500	20.000
Localizada	33.000	37.000	40.000	38.000	35.000	30.000	40.000	47.000
Total- ha/ano	127.840	139.470	147.000	123.100	97.600	92.500	106.100	146.000
Área Total	3.196.320	3.335.790	3.482.790	3.605.890	3.703.490	3.795.990	3.902.090	4.048.090

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pivô Central	49.500	52.000	57.750	84.000	126.000	102.000	78.000	105.000
Carretel	25.000	30.000	32.500	32.500	32.500	10.500	6.000	7.500
Convencional	17.000	25.000	29.500	35.400	40.710	28.497	28.000	31.000
Localizada	40.000	50.000	56.000	60.480	72.576	79.834	75.000	75.000
Total- ha/ano	131.500	157.000	175.750	212.380	271.786	220.831	187.000	218.500
Área Total	4.179.500	4.336.590	4.512.340	4.724.720	4.996.506	5.217.337	5.404.337	5.622.837

Fonte: CSEI/Abimaq (2017, [s.p.]).

Na Figura 1.2 pode-se observar um exemplo de distribuição dos métodos de irrigação, são eles aspersão, inundação, por sulcos, localizado (Gotejamento, Microaspersão) e outros em relação às regiões do Brasil.

Figura 1.2 | Proporção de área dos métodos de irrigação – Brasil e regiões



Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

O país possui recursos naturais essenciais e tecnologia para atender a demanda de alimentos. Quanto às áreas agricultáveis, o Brasil é um dos maiores com cerca de 187 milhões de hectares e 12% dos recursos hídricos do planeta (FAO, 2012).

Tabela 1.2 | Países com mais água per capita

Guiana Francesa	812.121 m³
Islândia	609.319 m³
Guiana	316.689 m³
Suriname	292.566 m³
Congo	275.679 m³
Papua Nova Guiné	166.563 m³
Gabão	133.333 m³
Ilhas Salomão	100.000 m³
Canadá	94.353 m³
Nova Zelândia	86.554 m³

Fonte: WWAp/Unesco (2009).

Tabela 1.3 | Países com menos água per capita

Kuait	10 m ³
Emirados Árabes	58 m ³
Estados Unidos	66 m ³
Bahamas	94 m ³
Qatar	103 m ³
Maldivas	113 m ³
Líbia	118 m ³
Arábia Saudita	129 m ³
Malta	149 m ³
Cingapura	179 m ³

Fonte: WWAp/Unesco (2009).

A disponibilidade hídrica no Brasil em função das vazões médias dos rios é em torno de 179 mil $m^3 \cdot s^{-1}$ (equivale a 12% da água disponível mundial), considerando apenas os rios genuinamente brasileiros. Podemos citar 12 as regiões hidrográficas brasileiras, são elas: Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia, Uruguai, Paraguai e Paraná (BRASIL, 2006). Já em relação aos aquíferos, estes são responsáveis por 60% do fornecimento de água para a população, o que inclui também, além do uso urbano, o uso rural, possuindo reservas estimadas de 113 mil km^3 de água em seu subsolo.

Diante do crescimento populacional mundial e brasileiro, o aumento pela demanda de alimentos vem exigindo que cada vez mais os produtores utilizem a irrigação como forma de aumentar a produtividade em áreas agrícolas. Porém, mesmo diante dessas necessidades, muitos produtores tratam a irrigação como custo e não como investimento. Cabe ao profissional da área instruir os produtores quanto ao uso da irrigação no contexto de agricultura irrigada sustentável mostrando as vantagens e desvantagens em adotar a irrigação. Dentre elas podemos citar:

- Vantagens: viabiliza o aumento da produção e produtividade; melhora a qualidade do produto colhido; permite colheita na entressafra; amplia o período de produção e permite o escalonamento; aumenta o índice de exploração agrícola e a resistência vegetal; possibilita a fertirrigação.
- Desvantagens: alto custo inicial do investimento; falta de mão de obra capacitada para operação e manutenção dos principais sistemas de irrigação.



Sobre a viabilidade da irrigação, existem inúmeras vantagens, mas não podemos dizer o mesmo economicamente. Para os agricultores os riscos do uso da agricultura irrigada numa fazenda ou projeto devem ser criteriosamente estudados e analisados, a fim de que o incremento nos rendimentos seja maior que os custos de produção das culturas. Podemos prever o investimento em irrigação por meio de uma avaliação econômica através de quais dados?

O Brasil possui uma das maiores reservas de recursos hídricos do mundo, mas sofre a cada ano com a escassez, resultado do mau uso e manejo errado do recurso tanto na indústria quanto na agricultura, sendo que a irrigação responde por cerca de 70% do seu uso agrícola. Em relação à região, a irrigação concentra-se na região Centro-Sul (Tabela 1.4).

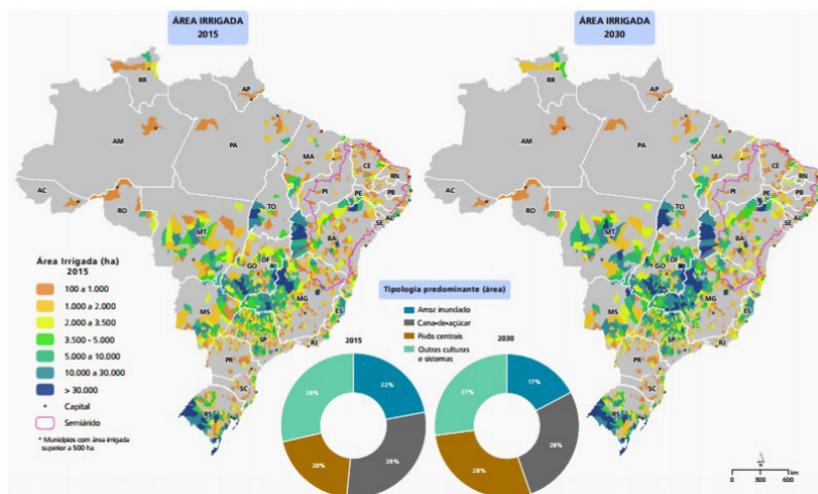
Tabela 1.4 | Cenário da agricultura irrigada no Brasil

Estados	Área irrigada (ha)	% Área irrigada
Norte	107.789,21	2,42
Nordeste	985.347,63	22,12
Centro-Oeste	549.465,88	12,34
Sudeste	1.586.744,28	35,63
Sul	1.224.578,11	27,49
Brasil	4.453.925,11	

Fonte: Censo agropecuário (IBGE, 2009).

Ao longo dos anos, desde o último censo agropecuário em 2006, houve um acréscimo de mais de 2 milhões de hectares de área irrigada e com um potencial enorme de aumento dessa área para 2030, de acordo com os estudos da ANA (2012) e ANA (2017), ver os dados de 2015 e projeção para 2030 na Figura 1.3.

Figura 1.3 | Área equipada para irrigação por município – 2015 e projeção para 2030



Fonte: ANA (2017).

Nosso potencial de crescimento é enorme, como vimos nos números apresentados na Figura 1.3; estima-se que usamos menos de 20% da área com potencial irrigável, dentre as principais razões para esse baixo uso podemos enumerar baseados no relatório Pensa (2010): 1- A desagregação de órgãos envolvidos; 2- Instabilidade da legislação ambiental e de recursos hídricos; 3- A dificuldade de obtenção de financiamento e 4- A falta de difusão e transferência de tecnologia ao agricultor; dentre outras razões para o pouco uso da irrigação nos campos agrícolas brasileiros.

Vamos fazer agora uma contextualização com o conceito básico de irrigação que é fornecer parcial ou totalmente a necessidade de água para as culturas, essa tal necessidade usando parâmetros agrometeorológicos: o principal deles é a evapotranspiração (ET), definida tecnicamente como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas. Evapotranspiração potencial (ETP) ou de referência (ETo) é a evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira, calculada em áreas controladas e padronizadas para cada região, clima e culturas. Evapotranspiração real (ETR) é a evapotranspiração nas mesmas

condições de contorno de ETP, porém com ou sem restrição hídrica. Evapotranspiração de cultura (ET_c) é a evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento. Assim ET_c depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ETP (ou ET_o), do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar. Como a área foliar da cultura padrão é constante e a da cultura real varia, o valor de K_c (constante da cultura) também irá variar, conforme o desenvolvimento das culturas.

Conforme o uso desses parâmetros agrometeorológicos e principalmente o clima característico das áreas, dividimos a necessidade de água em:

1. Irrigação total: a água fornecida pela irrigação é responsável por atender totalmente à demanda hídrica das culturas. Comumente praticada em regiões áridas ou semiáridas. Nesse caso usa-se a maior demanda diária que ocorrerá durante o ciclo da cultura, ou seja, maior demanda hídrica potencial da cultura ($ET_c = K_c \cdot ET_o$).

2. Irrigação parcial: nesse tipo de manejo, a água a ser utilizada para atender à demanda por evapotranspiração das culturas parte vem da irrigação e parte vem da precipitação efetiva, ou seja, a irrigação suplementará a precipitação efetiva no atendimento da demanda por evapotranspiração da cultura. Para o dimensionamento do sistema de irrigação, usa-se a precipitação provável com 75% ou 80% de probabilidade de ocorrência.

Em regiões áridas (< 400 mm anuais) e semiáridas (400 a 500 mm anuais), como é o caso da Fazenda Frutos Doces, o uso de tais técnicas de irrigação torna-se de caráter obrigatório. O método de irrigação pode ser manejado por meio do uso de lâminas constantes ou não, combinadas com intervalos fixos ou não, dependendo da disponibilidade de água na área, combinadas com seu uso racional. O critério primordial de escolha deve sempre estar associado ao nível de técnicas agrícolas modernas na propriedade, instrumentação disponível, histórico de plantio, além das condições edafoclimáticas do local e custos. Portanto, para o sistema de irrigação escolhido, são feitos imediatamente os cálculos de viabilidade e rentabilidade da cultura.



Leia o artigo indicado no qual se relatam tecnicamente os aspectos relacionados ao manejo de irrigação.

NASCIMENTO, F. S.; SOUZA, D. S. **Agricultura irrigada no semiárido nordestino**: destaques e aspectos econômicos da produção. Disponível em: <<http://www.abid.org.br/cd-xxv-conird/PDF/122.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2017.

A necessidade de água para irrigação (NI) é o balanço correto do adequado manejo de irrigação que determina o quanto irrigar, baseado na precisão de água das culturas, nas características de solo e nas meteorológicas do ambiente de cultivo, para otimizar a qualidade e a quantidade da produção obtida e pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$V = \text{Área} \times NI$$

em que: V = volume de água em litros; Área = área do plantio a ser irrigado em m^2 e NI = necessidade de irrigação em mm .

Por definições, **método** é a maneira de agir ou fazer as coisas; o modo de proceder. Já **sistema** é a disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si e que funcionam como estrutura organizada.

A partir desses conceitos a água pode ser aplicada por quatro formas diferentes, têm-se assim quatro métodos principais de irrigação. São eles:

- 1. Aspersão:** água aplicada sobre a folhagem da cultura e sobre o solo.
- 2. Localizada:** aplica-se a água localmente sobre a superfície do solo e sob a área sombreada pela copa das plantas, conservando a umidade do solo sempre próxima da ideal para as plantas.
- 3. Superfície:** a quase totalidade da superfície do solo é umedecida com o auxílio da gravidade.
- 4. Subterrânea:** a água é aplicada abaixo da superfície do solo, diretamente nas raízes das plantas.



Como você observou a escassez hídrica é uma realidade e a agricultura é a atividade que consome a maior quantidade de água doce disponível. Para combater o desperdício de água, a irrigação vem evoluindo no quesito eficiência e cada vez mais são desenvolvidos sistemas com maior eficiência de aplicação de água. Dentre os sistemas apresentados os de irrigação localizada têm maior eficiência de aplicação de água quando comparados aos demais, conforme pode ser observado na Tabela 1.5.

Tabela 1.5 | Eficiência do uso da água na irrigação

Método de irrigação	Eficiência de irrigação
Por superfície	40% a 75%
Por aspersão	60% a 85%
Localizada	80% a 95%

Fonte: Bernardo (2006, [s.p.]).

Sem medo de errar

Agora que você já aprendeu um pouco mais a respeito dos conceitos e do histórico de irrigação, sobre os sistemas, parâmetros técnicos para analisarmos a viabilidade técnica e econômica de implantação de tais sistemas, vamos resolver a situação-problema apresentada nesta seção, no “Diálogo aberto”, em que você vai distinguir os tipos de sistemas de irrigação, suas formas de implantação e caracterização dos recursos hídricos na área. Você observou que com a atual situação da escassez hídrica o produtor deverá ser mais criterioso no momento da escolha de qual sistema de irrigação adotar. A irrigação é uma das alternativas encontradas para potencializar o uso do recurso hídrico e garantir boa produtividade nas áreas agrícolas. É uma das ferramentas que diminuem o risco da atividade, maximizando os lucros e recursos naturais. A irrigação demanda grandes volumes de água, porém seu uso é necessário para que o agricultor possa obter uma produção sustentável na Fazenda Frutos Doces. Em regiões semiáridas as áreas irrigadas são as que se obtêm as maiores produtividades, melhor qualidade do produto colhido e, em algumas situações, dificilmente se consegue

produzir sem a irrigação, como é o caso das frutíferas citadas na situação-problema.

Com base nas informações que lhe foram trazidas pelo produtor, é possível chegarmos à conclusão de que a escolha do sistema de irrigação por superfície foi equivocada em um primeiro momento. Esse sistema, apesar de apresentar baixo investimento de implantação, tem baixa eficiência na aplicação de água, sendo relevante citar que a área situa-se no semiárido brasileiro, em que a taxa de evapotranspiração faz com que grande parte da água que percorre os canais seja perdida para a atmosfera mesmo antes de chegar à planta, diminuindo assim a eficiência do sistema.

Ao constatar que a escolha do método de irrigação tenha sido totalmente inadequada, com as informações que lhe foram passadas você deverá sugerir ao produtor que adote o sistema de irrigação localizada, que para o contexto que foi apresentado, de extrema escassez hídrica, é o que possibilita aumento na eficiência de aplicação de água e conserva a umidade do solo sempre próxima à ideal, como a água é aplicada diretamente na raiz, ocorrem poucas perdas por evaporação e mantém-se o solo uniformemente úmido.

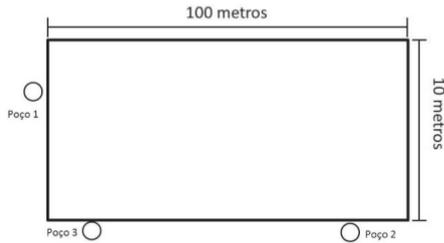
Avançando na prática

Quantificação da necessidade hídrica de culturas

Descrição da situação-problema

Você foi procurado por um pequeno produtor da sua região que pretende adotar um sistema de irrigação localizada em uma horta que possui na sua propriedade. Ele tem alguns poços já instalados (conforme o croqui da área na Figura 1.4), e devido à baixa disponibilidade de capital não pretende perfurar novos poços, portanto gostaria que você lhe esclarecesse qual dos poços seria o mais adequado para irrigar sua pequena horta na qual plantará tomate.

Figura 1.4 | Croqui da horta na qual o sistema de irrigação será instalado



Fonte: elaborada pelo autor.

Você tem as informações sobre a cultura do tomate e também baixou os dados de evapotranspiração para a localidade, que são disponibilizados pelo *site* da prefeitura. Com base nas informações obtidas, você chegou à conclusão de que o consumo hídrico máximo para o tomate nessas condições é de 10 mm . Sabendo que a área da horta que será irrigada possui 1000 m^2 e que os poços têm capacidade de bombear os respectivos volumes de água: poço 1 = 5.000 litros; poço 2: 12.000 litros; poço 3 = 8.000 litros, qual dos poços você irá recomendar para o produtor utilizar no plantio de tomate irrigado?

Resolução da situação-problema

Com as informações obtidas, você deverá calcular o volume de água necessário para que o sistema de irrigação atenda à necessidade hídrica do plantio de tomate. Sabendo que você possui uma área de 1000 m^2 e que a necessidade de irrigação que a cultura exige para esse contexto é de 10 , você deverá substituir os dados na equação:

$V = \text{Área} \times NI$, substituindo os valores:

$$V = 1000 \times 10$$

$$V = 10.000 \text{ litros}$$

Calculado o volume de água correto para o plantio, 10.000 litros, você deverá sugerir ao produtor que utilize o poço número 2 que tem capacidade de bombear 12.000 litros para realizar a irrigação do plantio de tomate.

Faça valer a pena

1. Desde o início da domesticação das plantas, mais precisamente no período Neolítico, os povos antigos de distintas partes do mundo desenvolveram

sistemas agrários próprios aproveitando as condições naturais de seus habitats, como as margens dos rios, montanhas férteis.

Marque a alternativa que estabelece corretamente a relação entre os habitantes de uma determinada área e o sistema produtivo por eles desenvolvido.

- a) Chineses; uso intensivo dos terraços das altas montanhas; Planalto de Anatólia no extremo leste da Ásia.
- b) Mesopotâmicos; uso de cultivos de inundação e de regadio; vales férteis dos Rios Ganges e Amarelo.
- c) Egípcios; uso da irrigação e drenagem; planícies úmidas e férteis dos Rios Tigres e Eufrates.
- d) Incas; uso de terraços com técnicas de curvas de nível e irrigação de vales.
- e) Romanos; uso de irrigação localizada em planícies férteis dos Rios Sena e Danúbio.

2. A água constitui um elemento fundamental para o manejo da irrigação e, por conseguinte, o desenvolvimento das plantas. É participante de todos os processos bioquímicos das plantas como fotossíntese, produção de hormônios, inclusive as auxinas, responsáveis pelo crescimento. A situação hídrica no Brasil está cada vez mais crítica, mesmo com órgãos reguladores como a Agência Nacional das Águas (ANA) e a Lei das Águas de 1997, temos muitos contratempos, como mau uso, ineficiência de gestão, poluição etc.

Com relação a esse elemento, assinale a alternativa correta

- a) O Brasil possui pouca quantidade de água superficial e subterrânea devido às suas características geológicas dominantes.
- b) Desvios de água para projetos de irrigação, construção de hidrelétricas, consumo excessivo, desmatamento e poluição têm contribuído para a redução de conflitos entre usuários.
- c) A maioria da água do planeta está contaminada pelas poluições doméstica, industrial e agrícola, além dos desequilíbrios ambientais.
- d) Os grandes reservatórios de água e rios têm sido utilizados para a geração de energia elétrica, assegurando a sustentabilidade do meio ambiente local.
- e) A diminuição da chuva no Brasil tem sido o maior problema ligado à crise hídrica para abastecer os reservatórios que fornecem água para as cidades.

3. Sobre os métodos de irrigação, devem ser corretamente escolhidos e dimensionados de acordo com as necessidades da cultura e da propriedade, como dados topográficos, disponibilidade de recursos hídricos, além do retorno financeiro de todo o sistema, a partir dessas definições, podemos distinguir corretamente as opções de métodos de irrigação.

Marque a alternativa que mais se adapta ao conceito.

- a) Aspersão convencional é um método de irrigação localizada.
- b) Microaspersão é um método de irrigação localizada, assim como por gotejamento.
- c) Pivô central é uma forma de irrigação por superfície.
- d) Canhão autopropelido é um método de irrigação por superfície.
- e) Inundação gasta menor volume de água para irrigar.

Seção 1.2

Uso dos recursos hídricos nas atividades agrícolas

Diálogo aberto

Olá, aluno! Vamos dar continuidade aos nossos estudos para melhor entendermos as técnicas de irrigação e drenagem. Agora que você já teve uma visão da situação geral da água no Brasil e no mundo, podemos avançar mais, afinal, o que vimos é importantíssimo, mas ainda é pouco e precisamos mergulhar mais a fundo para conhecer o uso dos recursos hídricos nas atividades agrícolas.

Você se lembra do nosso contexto de aprendizagem apresentado no "Convite ao estudo"? Anteriormente, na primeira etapa desse documento, constatou-se que a escolha do método de irrigação para a Fazenda Frutos Doces foi inadequada e, com base nas informações fornecidas, você sugeriu ao produtor que adotasse o sistema de irrigação localizada.

Nesta segunda fase, para a realização da análise da eficiência técnica hídrica nos projetos de irrigação, teremos subsídios para fazer o relatório relacionado à eficiência do uso da irrigação na Fazenda Frutos Doces. Você indicou ao produtor o sistema de irrigação localizada e agora vai sugerir o sistema de irrigação localizada por microaspersão e por gotejamento. Para tanto é preciso levar em consideração os fatores econômicos de cada um dos sistemas.

Você e o produtor têm em mãos dois orçamentos realizados em uma casa de produtos agropecuários da região, sendo um para sistema de irrigação por microaspersão e outro para sistema de irrigação por gotejamento. Na Tabela 1.6 é possível visualizar esse orçamento, ele será fundamental para que você auxilie o produtor na tomada de decisão para a escolha de qual dos sistemas adotar na fazenda.

Tabela 1.6 | Orçamento para implantação do sistema de irrigação por microaspersão e por gotejamento

Sistema de Irrigação	Custo de aquisição e implantação (CAI)	Custo de Manutenção (CM)	Custo Operacional (CO)	
			Energia (CE)	Mão de Obra (CMO)
Microaspersão	R\$ 32.576,00	R\$ 12.000,00	R\$ 22.900,00	R\$ 10.000,00
Gotejamento	R\$ 31.976,00	R\$ 12.000,00	R\$ 20.988,00	R\$ 10.000,00

Fonte: elaborada pela autora (2017).

Com esses orçamentos em mãos é sua função realizar os cálculos do custo total de irrigação da área. Dessa maneira você poderá indicar qual sistema de irrigação o produtor preferirá, respondendo aos questionamentos: qual é o sistema mais viável? Quais dos fatores apresentados no orçamento são os mais importantes para a adoção do sistema de irrigação? O custo-benefício de um sistema de irrigação é fundamental para a escolha do sistema de irrigação que será selecionado?

A resposta para essas perguntas ajudará você a encontrar uma solução para a problemática da Fazenda Frutos Doces. Atente-se para os conteúdos que serão estudados, pois eles serão o subsídio para que cheguemos à solução. Bons estudos!

Não pode faltar

Vamos fazer um aparato sobre o quanto de água possuímos para uso geral dos seres humanos. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), a maior parte do nosso planeta é coberta de água; 97,5% de toda a água da Terra está nos oceanos como água salgada, enquanto apenas 2,5% são lagos de água doce e água congelada presa em geleiras ou calotas polares. E desse pouco que temos de água doce, 68,9% está congelada (Figura 1.4). Portanto, para sermos mais exatos, a quantidade de água doce que existe em rios, lagos, córregos e abaixo da superfície constituiria pouco mais de 10,6 milhões de km^3 , o que representa cerca de 0,7% de tudo isso.

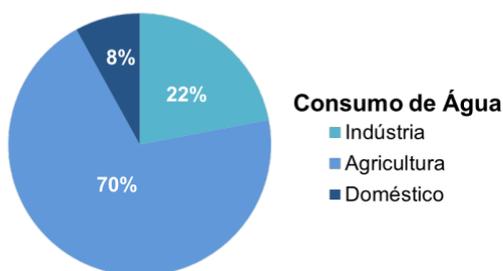
Figura 1.5 | Distribuição global da água



Fonte: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

O consumo diário de água é muito variável ao redor do globo. Além da disponibilidade do local, o consumo médio de água está fortemente relacionado com o nível de desenvolvimento do país e com o nível de renda das pessoas. Em todas as regiões, exceto Europa e América do Norte, as atividades agrícolas usam a maior quantidade de água, responsáveis no mundo por aproximadamente 70% de todo o gasto da água potável disponível. A utilização para fins domésticos conta com 8% e a indústria consome 22% de toda a água retirada (ÁGUA, 2017) (Figura 1.6).

Figura 1.6 | Distribuição do uso da água em função das atividades



Fonte: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

É extremamente relevante fazer a distinção entre a água que é retirada e a que será realmente utilizada pelo vegetal, pois uma parte é absorvida, enquanto a outra parte será perdida para a atmosfera por meio da evaporação e transpiração das plantas. O restante retorna para os rios ou infiltra no solo e fica depositado nos aquíferos. Mais de 90% da água usada para fins domésticos volta para os rios e aquíferos como água imprópria. Já as indústrias consomem apenas 5% da água que retiram. Essa água imprópria dos esgotos domésticos e indústrias deveria ser tratada antes de voltar para os rios e possivelmente reutilizada, mas frequentemente está poluída (ALMEIDA, 2017).

As estimativas para o uso da água na agricultura não incluem a captação de água da chuva. De fato, mais alimentos são produzidos por meio do uso de água da chuva do que de água irrigada. A maior demanda por água no Brasil, como acontece em grande parte dos países, ocorre em virtude da agricultura, sobretudo pela irrigação, com cerca de 70% do total consumido (ANA, 2013). O uso doméstico responde por 8% da água, em seguida está a indústria e, por último, a pecuária (dessedentação animal).

O Brasil sempre privilegiou o uso da água para a produção de energia, em detrimento aos demais. Segundo Silvestre (2008), no Código de Águas (1934) o governo chamava a atenção para a necessidade do aproveitamento industrial da água e para a implementação de medidas que facilitassem, em particular, seu potencial de geração de hidroeletricidade. Porém, desde este período sobrecarregaram-se as bacias hidrográficas como o uso múltiplo das águas (aquífero, agrícola, doméstico, industrial). Juntamente com a demanda enorme de usos e mau uso houve grandes conflitos nas regiões onde as pressões sobre a demanda eram enormes. Por conta disso, em 1997 foi decretada a Lei das Águas, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Nessa nova lei, problemáticas como o abastecimento humano e a dessedentação animal tornam-se prioridades vindas do direito estabelecido pela Constituição de 1988. Além disso, a lei prevê a gestão dos usos da água por bacias hidrográficas e a geração de recursos financeiros a serem empregados prioritariamente na própria bacia, por meio da cobrança pela utilização da água onde há conflitos ou escassez.



Pesquise mais

É fundamental você pesquisar sobre as leis que são aplicadas para nortear o uso dos recursos hídricos no Brasil como o Código das Águas (1934), instituído pelo Decreto 24.643 de 10 de junho de 1934, ainda que modificado por novas leis e decretos-lei e complementado por legislação correlata sobre meio ambiente, irrigação e obras contra a seca, consubstanciou a legislação brasileira de águas até a promulgação da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a qual não o revoga, mas altera alguns de seus princípios fundadores. Considerado, por técnicos e políticos, avançado para a época em que foi elaborado, o Decreto 24.643/34 procurou atender às demandas de um país que se urbanizava e era palco de importantes transformações econômicas, sociais e políticas. Uma nação servida por abundância relativa de água e com grande potencial hidroenergético no qual se fortalecia o desenvolvimento, identificado à industrialização.

POLÍTICA Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Pn4Lm1pswTA>>. Acesso em: 10 set. 2017.

Existem inúmeras ameaças ao uso comum da água, vamos conhecer como ela é tratada para o consumo humano, uso doméstico e esgoto sanitário; uso industrial, aquífero, incluindo as navegações e pesca, e nosso interesse maior na disciplina que é o uso agrícola.

Para ser considerada ao uso doméstico, de acordo com a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde, a água produzida e distribuída para o consumo humano deve ser controlada: entre os 5% (cinco por cento) dos valores permitidos de turbidez superiores ao volume máximo permitido (VMP) para água subterrânea com desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, assegurado, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 uT em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede); o pH da água mantido na faixa de 6,0 a 9; o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento precisa ser de 2 mg/L e também as concentrações de ferro e manganês não podem ultrapassar 2,4 e 0,4 mg/L. A legislação define também a quantidade mínima, a frequência com que as amostras de água devem ser coletadas e os limites permitidos.

Além disso, as amostras devem apresentar características microbiológicas, físicas, químicas e radioativas que obedeçam a um padrão de potabilidade estabelecido. Como sabemos, os nossos índices de distribuição, tratamento de água e saneamento básico são baixos em relação à distribuição de água, 83,3% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, ou seja, são mais de 35 milhões de brasileiros sem o acesso a esse serviço básico, já no saneamento básico, 50,3% da população tem acesso à coleta de esgoto e somente 42,67% dos esgotos do país são tratados e mais de 100 milhões de brasileiros não têm acesso a esse serviço, o que dificulta o uso correto do termo potável (BRASIL, 2015).

O crescimento desordenado das cidades traz também um esgotamento da água considerada potável. Contudo, nas zonas urbanas que possuem um sistema de distribuição de água, as perdas por vazamentos nos sistemas representam mais de 50% do volume da fonte inicial da captação de água, pois essas redes são longas, aumentando assim o risco de perda (MINISTÉRIO DAS CIDADES; SNIS, 2017).

As indústrias respondem por cerca de 22% do consumo total de água (ANA, 2013). O uso nos processos industriais passa da utilização

da água nos próprios produtos até a lavagem de materiais. Tem-se a indústria como um “grande vilão” para o recurso hídrico no Brasil, pois, dependendo do ramo industrial e da tecnologia empregada, a água resultante dos processos adotados (efluentes industriais) pode carregar resíduos tóxicos, como metais pesados e restos de materiais em decomposição. Ao longo dos anos, com o crescimento industrial, os reservatórios de água tanto em superfície ou no subsolo têm sido poluídos drasticamente pelas atividades industriais brasileiras. Quando a água contaminada vinda das indústrias é lançada nos rios e no mar pode provocar a morte dos peixes, pois mesmo quando sobrevivem eles acumulam em seu organismo substâncias tóxicas que causam doenças, se forem ingeridos pelos seres humanos.

A procura de um aumento da produtividade agrícola somada ao aumento da demanda por alimentos tem conduzido, igualmente, a um consumo cada vez maior de água na agricultura. Na média mundial gasta-se cerca de 70% da água nessa atividade, porém, mais de metade desta é perdida por meio da evaporação ou devido à irrigação não controlada.

Atualmente, os agricultores têm buscado um uso mais racional desse recurso que antes pensava-se ser infinito. Os métodos de irrigação tradicionais estão aos poucos sendo substituídos por alguns mais modernos e eficientes, como a irrigação por gotejamento. Enquanto os métodos de irrigação por superfície baseiam-se na irrigação de toda a superfície do campo, a irrigação por gotejamento possibilita a manutenção do solo mais úmido por mais tempo. A água é fornecida ao longo do dia a uma área específica, próxima às raízes da planta, por uma rede de gotejadores. Essa técnica evita perda de água por escoamento.

A preocupação com a eficiência no uso dos recursos hídricos nos campos agrícolas e principalmente aqueles ligados à irrigação, cresce a cada ano, além da escassez de água de boa qualidade, aumentando a competição entre os diversos setores que dela dependem (doméstico, industrial e aquícola). Como vimos a agricultura corresponde em média a 70% do uso da água doce disponível em todo o planeta.

A agricultura irrigada está associada a um elevado nível tecnológico, mas no Brasil esse paralelo não é bem atendido porque se aplica de forma inadequada, desperdiçando muita água. Estima-se que, de toda a água captada para fins de irrigação, não mais que 50% seja efetivamente

utilizada pelas plantas (CHRISTOFIDIS, 2004). Principalmente nos sistemas mais tradicionais de irrigação, como por superfície, as perdas chegam a percentuais muito mais elevados. De acordo com Mantovani et al (2006), há três fatores para explicar essa ineficiência:

- 1- Uso ineficaz de critérios técnicos de manejo de água na maioria das áreas irrigadas.
- 2- Informações escassas e incompletas de parâmetros para manejo de água.
- 3- Utilização de sistemas de irrigação com baixa eficiência de aplicação de água.

O desperdício de água na irrigação, além de aumentar os custos de produção, acarreta diminuição da disponibilidade e da qualidade da água, bem como perdas ambientais. Esse somatório de erros tem feito elevar os preços dos projetos de irrigação, pois são comprados equipamentos ineficientes, o que dessincroniza as cotações, uma vez que a compra de forma aleatória demonstra erros de planejamento.

Aumentar a eficiência de aplicação de água na agricultura irrigada independe da troca de um método por outro porque, além de sistemas de irrigação mais eficientes, necessita-se investir em novas tecnologias poupadoras de água, como redução das perdas de água por evaporação e a irrigação com déficit hídrico controlado. Para auxiliar nesse assunto, podemos citar: hidrômetro para segmentação de consumo, irrigação por gotejamento, dispersador de poeira, esgoto para aquicultura, evaporação por concentração de vinhaça, detector de perda de água, torres de resfriamento sem químicos, aproveitamento de água pluvial, tratamento de ozônio, zonas úmidas artificiais, ultrafiltração, osmose reversa, destilação térmica e reflorestamento, entre outros. (MAROUELLI, 2017).

A medição do teor de água no solo é um dos parâmetros mais importantes desse cálculo para a necessidade de irrigação (NI). Não ocorrendo a reposição ideal, o teor de água no solo cairá para níveis críticos.

A necessidade hídrica das culturas, mesmo com os níveis ideais de água no solo, é dependente das condições atmosféricas locais. Calculamos a chamada evapotranspiração (ET), sendo esta em função da radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar. A quantidade de água a ser aplicada por irrigação deve otimizar a evapotranspiração da cultura (ETc) em condições de irrigação total ou parcialmente.

Parâmetros técnicos

• Indicadores de manejo com base na planta.

Um dos procedimentos com base na planta, com melhor precisão, é o índice de estresse hídrico da cultura, do termo técnico em inglês *Crop Water Stress Index* (CWSI), que leva em consideração a diferença entre as temperaturas da folha e do ar, e o déficit de pressão de vapor do ar. Esse indicador técnico vale apenas como citação para nossos estudos, pois não tem tido muita aceitação, já que o valor obtido não permite, isoladamente, determinar a quantidade de água necessária a cada irrigação.

• Indicadores de manejo com base no solo.

Nesse parâmetro será calculado o teor de água do solo existente na zona radicular das plantas, é um indicador confiável e atualmente o mais usado. Ao contrário de dados com base na planta, os indicadores com base no solo possibilitam determinar o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada. São eles: 1- Teor de água no solo – definido como nível de umidade do solo por volume ou massa de água contido em um volume (ou massa) de solo. Existem diferentes métodos e equipamentos para se obter a umidade do solo. O mais simples e barato é o **gravimétrico direto** (padrão de estufa) e das pesagens (BERNARDO et al, 2005). Além disso, podem ser adotados os seguintes parâmetros como indicadores de eficiência do uso da água: uniformidade e eficiência da irrigação; uniformidade de distribuição; eficiência de aplicação; eficiência de armazenagem e perdas de água.



Assimile

Os sistemas de irrigação (por superfície ou localizado) depois de implantados devem ser avaliados para verificação do seu empenho e viabilidade. Após passar por isso, o manejo da irrigação poderá ser realizado conforme programado, caso contrário, as correções cabíveis devem ser feitas de imediato.

A utilização de sistemas de irrigação mais eficientes é uma busca constante na agricultura irrigada, principalmente devido ao aumento no custo da energia e à redução a cada ano da disponibilidade hídrica dos mananciais ou mesmo os fatores ambientais criam verdadeiros "rios ou reservatórios secos", pois há uma diminuição no regime de chuvas. Dentre os sistemas de irrigação considerados mais eficientes está a irrigação localizada, pois

as perdas na aplicação de água são relativamente pequenas. Para uso no clima semiárido, os métodos de irrigação localizada são os mais eficientes em virtude de: I) apresentarem maior eficiência na utilização da água; II) adaptarem-se a diferentes solos e topografia.

- **Indicadores de manejo com base na atmosfera (evapotranspiração).**

Esses indicadores, assim como os com base nas plantas, não podem por si só serem usados para a determinação do momento correto da irrigação, pois permitem apenas estimar, de maneira indireta, a evapotranspiração da cultura (ETc) e, conseqüentemente, a quantidade de água.

A ETc pode ser estabelecida exatamente por meio de lisímetros. No entanto, em razão dos custos de instalação e dos cuidados necessários na operação, os lisímetros são basicamente empregados em experimentação agrícola. Permitem definir, de modo indireto, os coeficientes de cultura (Kc) para posterior utilização na estimativa da ETc, conforme a equação:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Em que: ETc é a evapotranspiração da cultura ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$), Kc, o coeficiente de cultura (adimensional) e ETo, a evapotranspiração de referência ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$).

Os principais fatores econômicos que devem ser analisados para um sistema de irrigação são:

- **Custo de aquisição e implantação (CAI).**

Em função de cada cultura e sistema de irrigação já avaliada sua implementação técnica.

- **Custo de manutenção (CM).**

Calculado de 3% a 5% do custo de aquisição + implantação (CAI).

- **Custo operacional (CO).**

- Energia (CE); Potência/área (média); Tempo de irrigação (h/dia); Período de irrigação (dias/ano); Preço da energia (R\$/kW).

- Custo com mão de obra (CMO) - Trabalho diário (h/dia); Salário + encargos (R\$/h); Período de irrigação (dias/ano).

- **CUSTO TOTAL DA IRRIGAÇÃO (CTI) = CAI + CM + CE + CMO.**

A melhoria na eficiência da irrigação sob uma visão ampla abrange todas as fases no processo de implantação, assim incluem-se como a água é usada, os dados técnicos, econômicos, políticos, sociais ou ambientais.

Zardini (2014), utilizando essa temática no seu trabalho de conclusão de curso (TCC), obteve os resultados: potencial máximo de economia de água potável em Belém (43,73%) e mínimo em São Luís (21,3%) e volume ideal de reservatório inferior máximo em Aracaju (21.500 litros) e mínimo em Belém (4.000 litros). Constatou-se que a maior parte das capitais estudadas apresenta possível viabilidade para a utilização do sistema de aproveitamento de chuva com potenciais de economia acima de 35%.

Já discutimos amplamente nesta seção sobre o desafio de equilibrar a demanda com a disponibilidade da água existente, principalmente na agricultura que consome quase toda a totalidade. Portanto, no tratamento de águas residuárias deve-se diminuir a quantidade dos sólidos totais suspensos e dissolvidos, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO) e, também, exterminar o máximo possível de organismos patogênicos, isso tudo é obtido por um tratamento adequado como o uso de caixas de areia, carvão ativado, decantação, floculação, emprego de químicos, para a limpeza total dessa água e seu reúso seguro.

Nas atividades agrícolas pode ser utilizada como biofertilizante, até substituindo a adubação convencional, pois fornece todos os nutrientes necessários para um bom desenvolvimento da maioria das culturas, como os macros e micronutrientes.



Refleta

Você poderia justificar qual o melhor e mais prático parâmetro a ser aplicado nos sistemas de irrigação?

Na irrigação devemos ser bem criteriosos, pois as culturas farão parte da nossa alimentação ou mesmo dos animais e devem seguir padrões rígidos de qualidade. Em relação à atividade agrícola e irrigação não há normas específicas, portanto devemos seguir os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões

de lançamento de efluentes, e a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, que determina a classificação dos corpos d'água.



Exemplificando

O reúso de água é uma das técnicas mais utilizadas no mundo quando se diz respeito à questão hídrica. Dentre as aplicações da água de reúso podemos citar:

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campus universitários, cinturões verdes e gramados residenciais.
- Irrigação de campos para cultivo: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais e proteção contra geadas.
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras e água de processamento.
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha e controle de recalques de subsolo.
- Usos urbanos não potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar-condicionado, lavagem de veículos, ruas, pontos de ônibus etc.
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas e indústrias de pesca.
- Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais, entre outros. (IANALITICA, 2017)

Sem medo de errar

Retomando o contexto da nossa situação-problema, você foi contratado como Engenheiro Agrônomo para analisar a viabilidade econômica de uma empresa que estava apresentando problemas no sistema de irrigação da Fazenda Frutos Doces e está ajudando os técnicos na elaboração de um relatório de avaliação da viabilidade técnica e econômica da irrigação. No relatório, seu grupo de trabalho verificou durante a coleta de dados que (I) alguns pontos de captação de água irregular vinham da principal fonte, o rio São Francisco, e (II) havia subestimação nos custos de implantação e manutenção, parâmetros estes que vimos no tópico "Não pode faltar". De acordo com os dados observados no orçamento, você

realizou os cálculos para chegar à conclusão de qual dos sistemas de irrigação apresenta maior viabilidade econômica para ser implantado na fazenda.

Lembre-se de que para o cálculo do custo total da irrigação você precisa saber as seguintes variáveis: custo de aquisição e implantação (CAI), custo de manutenção (CM) e custo operacional (CO). Assim, com base no orçamento que você tem em mãos, observado na Tabela 1.7, é necessário realizar os cálculos para escolher qual dos sistemas de irrigação deverá ser adotado.

Custo para implantação do sistema de irrigação por microaspersão:

$$CTI = CAI + CM + CE + CMO = 32.576,00 + 12.000,00 + 22.900,00 + 10.000,00 = R\$ 77.476,00.$$

Custo para implantação do sistema de irrigação por gotejamento:

$$CTI = CAI + CM + CE + CMO = 31.976,00 + 12.000,00 + 20.988,00 + 10.000,00 = R\$ 74.964,00.$$

Com as contas obtidas, é possível observar que o sistema de irrigação por gotejamento traz o melhor custo-benefício para a implantação, pois é o que apresenta menor custo de aquisição, implantação e com energia, conseqüentemente, menor custo total. Portanto, você deverá sugerir ao produtor que adote para a Fazenda Frutos Doces o sistema de irrigação por gotejamento.

Avançando na prática

Retorno econômico da irrigação de pastagens

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para elaborar uma análise de viabilidade econômica de uma fazenda leiteira, o produtor está passando por problemas econômicos e, assim, não possui muitos recursos para o sistema de irrigação. Com relação ao ambiente, a região onde se encontra a fazenda está com uma escassez de água por longo período, isso também deve ser considerado no seu relatório de retorno econômico, lembrando que entre os principais sistemas utilizados para irrigação de pastagens existem os pressurizados, principalmente por aspersão. O sistema intensivo é o indicado por ser uma área

pequena, com alta lotação (7-25 UA/ha*), cujas principais vantagens são a alta produtividade e conservação do solo. A partir desse relato, os responsáveis pela fazenda repassaram para você os seguintes dados:

*UA/ha (Unidade animal/hectare)

Fazenda Campina

- Município: Sertão
- Área total: 40 hectares
- Área utilizada: 3 ha/irrigado e 5 ha/sequeiro
- Produção média: 15 litros/vaca/dia irrigado
- Produção média: 10 litros/vaca/dia sequeiro
- Preço médio: R\$ 1,20

Se a área total é de 40 ha (100 %) e só utilizarmos 8 ha uso, portanto 20% da área.

CUSTOS DE PRODUÇÃO DE LEITE:

Energia 5%

Adubo 10%

Depreciação 22%

Mão de obra ordenhador 10%

Outros (medicamentos, vacinas etc.) 1%

Concentrado 29%

Pró-labore (mão de obra) 23%

O custo médio para implantação de um sistema de aspersão em pastagens é de R\$ 6 mil por hectare. Consideramos nos cálculos: vida útil do sistema de 10 anos e taxa de juros de 6,75% ao ano. Sendo assim, como realizar a análise de viabilidade econômica da fazenda leiteira?

Resolução da situação-problema

Os custos serão apresentados para implantação e operação de um sistema de irrigação em 1 hectare. Consideramos para efeito de cálculo alguns dados fornecidos. Os principais fatores que devem ser analisados para irrigação são:

- **Custo de aquisição e implantação (CAI):**

- **AQUISIÇÃO + INSTALAÇÃO**

Custo médio de aquisição em implantação (R\$/ha): 6.000,00;

Custo anual (Depreciação em 10 anos + juros 6,75% a.a.) (R\$/ha.ano):
R\$ 846,00

- Custo financeiro (CF)

- **Custo de manutenção (CM)**

- MANUTENÇÃO = 3% a 5% do custo de aquisição + implantação
 $6.000,00 \times 0,05 = 300,00$ Custo anual de manutenção (R\$/ha.ano) =
R\$ 300,00

- **Custo operacional (CO)**

- OPERAÇÃO (Energia + mão de obra)

- Energia (CE) - 5%

Potência/área (média): 2,5 cv/ha = **1,9 kW/ha** (diurna + noturna) /
3,5 cv/ha = **2,6 kW/ha** (noturna); Tempo de irrigação (h/dia): **12 h/dia**
(diurna + noturna) ou **9 h/dia** (noturna)

Período de irrigação (dias/ano): **180** (c/ sobressemeadura)

Preço da energia (R\$/kW): **0,18** (diurna + noturna) ou 0,08 (noturna)

Custo anual de energia (CE em R\$/ha.ano):

Diurna + noturna: CEDN = $1,9 \times 180 \times 12 \times 0,18 =$ **R\$ 739,00**

Noturna: CEN = $2,6 \times 9 \times 180 \times 0,08 =$ **R\$ 337,00**

- **Custo com mão de obra (CMO)**

Trabalho diário (h/dia): 15 min/ha ou 0,25 h/ha

Salário + encargos (R\$/h): 8,40

Período de irrigação (dias/ano): 180 (c/ sobressemeadura)

Custo anual da mão de obra (CMO em R\$/ha.ano): CMO = $0,25 \times$
 $8,40 \times 180 =$ **R\$ 378,00**

CUSTO TOTAL DA IRRIGAÇÃO (CTI) = CAI + CM + CE + CMO

Custo total da irrigação (diurna + noturna): CTI = $846,00 + 300,00$
 $+ 739,00 + 378,00 =$ R\$/ha.ano = **R\$ 2.263,00**

Custo total da irrigação (noturna): CTI = $846,00 + 300,00 + 337,00$
 $+ 378,00 =$ R\$/ha.ano = **R\$ 1.861,00**

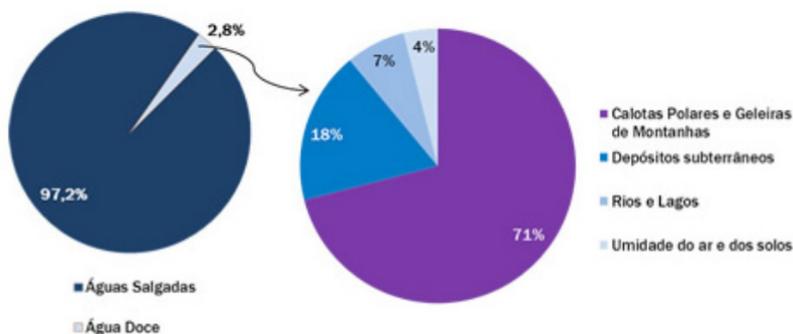
Com o custo total da irrigação (CTI) no valor de 2.263,00 R\$/ha.ano, será repassado esse valor ao responsável da fazenda e ele

deverá fazer a escolha do uso da irrigação da sua área de pastagem. Devido à flutuação da renda da pecuária leiteira, essa decisão de uso ou não do sistema caberá exclusivamente ao produtor, seu papel como responsável técnico é apenas de indicar o custo da implantação e operação da irrigação na área.

Faça valer a pena

1. Observe e analise as informações da Figura 1.7 usando seus conhecimentos sobre a distribuição e utilização da água no mundo. Sabemos que há uma má distribuição somada ao mau uso e a excessos de contaminação nas reservas hídricas.

Figura 1.7 | Distribuição da água doce e salgada no mundo



Fonte: adaptada de Vesentini (2012, p. 218).

Marque a alternativa correta, baseando-se nos dados mencionados na Figura 1.7:

- Apesar da quantidade reduzida de água potável no mundo, sua distribuição é quase igualitária em todo o globo, caso contrário não haveria vida.
- O Brasil é um país privilegiado por ter a maior reserva de água do mundo, bem distribuída em seu território.
- A quantidade de água disponível no mundo não será um problema, tendo em vista que se trata de um recurso natural renovável.
- A água vem provocando algumas guerras e deve continuar sendo um importante elemento geopolítico no século XXI.
- A difusão e a propagação em larga escala das técnicas de dessalinização da água do mar vêm se configurando como alternativas relevantes para combater a escassez desse recurso no planeta.

2. A utilização de água potável para irrigação das lavouras é responsável, em média, por mais de 70% da demanda (ANA, 2013) desse recurso natural e é nessa atividade econômica significativa que acontece a maior parcela do desperdício de água nos campos agrícolas no Brasil.

Assinale a alternativa que indica a melhor solução para diminuir o desperdício de água na agricultura.

- a) Substituir a produção de alimentos por outros insumos, como fumo, fibras para tecido e biocombustíveis.
- b) Dessalinização da água dos oceanos para o uso na irrigação das lavouras.
- c) Cultivo exclusivo de alimentos e plantas que não demandem água para seu desenvolvimento.
- d) Plantio em áreas de alagamento, como nas margens dos rios e córregos.
- e) Utilização de técnicas de irrigação que diminuam o desperdício, como o gotejamento.

3. Em regiões semiáridas devemos considerar nos projetos de irrigação alguns parâmetros que dependem do tipo do sistema de irrigação e do próprio projeto. No manejo racional de qualquer projeto de irrigação é preciso atentar-se para aspectos sociais, climáticos e ecológicos de uma região por meio _____
_____.

Marque a alternativa correta que completa o texto-base.

- a) Da maximização da produtividade e da eficiência do uso da água.
- b) Da maximização dos custos desprezando a existência de mão de obra local.
- c) De condições desfavoráveis de fitossanidade para o bom desenvolvimento da cultura irrigada.
- d) Da ineficiência da irrigação.
- e) Da redução das condições físicas, químicas e biológicas do solo, pois aumentará, assim, a vida útil do projeto de irrigação.

Seção 1.3

Aplicações da irrigação

Diálogo aberto

Caro aluno, vamos continuar nossos estudos para compreendermos mais sobre a Irrigação e Drenagem. Você já conhece diversos assuntos como a situação da irrigação no Brasil e no mundo, a necessidade de irrigação (NI), conceitos relacionados à viabilidade técnica e econômica dos sistemas de irrigação e o uso racional dos recursos hídricos. Nesta seção, você analisará todos esses assuntos abordados na Unidade 1 direcionando o uso correto, ou seja, as aplicações da irrigação.

Continuando suas atividades como responsável técnico da Fazenda Frutos Doces, seu objetivo é realizar uma análise da viabilidade técnica hídrica a fim de aumentar a eficiência de um projeto de irrigação. Nas seções anteriores, você realizou o diagnóstico geral da área, como avaliação do histórico de plantio, parâmetros técnicos, como área e vazão disponível, portanto você fez a viabilidade técnica, depois, na segunda etapa, completou com o balanço hídrico e a eficiência no uso da irrigação, por conseguinte avançou na prática com cálculos sobre viabilidade e a necessidade de irrigação (NI). A partir de agora, vamos finalizar a análise de eficiência técnica e econômica do uso da irrigação na Fazenda Frutos Doces.

Na primeira fase identificamos que o sistema usado ao longo dos anos – irrigação por superfície (sulcos) – não estava sendo viável técnica e economicamente, por causa do histórico de produção com fruteiras com alta necessidade hídrica, além do desperdício no uso da água.

Logo após, foram utilizados parâmetros técnicos para chegarmos à conclusão de que o sistema de irrigação localizada por gotejamento era o que mais se adequava às características produtivas locais em que a eficiência no uso da água de irrigação é extremamente importante para a economia e também para manter a umidade do solo adequada para o crescimento da cultura escolhida pelos administradores da fazenda.

Neste momento, o produtor precisa do seu auxílio para resolver problemas relacionados ao fator climático que exerce grande influência na sua produção. Ele busca adaptar seu plantio com o objetivo de diminuir os altos impactos das elevadas taxas de evapotranspiração da

região, bem como os picos de temperatura e insolação prejudiciais ao desenvolvimento vegetativo, de modo que haja o melhor aproveitamento da água aplicada e o fornecimento de um ambiente produtivo adequado para as fruteiras com o intuito de obter uma máxima produção. Diante dos fatos, qual alternativa produtiva que aliada ao método de irrigação escolhido proporcionará melhores resultados produtivos para o agricultor?

Para finalizar as atividades na Fazenda Frutos Doces, você deverá auxiliar o produtor a responder os questionamentos em relação às técnicas que visam minimizar as condições potencialmente estressantes que possam comprometer a produção agrícola. Essas técnicas, juntamente com o uso de um sistema de irrigação eficiente, poderão trazer alta produtividade e lucro ao fazendeiro. Dessa maneira, você conseguirá concluir a análise da eficiência técnica hídrica para seu cliente.

Bons estudos!

Não pode faltar

Iniciamos a Seção 1.3 fazendo um aparato geral sobre a água e a irrigação até chegarmos às suas aplicações. Como vimos na Seção 1.1 sobre a história da irrigação, ela se mistura com os avanços tecnológicos desde as civilizações antigas até os dias de hoje. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), cerca de 17% da agricultura praticada no mundo é irrigada, no entanto esse pequeno percentual contribui com aproximadamente 40% do total produzido em todo o planeta.

Já na Seção 1.2 estudamos o uso dos recursos hídricos, como a água torna-se cada vez mais um fator limitante para o desenvolvimento agrícola, sendo que a falta ou excesso afeta o desenvolvimento, a patologia e a produtividade agrícola. Victorino (2007) comenta que a água doce própria para consumo humano e produção de alimentos não passa de 1% do total de água em estado líquido do planeta (97% é água salgada e 2% é gelo). As atividades agrícolas respondem por mais de 70% do volume de água doce consumida no mundo, portanto é fundamental o uso racional da água para a produção de alimentos diante de uma população mundial crescente.

A irrigação, já conceituada anteriormente, é uma prática agrícola que busca suprir parcial ou totalmente as necessidades hídricas das

culturas. Por demandar altos custos de implantação, além da aplicação de água, a irrigação deve ser utilizada em todo o seu potencial, como aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, prevenção de geadas e controle de temperatura, entre outros. Em "Avançando na prática" da Seção 1.2, fizemos cálculos de viabilidade técnica e econômica para a escolha do melhor método de aplicação de água para a planta.

O uso correto do manejo das irrigações tem por objetivo maximizar a produção agrícola racionalizando o uso de mão de obra, energia e água, evitando a ocorrência de problemas fitossanitários relacionados a aplicações excessivas ou deficientes de água e o desperdício de fertilizantes.

Bernardo et al (2006) dividem os métodos de irrigação em não pressurizados e pressurizados. Nos primeiros, classificados como **irrigação por superfície**, a água é conduzida por gravidade diretamente sobre a superfície do solo até o ponto de aplicação nas áreas com declividades, de acordo com o tipo de irrigação, sendo assim, nessa prática o terreno precisa ser sistematizado para que o tempo de avanço seja necessário que a água seja distribuída na área. Uma das maneiras de sistematização é utilizar áreas com declividades de 0% a 6%. Na irrigação pressurizada a água é conduzida em tubulações sob pressão até o ponto de aplicação. Nessa categoria estão os métodos de **irrigação por aspersão**, em que a água é aspergida na atmosfera caindo em forma de chuva artificial, e os métodos de **irrigação localizada**, em que a água é aplicada diretamente sobre a região radicular com baixa intensidade e alta frequência.

Para a escolha do método de irrigação, não há um melhor que o outro, e sim o que mais se adapta a cada situação em particular. Existem vantagens e limitações no emprego de cada um deles. Para a escolha do método adequado de irrigação, alguns aspectos devem ser considerados, como disponibilidade e qualidade da água, energia e mão de obra despendida, topografia e tipo de solo, custo de implantação, clima e cultura.

No sistema de irrigação por aspersão a água é aplicada ao solo em forma de chuva, através do fracionamento do jato de água em formato de gotas. Esse fracionamento é obtido pela passagem do fluxo de água sob pressão pelos bocais dos aspersores. São apontados vários fatores que alteram as características de aplicação de água dos aspersores, como o tipo, a pressão de serviço, o diâmetro, o número e o ângulo

de inclinação dos bocais (Figura 1.8). Para cada combinação entre pressão de serviço e diâmetro do bocal, obtêm-se diferentes vazões e diâmetros molhados. A escolha do aspersor é baseada na lâmina de água fornecida, a qual é função da pressão de serviço, diâmetro do bocal e espaçamento entre eles e também a intensidade de aplicação (mm/h).

Figura 1.8 | Tipos de aspersores para irrigação por aspersão convencional



Fonte: <<http://www.ciadasbombas.com.br/site/static/uploads/servico/5f9499cb7475cc21102b50a142792d7e.jpg>>. Acesso em: 1 out. 2017.

A irrigação por aspersão é um método que não exige de imediato a sistematização do terreno, é de fácil instalação em culturas já estabelecidas, sendo também usada em diferentes tipos de solo. Pode-se também aplicar fertilizantes e defensivos, porém cabe ressaltar que há desperdícios desses produtos devido ao sistema por aspersão molhar as entrelinhas de plantio favorecendo o crescimento de plantas invasoras. Além de proteção contra as geadas em áreas propícias, fazendo um bom controle de lâmina de irrigação e da salinidade do solo, eleva a umidade do ar e possibilita irrigações noturnas. Ainda é eficiente, de rápida instalação, de fácil operação e não causa erosão desde que a taxa de aplicação de água do aspersor esteja de acordo com a capacidade de infiltração da água no solo.

Como desvantagens, os sistemas de irrigação por aspersão têm custo inicial relativamente elevado comparado à irrigação por superfície; a distribuição da água é afetada pelo vento, facilitando a disseminação de patógenos e, dependendo do tamanho da gota, pode causar problemas de compactação do solo ao longo do tempo. As irrigações devem ser programadas para não promover lavagem de defensivos e exige mão de obra qualificada.

Fazendo um comparativo com a **irrigação localizada**, nesse método a água é aplicada ao solo diretamente na região das raízes, molhando apenas parte do volume do solo, com baixa vazão e pressão, permitindo alta frequência de irrigação e, conseqüentemente, mantendo o solo com umidade elevada, próxima à capacidade de campo (CC).



Vocabulário

1- Capacidade de campo (CC): é um atributo do solo, dentre os fundamentais que são importantes para a compreensão e para a utilização de dados de umidade do solo: o ponto de murcha permanente (PMP) e a capacidade de campo (CC). O PMP é o teor de umidade no qual a planta não consegue mais retirar água do solo. Já a CC é a capacidade máxima do solo em reter água, acima da qual ocorrem perdas por percolação de água no perfil ou por escoamento superficial. Esses dois fatores são variáveis de acordo com a classe do solo.

2- mca: unidade de medida de pressão, que significa metros de coluna d'água, em que **1kgf/cm²** é a pressão exercida por uma coluna com 10 metros de altura, ou seja, 10 metros de coluna de água (mca), ou 100.000 Pa.

O cultivo em ambiente protegido implica obrigatoriamente a adoção de técnicas que supram a necessidade hídrica das culturas e tem que ser de modo artificial – por meio da irrigação. Dentre os sistemas descritos até agora, o de irrigação localizada por gotejamento se destaca por um uso mais eficiente de água e pela facilidade de automatização.

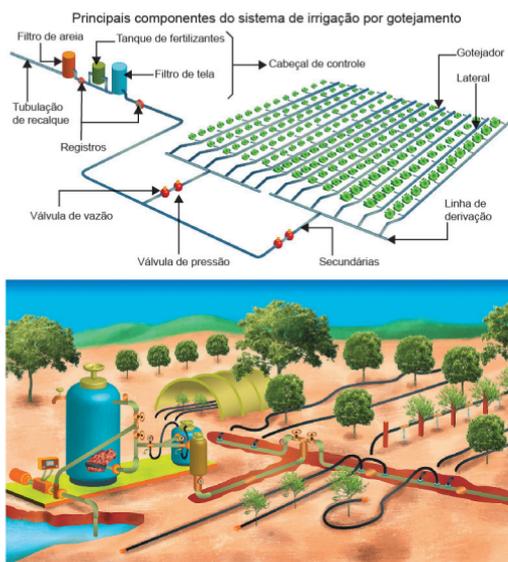
Apesar do sistema de irrigação por gotejamento ser o mais indicado para cultivos tradicionais, não é o mais recomendado para ambientes protegidos. Há os pulverizadores que são amplamente utilizados e que geram o microclima primordial para muitas espécies que são produzidas em ambientes protegidos, mesmo sabendo que cada

sistema apresenta vantagens e desvantagens. O manejo da irrigação, sob condições de ambiente protegido, pode basear-se em fatores do solo, clima e da planta, como vimos na Seção 1.2. O emprego isolado de sensores de solo, tanto para indicar o momento quanto para quantificar o volume de água a aplicar, surge como uma alternativa viável e com baixo custo. Porém, veremos no decorrer da disciplina como fazer o manejo para ambientes protegidos, que seria o monitoramento agroclimático, por exemplo, equipamentos como o tanque Classe A. Em ambiente protegido a evapotranspiração é em média menor que a verificada externamente, devido à redução da radiação solar e da ação dos ventos. Sob tais condições o déficit de vapor d'água é menor, afetando o crescimento e a produção indiretamente.

O planejamento dos projetos de irrigação precisa em primeiro lugar do dimensionamento correto dos equipamentos, pois eles afetarão diretamente a capacidade de aplicação de água no sistema, bem como sua uniformidade de distribuição. Para a elaboração de projetos são necessários levantamento topográfico, estudo da disponibilidade e qualidade da água, determinações de parâmetros de solo e planta e estimativa do consumo de água.

Os impactos ambientais nos projetos de irrigação estão ligados sempre ao uso eficiente e adequado de um dos maiores bens indispensáveis às plantas, a água. Há diversos casos de má utilização da técnica de irrigação, com baixa eficiência dos sistemas ou do uso de água, o que provoca a falsa impressão de escassez em razão dos desperdícios frequentes. Podemos investigar a trajetória da água, desde a fonte até a zona radicular da cultura, e dividi-la em três partes: **condução**, **distribuição** e **aplicação** (Figura 1.9). A **condução** está associada com a trajetória da água desde a fonte até sua entrada na área a ser irrigada, isto é, o trecho representado pela **linha adutora** do projeto, sejam tubulações, sejam canais principal e secundários. A **distribuição** refere-se, como indica o termo, à distribuição da água dentro do projeto, ou seja, à entrega da água às unidades terciárias ou às unidades de irrigação, aquelas que recebem água de uma mesma derivação. E, finalmente, a aplicação consiste no uso da água dentro das unidades, ou parcelas irrigadas, isto é, a **aplicação** da água no solo propriamente dita.

Figura 1.9 | Visão geral de um projeto de irrigação por gotejamento



Fonte: Testezlaf et al (2002, p. 3).

A otimização do setor agrícola vem sendo uma bandeira diante das crises econômicas. Para que isso aconteça no setor é fundamental uma mudança, que deverá ocorrer inicialmente no manejo da irrigação nos próximos anos. No lado de responsabilidades ambientais, o aumento da demanda pelo uso da água e seus impactos ambientais com o uso na irrigação. Tais fatores motivarão uma mudança de paradigma da irrigação, enfocando, além da eficiência técnica/productiva, a eficiência econômica. Esse novo enfoque pode ser descrito simplesmente como "otimização" e o argumento é que a mudança é fundamental, desejável e inevitável e será um avanço significativo nas práticas atuais, já que uma produção eficiente e rentável deve constituir o principal objetivo econômico de uma verdadeira empresa agrícola do século 21.



Assimile

A otimização da irrigação (não deve ser confundida apenas com o manejo da água na parcela (uso adequado do recurso hídrico), ou com a monitoração sistemática da umidade do solo (por exemplo, por meio de tanques classe A), ou do estado hídrico da cultura para se determinar quando e quanto irrigar. É preciso fazer esse acompanhamento sim, mas

que não seja parte do enfoque de otimização. Pelo contrário, novas e mais sofisticadas técnicas de monitoramento da irrigação serão necessárias para implementar ótimos planos de irrigação.

O uso da água com a escassez iminente é dificultado pela falta de padrões de sua medida e quantificação. Medições e registros de umidade do solo, vazão, pressão do sistema, variáveis de clima são raros e providos erros potenciais. Sem a previsão da lâmina de irrigação definida como objetivo é pouco provável que os agricultores apliquem a quantidade de água necessária. Devido ao número e à natureza das variáveis que precisam ser conhecidas (umidade do solo na capacidade de campo, conteúdo de água no solo em um dado momento, profundidade das raízes, vazão disponível, vazão aplicada etc.), não é surpreendente que a eficiência de aplicação para a maioria dos irrigantes seja relativamente baixa – como poderia ser diferente?

Em geral, os grandes projetos de irrigação incluem barragens, lagos, unidades de bombeamento, canais e tubulações, sistema de distribuição de água nas parcelas e sistema de drenagem. Assim, para analisar os efeitos da irrigação sobre o meio ambiente, devem ser considerados os diversos tipos de impactos ambientais inerentes aos projetos de irrigação, ou seja, impactos ambientais nas áreas inundadas, também na jusante das barragens e impactos ambientais da irrigação.

Os projetos de irrigação devem ser planejados sob aspectos técnicos, sociais e ambientais da região a fim de aumentar a lucratividade e a eficiência de uso de água, mantendo as condições de umidade do solo, bem como as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Os principais tipos de impactos ambientais atribuídos aos projetos de irrigação são:

1 - Interferência antrópica no meio ambiente: o desenvolvimento da irrigação pode também causar outros impactos ambientais e ecológicos secundários na região, tais como a indução à monocultura que, alterando a população de insetos local, leva à aplicação de maior quantidade de inseticidas, modificando toda uma cadeia alimentar da região.

2 - Salinização do solo: esse fenômeno ocorre em razão da infiltração da água dos canais e da percolação do excesso de água

aplicada na irrigação, os terrenos nas áreas irrigadas ou no seu entorno podem ter os lençóis freáticos elevados e, conseqüentemente, salinizados.

3 - Contaminação dos recursos hídricos: seria nesse caso um efeito secundário da irrigação, que é a contaminação de rios, nascentes e córregos, além das águas subterrâneas. O excesso de água aplicada à área irrigada, que não é evapotranspirada pelas culturas, retorna aos rios e córregos ou vai direto para os depósitos subterrâneos. Levando os sais solúveis e fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, além de resíduos de herbicidas, inseticidas, fungicidas, que possuem elementos altamente tóxicos. Essa contaminação dos recursos hídricos tem causado sérios problemas ao suprimento de água potável, tanto no meio rural como nos centros urbanos.

4 - Consumo elevado da disponibilidade hídrica da região: vivemos hoje uma crise de disponibilidade de água, com a falta de chuvas sendo o principal vilão, porém sabemos que a agricultura consome a maior parte. Desse modo, torna-se de grande importância a conscientização da sociedade sobre a necessidade de se usar de forma racional os recursos hídricos. O direito de utilização da água inclui também a responsabilidade de usá-la adequadamente. Sendo assim, é imprescindível pensar, ensinar e praticar a irrigação com ênfase na sustentabilidade ambiental.

5- Consumo elevado de energia: a irrigação é uma das práticas aproveitadas na produção agrícola que mais consomem energia, inclusive a tarifação de energia rural é menor que a zona urbana. Atualmente, ao se fazer análise e avaliação de projetos de irrigação em funcionamento, as modificações sugeridas para melhorar a eficiência da irrigação, ou seja, otimizar o uso da água, tem como consequência direta a redução do consumo de energia.

6- Problemas de saúde pública: há muitas evidências mundiais de que, após a irrigação, ocorrem impactos ambientais responsáveis por problemas adversos à saúde pública. Com relação a isso, podemos mencionar a contaminação do irrigante durante a condução da irrigação, contaminação da comunidade próxima à área irrigada e contaminação do usuário de produtos irrigados.

A qualidade da água para irrigação nem sempre é conceituada de maneira correta, referindo-se às vezes à sua salinidade no tocante à quantidade total de sólidos dissolvidos, expressa em miligramas por litro,

partes por milhão ou por meio de sua condutividade elétrica. Porém, para que se possa fazer uma interpretação certa da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com os seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, os quais serão essenciais para controlar ou compensar os problemas envolvidos com a qualidade da água (BERNARDO et al, 2006).



Refleta

Uma das formas de reúso de água de qualidade inferior com retorno expressivo está na utilização das águas empregadas no meio urbano para um segundo uso na agricultura. Embora essas águas sejam consideradas "poluídas", elas contêm nutrientes que beneficiam o solo e podem melhorar significativamente a produtividade agrícola. Em geral, o setor agrícola investe muitos recursos em fertilizantes químicos para compensar as necessidades das culturas em nitrogênio, fósforo e potássio, que estão contidos em grandes quantidades nas águas de origem de reúso. Estudos realizados na Califórnia, em Israel e Portugal têm demonstrado que diversas culturas irrigadas com águas de esgoto urbano requerem pouca ou nenhuma complementação adicional de fertilizantes químicos ou orgânicos (Bernardi apud Beekman, 2003).

Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas, por isso convencionou-se o uso da salinidade como fator principal de qualidade para água de irrigação.

A avaliação da qualidade da água para irrigação é feita por meio desses principais parâmetros: condutividade elétrica, salinidade, pH, sólidos totais dissolvidos, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre, cobre, ferro, zinco, manganês, molibdênio e índice de razão de adsorção de sódio (RAS). E avaliado ainda a presença de contaminantes como chumbo, cádmio, cromo, bário, mercúrio e alumínio.

Água com alta proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio pode resultar em solo sódico, porque o sódio desloca o cálcio e o magnésio adsorvidos causando a dispersão dos coloides (ALLISON, 1964; FULLER, 1967). Na avaliação da qualidade da água para irrigação, em relação ao perigo de sódio, considera-

se, além da relação de adsorção de sódio (RAS), o carbonato de sódio residual (CSR). Águas de rios, barragens e poços contêm normalmente de 150 a mais de 1.500 mg/l de sal (0,234 a 2,34 mmhos/cm) e valores de relação de adsorção de sódio (RAS) até mais de 30 (RICHARDS, 1970).



Exemplificando

A qualidade da água para uso na irrigação é medida por meio de parâmetros técnicos (químicos, físicos e biológicos). A primeira etapa do processo de análise da qualidade começa com a coleta das amostras de água (AGROLAB, 2017): recomendam-se recipientes plásticos estéreis, deve-se coletar a água em diferentes pontos, identificar com etiquetas e acondicionar logo em seguida numa caixa de isopor com gelo. Chegando ao laboratório, as principais análises são os seguintes parâmetros: pH (representa a concentração de íons de hidrogênio (H^+)); condutividade elétrica (mede a quantidade de sais dissolvidos na água); oxigênio dissolvido (quanto de oxigênio está dissolvido na água); turbidez (esse parâmetro indica que há materiais em suspensão); ferro (quantidade de Fe^{+2} , Fe^{+3} , Na^+) (quantidade de sódio dissolvido na água); cálcio (quantidade de cálcio dissolvido na água) e magnésio (quantidade de magnésio dissolvido na água).

O conceito de qualidade da água refere-se às suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, em outras palavras, a relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. A qualidade da água define-se por uma ou mais características físicas, químicas ou microbiológicas.



Pesquise mais

Estudamos nesta seção a importância da qualidade da água e sua influência em diversos fatores nos sistemas de irrigação, sejam eles econômicos ou ambientais. SILVA et al (2011) fizeram um artigo-revisão sobre a **qualidade de água na irrigação**. SILVA, I. N. et al Qualidade de água na irrigação. Agropecuária Científica no Semiárido – ACSA, v. 7, n. 3, p. 1-15, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/134/pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

Agora que compreendemos os conceitos iniciais da disciplina nesta Unidade 1 – a viabilidade técnica e econômica –, vamos recapitular o que fizemos e chegar à resolução da problemática apresentada: você foi selecionado como técnico da Fazenda Frutos Doces para auxiliar os demais técnicos da fazenda na elaboração de um relatório de avaliação da viabilidade técnica e econômica da irrigação, já foi verificada a captação de água irregular, foi feita a correção na segunda etapa desse relatório e, a partir da análise dos custos, foram realizadas também adequações econômicas e escolha de um sistema de irrigação mais eficiente que vai ajudar no aumento da produtividade e diminuir o desperdício de água.

Aliado ao sistema de gotejamento sugerido ao produtor, você vai recomendar o uso de cultivo protegido demonstrando que essa alternativa consiste em uma técnica que possibilitará o controle de variáveis climáticas, como temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, as quais culminam em elevadas taxas de evapotranspiração. Com relação à temperatura do solo, pode-se mantê-la dentro da faixa mais adequada para a cultura com um manejo da irrigação. No verão, a irrigação e o manejo da temperatura do ar contribuem para a manutenção dentro da faixa ideal para os cultivos agrícolas.

O cultivo em ambiente protegido minimiza os efeitos da variabilidade ambiental, melhorando o desenvolvimento das culturas. Além de controlar total ou parcialmente os fatores climáticos, protege os cultivos e favorece o crescimento das plantas. Ao ser utilizado em pequenas áreas, pode-se produzir pelo menos uma vez e meia, ou o dobro, a produção de áreas não protegidas, possibilitando ainda a oferta constante de hortaliças. Esse controle do ambiente proporcionará um grande ganho de eficiência produtiva. Ademais, o cultivo protegido permite que o efeito da sazonalidade diminua favorecendo a oferta mais equilibrada ao longo dos meses, ou seja, quando se cultivam em ambientes protegidos podem ser obtidas boas produtividades o ano inteiro, possibilitando maiores produções em épocas de melhores preços, como nas entressafras, o que possibilitará ao produtor obter mais lucros com o investimento realizado. É importante ressaltar que somado ao uso do ambiente protegido será necessário que o produtor tenha

certos cuidados com a água de irrigação, monitorando sempre os níveis de sais para evitar a salinização que se bem manejada não causará grandes prejuízos.

A prática de cultivo em ambiente protegido, associada ao manejo criterioso da irrigação, contribuirá com o aumento na produtividade da Fazenda Frutos Doces, bem como na melhoria da qualidade do produto.

Assim, baseado nos conteúdos que foram estudados durante a unidade e as resoluções das situações-problema apresentadas, você conseguirá compilar as informações e entregar ao professor a análise da eficiência técnica hídrica da Fazenda Frutos Doces.

Avançando na prática

Avaliação da qualidade da água na irrigação em ambiente protegido

Descrição da situação-problema

Na Fazenda Frutos Doces existe uma fonte principal de captação que é um rio, mas há também poços artesianos em vários pontos. Em um desses poços será feita a captação para o projeto de irrigação na estufa. Sendo assim, foram realizadas coletas de amostras de água dos poços. Conforme solicitação, as amostras de água coletadas passaram por análise laboratorial. Os parâmetros escolhidos para avaliar a qualidade da água seguiram as recomendações de Ayers e Westcot (1991), que são: pH, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Solúveis (STS), *Nitrato* ($H-NO^3$), *RAS*, *S dio* (Na^{++}), *Cloro* (Cl^-) e *Bicarbonato* (HCO^3). Todos os procedimentos de análise foram feitos seguindo o APHA (1998) e os procedimentos de coleta estabelecidos pela NBR 9898/87.

Os problemas relacionados à qualidade da água para irrigação estão ligados à salinidade, pois o efeito dos sais são devastadores tanto nos sistemas de irrigação como no entupimento na canalização e bicos na irrigação localizada. Nesse sistema que estamos usando na estufa, bem como nas plantas a serem irrigadas, temos que medir sódio, STS, nitrato, cloro e bicarbonato. A partir dos conhecimentos técnicos acerca do assunto, surgem as dúvidas: os níveis de sais na água causarão a redução do potencial osmótico da solução do solo? Haverá diminuição da disponibilidade de água para as plantas? Os sais encontrados na água de irrigação poderão causar a toxicidade nas plantas? Os níveis de sal

na raiz da planta poderão prejudicar o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade?

Tabela 1.7 | Resultado da análise da água com os parâmetros avaliados e limites de tolerância

Parâmetro	Min.	Máx.	Média (meq / L)	Limites de tolerância*
pH	6,9	7,7	-	6,5 a 8,4
CE ($dS \cdot m^{-1}$)	0,01	0,05	0,02	< 0,7 a 3,0
STS ($mg \cdot L^{-1}$)	0,04	0,71	0,22	< 450 a 2000
Nitrato ($mg \cdot L^{-1}$)	0,1	5,5	-	< 5,0 a 30,0
Cloro ($mg \cdot L^{-1}$)	0,03	0,93	0,007	< 4,0 a 10,0
Sódio ($mg \cdot L^{-1}$)	0,01	0,1	0,003	< 3,0 a 9,0
Bicarbonato ($mg \cdot L^{-1}$)	0,83	1,4	0,01	< 1,5 a 8,5
RAS	0,003	0,03	-	< 32,19

Fonte: adaptado de *Limites de tolerância de acordo com Ayers e Westcot (1991).

Com o resultado da análise da água em mãos, caberá a você avaliar o resultado e indicar se os teores de sais poderão ou não ser prejudiciais à produtividade agrícola, dando parecer favorável ou desfavorável para o uso do poço como fonte de irrigação.

Resolução da situação-problema

Conforme a Tabela 1.7, os resultados de pH estão no limite de tolerância proposto por Ayers e Westcot (1991). Igualmente ocorreu com a CE, cujos resultados apresentaram valores aceitáveis para água de irrigação, com média de $0,02 dS \cdot m^{-1}$. Para STS o resultado da média foi de $0,22 mg \cdot L^{-1}$ abaixo do limite de tolerância estabelecido. Para o Nitrato o valor médio encontrado foi de $1,78 mg \cdot L^{-1}$, também abaixo dos limites propostos, não caracterizando restrição ao uso da água em relação ao Nitrato e aos STS. Os demais parâmetros, Cloro, Sódio, Bicarbonato e RAS, estão nas médias toleráveis. Portanto, o uso dessa fonte de captação está aprovado.

Faça valer a pena

1. No Brasil, mesmo com todos os problemas de escassez de água, na maioria das regiões agrícolas do país, a irrigação assume grande importância na obtenção de aumentos de produtividade e de qualidade dos produtos.

Sobre os diferentes sistemas de irrigação, analise as alternativas a seguir e marque a correta.

- a) A irrigação localizada possui como principal vantagem poder ser usada em regiões com pouca disponibilidade de água.
- b) As irrigações por aspersão devem usar as fontes de água que possuam altas concentrações de cloreto de sódio, pois assim não haverá seu acúmulo no solo.
- c) O uso da irrigação por aspersão é afetado principalmente pelo vento, a precipitação de chuva, o tipo de solo e a temperatura.
- d) Os métodos de irrigação por superfície apresentam eficiência de aplicação superior aos métodos de irrigação subsuperficial e localizada.
- e) A escolha do método de irrigação por superfície em solos com baixa capacidade de retenção de água é o ideal, pois subentende-se que não haverá problemas com encharcamento.

2. Na agricultura irrigada podemos adotar vários sistemas, os quais apresentam características variáveis como relação à eficiência no uso da água, custos de implantação, atributos geográficos da região e cultura a ser implementada.

De acordo com o que foi apresentado no texto-base, pode-se afirmar que:

- a) A inundação é uma técnica de irrigação muito antiga e, apesar do avanço da tecnologia disponível, é ainda muito utilizada no Brasil pela sua grande eficiência no uso da água.
- b) Entre as vantagens da irrigação localizada, destacam-se a economia na instalação e a manutenção comparada aos sistemas convencionais de irrigação por aspersão e por superfície.
- c) O sistema de irrigação por sulcos oferece alta eficiência no uso da água, além de apresentar baixos custos com implantação e manutenção.
- d) O método localizado apresenta alta eficiência do uso da água, permitindo melhor controle da lâmina de água aplicada. No gotejamento, uma maneira de ampliar a eficiência dá-se por meio do aterramento das mangueiras de adução.
- e) Os pivôs centrais proporcionam alta eficiência no controle fitossanitário, porque possibilitam o molhamento da parte aérea dos vegetais, o que facilita o controle dos insetos e fungos.

3. A irrigação por aspersão possui vantagens e desvantagens que devem ser cuidadosamente avaliadas no momento da escolha em cada projeto de irrigação, pois, a partir do momento da escolha do método, haverá custos de implantação, manutenção e operação. Sobre essa temática, analise as afirmativas a seguir e assinale com V as verdadeiras e com F as falsas.

() Ainda que bem projetado, um sistema de aspersão não será capaz de aplicar a água em condições de permitir ao mesmo tempo uma adequada e uniforme lixiviação dos sais.

() A aspersão pode causar necroses nas folhas das plantas sensíveis devido à aplicação foliar de águas contendo sais.

() Não existem provas concretas de que o aumento da salinidade da água provocada pela evaporação durante a aspersão seja de importância significativa.

Assinale a sequência correta da classificação das afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F).

a) F; V; F.

b) F; V; V.

c) F; F; V.

d) V; F; V.

e) V; V; V.

Referências

AGROLAB. Instrução Técnica. **Como coletar amostras de efluentes e águas não potáveis (rios, lagos, mar, poços etc.)**. 2017. Disponível em: <<http://www.laboratorioagrolab.com.br/downloads/TOP-IT-003%20-%20COMO%20COLETAR%20AMOSTRAS%20DE%20EFLUENTES.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2017.

AGÊNCIA Nacional de Águas - ANA. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguaAgriculturalIrigada.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acesso em: 6 out. 2017.

ÁGUA, HOJE E SEMPRE. **Uso da água na agricultura**. Disponível em: <<http://agua-e-seu-consumo-sustentavel.blogspot.com.br/2011/09/uso-da-agua-na-agricultura.html>>. Acesso em: 15 set. 2017.

ALLISON, L. E. Salinity in relation to irrigation. **Agronomy**, v. 16, p. 139-180, 1964. Reimpresso de Adelantos.

ALMEIDA, W. C. **A água na agricultura**: algumas considerações sobre o uso da água na agricultura. Disponível em: <http://www.abda.com.br/texto/palestraalmeida_impr.htm>. Acesso em 16 set. 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Estados Unidos da América, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897**: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. N. (Org.). Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, n. 29, revisado).

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. 2003. Monografia (Mba) - Curso de Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Iseafgv/Ecobusiness School, Brasília, 2003. 52 f.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

_____. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil, 2014**: relatório síntese/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016. 33 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. **Relatório da conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2013.

_____. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 14 set. 2017.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 17 set. 2017.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 212 p.

_____. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS.** Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2017.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015.** Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017. 212 p.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. de C. **Sistema irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos.** (RESUMO). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalias/busca-de-publicacoes/-/publicacao/779586/sistema-irrigas-para-manejo-de-irrigacao-fundamentos-aplicacoes-e-desenvolvimentos>>. Acesso em: 30 set. 2017.

CHRISTOFIDIS, D. Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada? **Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 64, p. 30-31, 2004.

COELHO JUNIOR, E. M. Recursos hídricos a responsabilidade do setor agrícola na preservação de água no Brasil. In: XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://soac.unb.br/index.php/ENEEAmb/ENEEAmb2016/paper/viewFile/4889/1172>>. Acesso em: 15 set. 2017.

_____. **Evolução das áreas com irrigação mecanizada no Brasil (2000-2014).** Item n. 103. ABID, 2015, 86 p.

CSEI/ABIMAQ – Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. **Evolução das áreas com irrigação mecanizada no Brasil (2000-2016).** Item n. 105. ABID, 2017, 92 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Information system on water and agriculture – AQUASTAT, 2012.

FRIZZONE, A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. 627 p.

FULLER, W. H. **Water, soil and crop management principles for the control of salts.** Tucson: The University of Arizona, Bulletin, A-43. 1967. 21 p.

GIACOIA NETO, J. **Sistemas de irrigação para jardins e gramados.** Disponível em: <<http://www.rainbird.com.br/upload/ferramentas-de-trabalho/Artigos/Irrigacao-para-Paisagismo.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2017.

IANALÍTICA. **Tratamento da água**. Disponível em: <<https://ianalitica.wordpress.com/aplicacoes-com-analisadores-insdustriais/aplicacoes-com-analisadores-em-aguas/tratamento-da-agua/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo agropecuário – 2006. Rio de Janeiro, 2009.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e práticas. Viçosa: Editora UFV, 2006. 318 p.

MAROUELLI, W. A. **Projetos: Avaliação e desenvolvimento de tecnologias para racionalização do uso de água em fruteiras tropicais e hortaliças irrigadas nas regiões do Semiárido, Tabuleiros Costeiros e Cerrado**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/9355/avaliacao-e-desenvolvimento-de-tecnologias-para-racionalizacao-do-uso-de-agua-em-fruteiras-tropicais-e-hortalicas-irrigadas-nas-regioes-do-semiarido-tabuleiros-costeiros-e-cerrado>>. Acesso em: 18 set. 2017.

PENSA. **Desenvolvimento da cadeia produtiva de irrigação no Brasil**. São Paulo, 2010. 177 p.

POLÍTICA Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Pn4Lm1pswTA>>. Acesso em: 10 set. 2017.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos**. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172p. il (Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultor, 60).

SILVA, I. N. et al. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido – ACSA**, v. 7, n. 3, p. 1-15, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/134/pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

SILVESTRE, M. E. D. Código de 1934: água para o Brasil industrial. **Revista geo-paisagem (on line)**, ano 7, n. 13, 2008. Disponível em: <<http://www.feth.ggf.br/%C3%81gua.htm>>. Acesso em: 14 set. 2017.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **A importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2002. 45 p.

THIEL, A. A. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Câmpus Camboriú (Ed.). **Reúso de água com enfoque na produção da agricultura familiar**. Camboriú: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012. 40 p. Disponível em: <<http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/enf026/files/2013/10/cartilha-reuso-agua-2013.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2017.

TV BRASIL. **Tecnologia de captação de água no semiárido nordestino pode ajudar locais que passam por estiagem**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ojmVcJh31A>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

VESENTINI, J. W. **Geografia: o mundo em transição**. São Paulo: Editora Ática, 2012, p. 218.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede**: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

WWAP. United Nations World Water Development Report 3 water is a changing in world. Paris. UNESCO. Publishing/World Water Assentement Program (WWAP); London: Earthscan, 2009.

ZARDINI, C. S. **Aproveitamento de água de chuva** – Estudo da viabilidade em diferentes capitais brasileiras. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Goiás, 2014, 63 p.

Água no solo e demanda hídrica

Convite ao estudo

Olá, aluno, seja bem-vindo!

O aspecto fundamental da irrigação é a reposição de água na matriz do solo no momento correto e na quantidade necessária. O excesso de água no solo na maioria das vezes é responsável pela redução da produtividade, queda da qualidade produtiva e por maior desperdício de energia ou combustível. Diante desse aspecto, surgem os procedimentos de manejo da irrigação que hoje vêm ganhando mais notoriedade dentro do meio agrícola. Conhecendo essas estratégias, juntamente com as características físicas do solo, hídricas, climáticas, culturais e formas de operação dos sistemas de irrigação, propõe-se o uso econômico dos recursos hídricos acarretando menor prejuízo ambiental.

Mas, afinal, como fazer esse manejo? Quais os aspectos que levaremos em consideração para realizá-lo? Vamos partir da seguinte situação para respondermos essas perguntas: você é um profissional habilitado para trabalhar com irrigação, recém-contratado por uma empresa especialista em consultoria e elaboração de projetos na área de irrigação. Você atua diretamente com o técnico da área e a comunicação entre vocês será relevante para o sucesso do empreendimento. João, produtor e dono de uma fazenda de gado leiteiro da região, procurou-os, pois está com problemas em uma das áreas da propriedade. Ao chegarem lá vocês tomaram conhecimento de que João já recebeu treinamento da empresa da qual vocês fazem parte e ele mesmo executa todo o manejo da irrigação na fazenda.

O produtor explicou que os rendimentos vêm crescendo

muito nos últimos anos, devido à implantação do uso da irrigação e também do correto e efetivo manejo de água e solo, o que possibilitou maior eficiência no uso da água, logo, menor desperdício, menor degradação do solo, além da economia no consumo de energia elétrica. A fazenda utiliza em todas as suas áreas de pastagem o sistema de irrigação por aspersão. Após a implantação dos sistemas de irrigação, frequentemente é realizada a medição de umidade do solo, usando aparelhos de Reflectometria no domínio do tempo (Time Domain Reflectometry – TDR), para saber se o sistema de irrigação está atendendo as necessidades e se o armazenamento de água nos solos está sendo satisfatório. O manejo da irrigação é feito de dois modos: via solo, com uso de tensiômetros; e via clima, através do uso de tanques classe “A”, nesse caso o próprio produtor efetua as medições e faz as anotações e, posteriormente, aplica a lâmina de irrigação. Todos os processos são anotados e a cada 15 dias é gerado um relatório de acompanhamento. No último relatório foram detectados problemas em uma área na qual uma parte do rebanho da fazenda estava pastando nos últimos dias.

João entrega a você todos os dados das áreas, as planilhas de anotação com as medições do tanque classe “A” e dos tensiômetros, bem como os resultados dos testes feitos nos locais. Após conhecer o lugar, ter contato com a situação e observar *in loco* tudo o que está descrito nos relatórios, foram destacadas as seguintes informações: em virtude do excessivo pisoteio do gado nos últimos dias, ocorreu uma pequena compactação da camada superficial do solo; havia excesso de umidade no solo; a água estava infiltrando lentamente; segundo a leitura dos tensiômetros o solo estava ficando acima da capacidade de campo; e a pastagem naquele local estava tendo seu crescimento prejudicado devido ao excesso de água. O produtor afirma que está aplicando a lâmina de irrigação conforme a leitura do tanque classe “A” e dos tensiômetros, decisão que partiu do próprio dono e da equipe da fazenda. Após a visita, vocês retornam ao escritório para iniciar o estudo e tentar investigar as possíveis causas do problema em

conjunto, lembrando que a comunicação entre as partes será fundamental para a resolução do caso apresentado.

Desse modo, como ocorre o processo de armazenamento de água no solo? Como é definida a umidade de um solo? Como acontece o processo de infiltração de água no solo? Cada cultura deve receber exatamente a mesma quantidade de água? Como determinar quanto, quando e como irrigar para orientar corretamente o produtor?

Você será capaz, ao final desta unidade, de entender o conteúdo desse relatório, trabalhando as respostas obtidas com os estudos. Será possível concluir quais fatores estão causando os problemas encontrados na área da fazenda e evidenciar as possíveis soluções para corrigi-los.

Seção 2.1

Umidade e densidade do solo aplicadas à irrigação

Diálogo aberto

Caro aluno, a umidade e a densidade são atributos físicos do solo essenciais para que você entenda uma série de processos importantes relacionados com a irrigação e drenagem como: a infiltração de água no solo, a absorção de água pelas plantas e também o quanto o solo consegue armazenar de água, entre outros fatores que vamos lhe apresentar no decorrer da disciplina. Durante a sua vida profissional, você ainda deverá se deparar diversas vezes com situações em que a umidade e a densidade do solo irão influenciar na sua tomada de decisão após a realização da análise de solo, na escolha de qual manejo adotar, de qual prática agrícola você deverá escolher para ajudar o produtor a solucionar possíveis problemas que venham a aparecer.

Além disso, o meio agrícola também evolui no que diz respeito à inserção de tecnologias no ambiente rural. Um exemplo disso é o uso de sensores para determinação da umidade do solo em campo, que usam diversas tecnologias e técnicas diferentes, como a reflectometria no domínio do tempo e a moderação de nêutrons. É sua função como profissional capacitado conhecer essas técnicas e entender seus princípios de funcionamento e como utilizá-las. E entendendo bem esses fatores você conseguirá galgar com êxito sua escolha e alcançar o objetivo de fazer um eficiente e correto manejo da irrigação.

Iniciaremos o nosso estudo com a seguinte situação-problema: você trabalha com irrigação e lê atentamente o relatório, observando nos dados (Tabela 2.1.) que lhe foram entregues as informações sobre as características físicas do solo e hídricas da área na qual o excesso de umidade do solo está ocorrendo.

Tabela 2.1 | Características físicas do solo da fazenda

Profundidade (<i>m</i>)	Areia	Argila	Silte	Densidade do solo (<i>g · cm⁻³</i>)	Porosidade do solo (<i>cm³ · cm⁻³</i>)	θ_{cc} (<i>cm³ · cm⁻³</i>)	θ_{pmp} (<i>cm³ · cm⁻³</i>)
	<i>g · kg⁻¹</i>						
0 - 0,30	397,9	299,5	302,6	1,56	0,41	0,22	0,12

Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Você sabe que essas características têm relação direta com o armazenamento de água no solo e deve identificar como as mudanças na estrutura física do mesmo podem estar influenciando no armazenamento de água e, por conseguinte, no excesso de umidade, que pode ser decorrente da pequena compactação da camada superficial do solo. Também analisou e concluiu que a primeira parte do trabalho será identificar quais atributos físicos do solo foram alterados e como essas informações ajudam a diminuir o excesso de umidade na área encontrado por João.

Vamos estudar detalhadamente a água no solo, para ajudar o produtor a resolver os problemas e definir as suas respectivas soluções.

Bons estudos!

Não pode faltar

O solo é o meio pelo qual a água e os nutrientes são armazenados e disponibilizados para as plantas. Através dos fenômenos de adsorção ou adesão – força de atração da molécula de água pela partícula do solo – e de capilaridade, que é representada pelo movimento ascendente da água num tubo capilar, que no caso do solo é representado pelo seu espaço poroso, a água fica retida após um evento de chuva ou instante de irrigação; essa água constitui a umidade do solo que será fornecida para as plantas, de modo que elas possam atingir um ótimo desenvolvimento e uma eficiente produtividade.

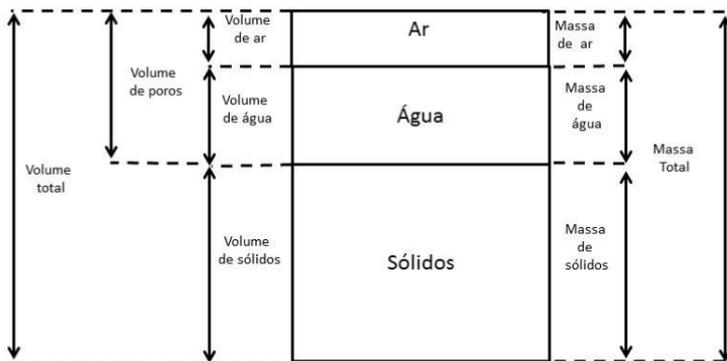
A facilidade com que as plantas absorverão a água está intrinsecamente ligada ao conteúdo de água no solo, assim, dependendo dessa umidade retida, as plantas terão maior ou menor facilidade em extrair água e, portanto, de atender as suas necessidades. Nem toda água que o solo armazena está disponível para as plantas. Esse fenômeno acontece porque à medida que o solo seca, vai aumentando a força de retenção e diminuindo a água disponível no solo, tornando-se mais difícil às plantas absorver água.

Quando se conceitua o solo partindo das suas características físicas, pode-se dizer que ele é considerado uma mistura de ar e água, que o constituem, com as substâncias que estão dissolvidas e o seu espaço poroso de partículas minerais e orgânicas. Essas

partículas compõem a matriz sólida, enquanto a solução e o ar ocupam os poros formados pela parte sólida do solo.

A Figura 2.1 apresenta o desenho esquemático das três porções que constituem cada fase do solo. É possível observar a dimensão da massa e do volume dos componentes do solo a partir do esquema proposto.

Figura 2.1 | Representação esquemática da relação massa-volume dos constituintes do solo



Fonte: Silva (2009, p. 12).

A densidade do solo (D_s) traz o seguinte conceito: é a razão entre a grandeza de massa de solo seco (M_s) pelo volume do solo (V). Quando se trata de volume do solo já se faz referência ao volume de sólidos e de poros do solo. Também é chamada de densidade aparente ou densidade global ou massa específica aparente (d_s) e pode ser determinada através da equação:

$$D_s = \frac{M_s}{V}$$

Portanto, é possível afirmar que havendo modificação do espaço poroso do solo acarretará alterações na sua densidade. A densidade do solo varia naturalmente devido a sua textura, quantidade de matéria orgânica contida no solo e práticas de manejo do solo (ação antrópica), como aração, gradagem e subsolagem que se forem realizadas de forma inadequada poderão causar um elevado grau de compactação do solo.

Uma das características dos solos compactados é apresentar aumento da densidade e redução principalmente dos macroporos; alterando, assim, os vazios totais do solo. A variação dos intervalos de

umidade poderá oferecer níveis críticos de densidade do solo, visto que, com baixos valores de umidade, a resistência à penetração ou à água disponível torna-se limitante, em contrapartida, em situações de umidade elevada, a aeração do solo passa a ser um fator limitante (SILVA, 2009).

Os valores normais de densidade para solos arenosos podem variar de 1,2 a 1,9 g/cm³, enquanto solos argilosos possuem valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g/cm³ (EMBRAPA, 2011). Geralmente, a densidade do solo é determinada através de métodos laboratoriais destrutivos, sendo os mais utilizados o método do anel volumétrico e o método do torrão parafinado.

No método do anel volumétrico, uma amostra de solo é coletada com estrutura indeformada em um anel volumétrico de volume conhecido (**V**). Essa amostra de solo deve ser secada em estufa de ventilação forçada a **105-110 °C** para que a sua massa seca (**Ms**) seja estabelecida. Com o volume de solo conhecido e de posse da massa seca, é possível definir a densidade do solo usando a expressão geral descrita anteriormente.

Já o método do torrão parafinado consiste em impermeabilizar um torrão imergindo-o em parafina fundida. O volume do torrão é calculado afundando-o em água e seu peso deverá ser obtido dentro e fora da água. Partindo do princípio de Arquimedes, o volume do torrão mais a parafina é calculado, sendo este igual ao peso da água que foi deslocada. Logo, ao deduzir-se o volume da parafina tem-se o volume do torrão.



Assimile

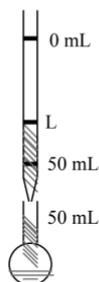
Diferentemente da densidade do solo, a densidade da partícula (**Dp**) pode ser definida como a relação entre a quantidade de massa de solo seco (**Ms**) por unidade de volume de solo seco (**V**); nesse caso, não se leva em consideração a porosidade, e ela não é variável com o manejo do solo. Ela está diretamente relacionada em primeiro lugar com a composição química e composição mineralógica do solo. A densidade dos sólidos também é conhecida pelos nomes: densidade de partículas, ou densidade real, ou massa específica dos sólidos e pode ser calculada através da seguinte equação:

$$dp = \frac{Ms}{V}$$

A densidade de partículas depende da composição da fração sólida do solo e de modo geral varia de 2,60 a 2,70 g/cm^3 .

A maneira mais utilizada para determinação da densidade de partícula do solo é o método do balão volumétrico (MBV). Consiste em pesar 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) e transferi-la para um balão volumétrico de 50 mL, adicionar 20 mL de álcool etílico no balão volumétrico que contém a TFSE através de uma bureta que inicialmente estará com 50 mL de álcool, agitar a amostra para que se misture e colocar para repousar durante 15 minutos, passado o tempo completa-se o volume do balão volumétrico e faz-se a leitura de L na bureta, conforme a Figura 2.2 (EMBRAPA, 2011).

Figura 2.2 | Representação esquemática da leitura da bureta na determinação da densidade do solo pelo método do balão volumétrico



Fonte: EMBRAPA (2011, p. 35).

Após a leitura, o volume dos sólidos deve ser calculado através da equação e, depois, a densidade da partícula é obtida pela equação:

$$Dp = \frac{20}{(50 - L)}$$

Outra propriedade física do solo que está diretamente ligada à irrigação é o conteúdo relativo de água no solo. Esse conteúdo pode ser expresso com base de massa chamado de umidade gravimétrica, ou com base de volume, a chamada umidade volumétrica.

A umidade na base de peso ou umidade gravimétrica (U) é definida como a relação entre a massa de água (M_a) e a massa do solo seco (M_s) e calculada através da equação:

$$U = \frac{Ma}{Ms} \times 100$$

Já a umidade na base de volume (θ) é a relação entre a massa de água (Ma) e o volume total da amostra (V) podendo ser obtida com a equação:

$$\theta = \frac{Ma}{V}$$

A umidade com volumétrica também pode ser mensurada levando-se em consideração a densidade do solo, ela é calculada através da seguinte expressão:

$$\theta = U \times Ds$$

Conhecer o teor de água do solo é imprescindível para a prática da irrigação, trata-se de uma estratégia para manejá-la de grande importância e precisão, sendo amplamente empregada na compreensão do movimento de água no solo, água disponível no solo, estudos de perda de solo, além de ser um conceito muito aplicado para definir quanto e quando irrigar.

Diferentes métodos são conhecidos para essa determinação, apresentando na maior parte das vezes algumas ressalvas no que diz respeito a sua exatidão, ao investimento realizado, ao tempo de resposta e ao nível de dificuldade durante a execução. A escolha do método que será usado varia com a intenção, as finalidades e os instrumentos que estarão à disposição.

Esses métodos são classificados em: diretos (método gravimétrico) e indiretos (moderação de nêutrons e reflectometria no domínio do tempo – TDR). O método gravimétrico – direto e muito eficaz – é realizado pesando-se amostras de solo úmidas e secas. O processo de secagem da amostra é feito em estufas com temperaturas médias de 105 °C até a amostra de solo atingir peso constante. Também pode ser encontrado na literatura com o nome de método padrão da estufa (KLEIN, 2008; BUSKE et al., 2014).

Equipamentos utilizados

- Latas de metal com volume conhecido.
- Estufa de ventilação forçada.
- Balança de precisão.
- Trado para realização da amostragem do solo.

Método de análise

Inicialmente as latas são pesadas, anotando-se o valor obtido como a respectiva massa ou tara da lata. Posteriormente coloca-se a amostra de solo úmida coletada, vedando-a bem imediatamente. O conjunto deverá ser pesado e procede-se a anotação dos valores obtidos que se referem à massa úmida (M_u). Remove-se a tampa e o conjunto deve ser colocado na estufa de circulação forçada com temperatura constante de **100 a 105 °C** mantendo as amostras na estufa até que elas adquiram massa constante. Posteriormente o conjunto deve ser pesado e anotado como a massa seca (M_s). Retira-se o conjunto da estufa vedando-a bem imediatamente e aguardar que a temperatura entre em equilíbrio com o ambiente antes de proceder a pesagem.

Após o processo e com os valores encontrados, determinam-se as umidades, usando as seguintes equações (EMBRAPA, 2011):

$$\text{Umidade gravimétrica: } U = \frac{M_u - M_s}{M_s}$$

$$\text{Umidade volumétrica: } \theta = U \times D_s$$

Pelo conceito da umidade com base no volume é possível concluir que a umidade é definida se há quantidade de água para um certo volume de solo já conhecido. Essa informação propicia a transformação da umidade em altura de lâmina de água para cada centímetro de solo que se deseja calcular. Esse dado é bastante usual e apresenta grande relevância para o dimensionamento de sistemas de irrigação, sendo amplamente usado quando se deseja estabelecer a quantidade de água que será aplicada na lâmina de irrigação.

Uma desvantagem desse método quando for para manejar a irrigação é que ele só permite o cálculo do teor de água no solo em aproximadamente 48 horas após o solo ser coletado e levado ao laboratório.

Quando se trata de métodos indiretos de determinação da umidade do solo, o método da sonda de nêutrons é um dos mais conhecidos. Ele fundamenta-se na inter-relação entre a umidade do solo e a dissipação de nêutrons com o meio. Essa determinação é possível, porque há uma interação entre esse poder dissipador e o conteúdo de água do solo, sendo amplamente dependente da quantidade de átomos de hidrogênio, os quais possuem a capacidade de moderar a energia cinética dos nêutrons rápidos de forma eficiente. Esses elementos químicos têm as mesmas massas, proporcionando choques elásticos.

O princípio básico de funcionamento do método consiste no fato de a sonda conseguir detectar nêutrons térmicos causados pela inter-relação do solo e dos nêutrons rápidos de sua própria fonte, através da absorção e da dissipação de nêutrons por colisões.

O equipamento utilizado recebe o nome de sonda de nêutrons e é constituído de duas partes principais: a sonda, na qual está contido o emissor de nêutrons acelerados e um reconhecedor de nêutrons lentos. O processo de definição da umidade do solo inicia com a introdução dessa parte em um tubo de PVC, que previamente foi instalado em campo no local onde se deseja mensurar a umidade do solo. O detector de maior efetividade é um cristal. Após os nêutrons lentos serem emitidos, eles refletem sobre o cristal e originam um fóton luminoso que excita a célula fotomultiplicadora, acarretando um impulso elétrico, o qual é registrado no contador. As sondas disponíveis no mercado em grande maioria possuem um raio de alcance médio de 25 cm e, quase sempre, a maior incidência ocorre a uma distância de, aproximadamente, 5 cm em torno da fonte de nêutrons.

Esse método é altamente difundido para uso no campo, mas apresenta algumas limitações: o preço elevado para aquisição da sonda; se não manuseada corretamente pode ser um meio perigoso; os resultados observados podem ser alterados por outras fontes de hidrogênio, como a matéria orgânica. Contudo, ele também oferece vantagens: resultados precisos e de maneira rápida; é possível repetir a determinação da umidade em um mesmo local bem depressa, sem alterar a estrutura natural do solo e aumentar a confiabilidade da amostragem.

Vale salientar que, assim como a maioria dos métodos de determinação indireta da umidade em campo, é necessária a realização prévia de uma curva de calibração da sonda de nêutrons para o solo onde será utilizada. A calibração normalmente é efetuada através do método gravimétrico, usando amostras de solo indeformadas que serão coletadas nas proximidades do tubo de acesso e nas profundidades nas quais a umidade do solo será estabelecida e em uma grande faixa de variação de umidade no solo.

Material e metodologia das leituras

Sonda de nêutrons, tubos de PVC que deverão estar tampados e gráfico da calibração (BERNARDO et al., 2006). A sonda de nêutrons é colocada sobre o tubo de acesso; a fonte de nêutrons é introduzida no

tubo de acesso até a profundidade que representa a média da camada desejada para a leitura da umidade. A sonda possui presilhas presas no cabo para ajuste da profundidade; liga-se a sonda de nêutrons, para que ocorra a emissão dos nêutrons e espera-se o equipamento sinalizar que a leitura foi efetuada; a leitura atual deve ser dividida pela leitura padrão, a qual é obtida com a fonte de nêutrons disposta dentro do corpo da sonda, definindo-se, assim, a razão de contagem; logo após, a razão de contagem é correlacionada com o conteúdo de água do solo por meio da curva de calibração, previamente instituída; sugere-se que sejam feitas três leituras em cada uma das profundidades para a obtenção da umidade média da camada desejada.

Além da sonda de nêutrons, outro instrumento muito usado para a determinação da umidade do solo são os aparelhos que possuem tecnologia de reflectometria no domínio do tempo (TDR). Os equipamentos de TDR também são métodos indiretos de determinação da umidade do solo, que se baseiam no princípio de definição das características de propagação das ondas eletromagnéticas no solo. O sistema funciona a partir de um transmissor/receptor de ondas eletromagnéticas, cabos e hastes metálicas de comprimento conhecido com a função de propagar essas ondas. No final do cabo de transmissão o sinal é refletido. Esse tempo de propagação da onda é dependente das características dielétricas do meio. Desse modo, os instrumentos de TDR permitem a mensuração do tempo em que o sinal é propagado com o qual a constante dielétrica do solo poderá ser calculada. Conhecendo a constante dielétrica do solo é possível obter a umidade do solo através das seguintes equações:

$$Ka = (c \times t/2 \times L)^2$$

Em que:

Ka = constante dielétrica do solo.

c = velocidade de propagação da onda eletromagnética no espaço livre (3×10^{10} m/s).

t = tempo de viagem da onda.

L = comprimento da haste metálica.

$$\theta = -0,053 + 0,029 Ka - 5,5 \times 10^{-4} Ka^2 + 4,3 \times 10^{-6} \times Ka^3$$

Em que:

θ = umidade volumétrica (m^3/m^3)



Vários métodos foram demonstrados para a determinação da umidade do solo. Todos eles apresentam vantagens e desvantagens. Durante a sua vida profissional, será importante observar e analisar qual método será utilizado, conforme a disponibilidade, acessibilidade e necessidade. Essa tomada de decisão é fundamental, pois implicará tempo e custo.

Quando se fala de quantidade de água no solo devemos ter o conhecimento de dois novos conceitos que serão essenciais para a compreensão da disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, do manejo de irrigação que veremos mais à frente, são eles: Capacidade de Campo e Ponto de Murcha Permanente. A capacidade de campo (C_c) corresponde à umidade do solo após cessada a drenagem natural e o movimento de água no solo ser praticamente nulo. A drenagem do solo tem como característica apresentar um movimento descendente; a distribuição do teor de água em perfil de solo homogêneo aumenta à medida que aumenta a sua profundidade. Já o ponto de murcha permanente (P_{mp}) é representado pela umidade do solo inferior daquela na qual uma planta esteja em fase de desenvolvimento ativo, apresenta diminuição da turgescência das folhas e a sua recuperação não é mais possível, mesmo que ela seja submetida a um ambiente escuro em situação de solo saturado. Tanto a capacidade de campo quanto o ponto de murcha variam de acordo com as espécies de plantas, o estágio de desenvolvimento, tipo de solo e as condições climáticas a que as plantas estarão submetidas.

Para o cálculo da disponibilidade total de água no solo devemos conhecer as umidades correspondentes à capacidade de campo (C_c) e ao ponto de murcha permanente (P_{mp}), bem como a densidade do solo (D_s). Dessa maneira, a disponibilidade total de água no solo (DTA) pode ser calculada através da seguinte equação:

$$DTA = \frac{C_c - P_{mp}}{100} \times D_s$$

A disponibilidade total de água no solo é expressa em mm de água por mm de solo.



Exemplificando

Capacidade de água disponível (CAD) relaciona-se com a quantidade total de água disponível que o solo consegue armazenar em uma determinada profundidade Z , onde esse valor de Z corresponde ao comprimento do sistema radicular. Essa camada de solo equivale à concentração de cerca de 80% do total de raízes absorventes. Portanto, a CAD representa o intervalo de umidade disponível e pode ser calculada através da seguinte equação:

$$CAD = DTA \times Z$$

Na Tabela 2.2 são mostrados valores de referência para os conteúdos de água no solo relacionados à capacidade de campo (θ_{CC}), ao ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), solo saturado (θ_{sat}) e os respectivos valores de disponibilidade total de água (DTA), para as principais texturas de solos.

Tabela 2.2 | Valores de referência dos conteúdos de água do solo na saturação (θ_{sat}), na capacidade de campo (θ_{CC}), no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) e disponibilidade total de água (DTA)

Textura do Solo	Conteúdo de Água no Solo			
	$\theta_{sat} (m^3 m^{-3})$	$\theta_{CC} (m^3 m^{-3})$	$\theta_{PMP} (m^3 m^{-3})$	DTA ($mm \cdot m^{-1}$)
Arenoso	0,32 – 0,42	0,10 – 0,15	0,03 – 0,06	60 – 70
Areia Franca	0,32 – 0,47	0,12 – 0,19	0,05 – 0,10	70 – 90
Franco Arenoso	0,34 – 0,51	0,17 – 0,26	0,06 – 0,13	110 – 130
Franco	0,42 – 0,51	0,22 – 0,31	0,09 – 0,16	130 – 150
Franco Siltoso	0,42 – 0,55	0,23 – 0,34	0,08 – 0,15	150 – 190
Siltoso	0,42 – 0,55	0,30 – 0,33	0,10 – 0,11	200 – 220
Franco Argiloso	0,47 – 0,51	0,28 – 0,38	0,16 – 0,22	120 – 160
Argilo Arenoso	0,47 – 0,53	0,28 – 0,40	0,19 – 0,30	90 – 100
Argilo Siltoso	0,49 – 0,55	0,38 – 0,50	0,23 – 0,34	150 – 160
Argiloso	0,51 – 0,58	0,40 – 0,55	0,30 – 0,42	100 – 130

Fonte: Pereira et al. (2010, p. 50-52).



Pesquise mais

Agora que você aprendeu sobre a umidade e densidade do solo, leia o artigo indicado para que possa aprimorar seus conhecimentos

sobre o assunto, ele será importante para o seu aprendizado.

BUSKE, T. C. et al. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-329, 2014. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/891>>. Acesso em: 7 nov. 2017.

Sem medo de errar

Ao iniciamos o assunto água no solo, observando a importância de atributos físicos como a densidade e a umidade do solo, já podemos raciocinar a fim de solucionar nossa situação-problema. Sua primeira parte do trabalho foi identificar quais os atributos físicos do solo que foram alterados e como essas informações ajudam a resolver o excesso de umidade na área encontrado pelo produtor. Nesse caso, precisamos pautar nossas ideias em um ponto primordial: a constituição do solo. Vimos nesta seção que o solo é constituído por volume de poros, água e sólidos; assim, como massa de poros, água e sólidos. A relação entre massa e volume constitui a densidade do solo, nosso primeiro atributo físico. Conforme o solo vai se compactando e o volume e a massa de poros vão alterando, o volume e a massa de água também vão modificando. Eles são inversamente proporcionais, portanto, à medida que o volume de poros diminui, a capacidade de armazenamento de água no solo também diminui, por conseguinte, o volume de água no solo será menor. O solo não conseguirá armazenar essa água que estava sendo aplicada pelo sistema de irrigação. Considere que os sistemas de irrigação foram dimensionados para um volume de poros maior do que havia naquele momento.

Logo, a água não conseguindo ser armazenada pelo solo fica acumulada na sua superfície, conseqüentemente, aumentando os níveis de umidade da superfície do solo, o que explica o excesso de umidade. Lembre-se de que é característica dos solos compactados apresentarem um aumento da densidade e redução principalmente dos macroporos, alterando, assim, os vazios totais do solo. A variação dos intervalos de umidade poderá acarretar níveis críticos de densidade do solo, de modo que, com baixos valores de umidade, a resistência à penetração ou a água disponível torna-se limitante,

em contrapartida, em situações de umidade elevada, a aeração do solo passa a ser um fator limitante.

Avançando na prática

Medição da umidade do solo: qual método escolher?

Descrição da situação-problema

Você é um técnico capacitado para realização do manejo da irrigação e foi contratado por um produtor que está disposto a implantar um sistema de irrigação no seu plantio de pimenta (*Capsicum spp.*). Ele já estava interessado em aumentar a sua produção há alguns anos investindo em sistemas de irrigação, porém é de conhecimento do produtor que as solanáceas, família de plantas da qual a pimenta faz parte, são altamente suscetíveis a doenças e que o excesso de água é um dos maiores causadores dessas doenças. Ele pretende adotar o sistema de irrigação por gotejamento por ser o que apresenta maior eficiência e uniformidade de aplicação de água, mesmo esse método apresentando como aspecto principal a aplicação de água diretamente na zona da raiz. O produtor está interessado em saber qual a maneira de monitorar a umidade do solo para fins de irrigação que apresenta a resposta mais eficiente em dois momentos distintos: primeiramente, para o dimensionamento do sistema de irrigação. E, em um segundo momento, o sistema que oferecerá a resposta instantânea, no ato da medição, em que ele estiver irrigando, para que o excesso de água no solo seja evitado. Nesse ponto surgem os seguintes questionamentos: qual o método que apresenta maior eficiência na determinação da umidade do solo? Você deve recomendar os métodos diretos ou indiretos? Em relação ao manejo de irrigação, qual método se adapta melhor? Com base nessas perguntas, caberá a você recomendar qual dos métodos estudados nesta seção se adéqua a cada um dos momentos.

Resolução da situação-problema

Como já foi estudado, a umidade do solo pode ser estabelecida de forma direta ou indireta. O método gravimétrico, também conhecido como padrão da estufa, é o método referência, usado inclusive para a calibração dos outros métodos, os indiretos. Será necessário que você utilize-o no primeiro momento para o dimensionamento, pois, além de ser um método mais preciso, você já terá alguns subsídios para a

calibração da sonda de nêutrons ou da TDR, métodos que você deverá recomendar ao produtor que sejam usados no segundo momento, porque, apesar de serem métodos indiretos, seu uso é amplamente difundido para medição da umidade de solo *in loco* e trazem as respostas praticamente instantaneamente, desde que o produtor tenha as suas respectivas curvas de calibração. Tenha em mente que para essa situação, o método gravimétrico não se aplica, pois ele precisa de aproximadamente 48 horas para que se obtenham os resultados.

Faça valer a pena

1. Um profissional está conduzindo um experimento e necessita de estudos prévios para o dimensionamento do sistema que terá de adotar. Ele foi a campo e fez coleta indeformada usando anéis volumétricos. As amostras foram levadas para o laboratório da universidade e foi constatado que a amostra de solo úmido no anel volumétrico tem uma massa de 462 g; e que após a secagem em estufa se obteve a massa seca da amostra igual a 364 g.

Determine a umidade do solo, considerando a massa do anel volumétrico de 39 g:

- a) 32,22%.
- b) 33,11%.
- c) 31,11%.
- d) 34,31%.
- e) 30,11%.

2. Um produtor rural, a fim de implantar um sistema de irrigação no seu plantio de milho, fez a coleta de solo e enviou as amostras para um laboratório especializado para que fossem determinadas a umidade em capacidade de campo, a umidade no ponto de murcha permanente e a densidade do solo. Com o resultado da análise dessolo, o produtor observou que $U_{cc} = 29,0\%$, $\theta_{pm} = 18,0\%$ e que $D_s = 1,35 \text{ g.cm}^{-3}$.

Calcule a disponibilidade total de água nesse solo e a capacidade total de água, sabendo que a profundidade efetiva do sistema radicular é de 30,0 cm:

- a) $3,115 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ e $63,45 \text{ mm}$
- b) $2,115 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ e $66,45 \text{ mm}$
- c) $2,115 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ e $63,45 \text{ mm}$
- d) $2,10 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ e $63,45 \text{ mm}$
- e) $2,115 \text{ mm} \cdot \text{cm}^{-1}$ e $62,45 \text{ mm}$

3. A umidade na base de peso ou umidade gravimétrica (U) pode ser definida como a relação entre a massa de água (M_a) e a massa do solo seco (M_s). A umidade de uma amostra é de 25% e o peso inicial dessa amostra é de 300 g.

A partir desses dados, qual a quantidade de água existente na amostra?

- a) 61 g.
- b) 62,5 g.
- c) 59 g.
- d) 62,4 g.
- e) 60 g.

Seção 2.2

Infiltração de água no solo

Diálogo aberto

Prezado aluno, após aprendermos sobre o armazenamento de água no solo, como os atributos físicos, a umidade e porosidade influenciam a disponibilidade de água para as plantas, daremos continuidade ao estudo da água no solo partindo do processo de infiltração que é fundamental para a compreensão da dinâmica da solução de solo, pois é devido a ele que se dá a entrada de água no solo.

Relembrando a nossa situação-problema, você e o técnico da área, ambos profissionais capacitados para trabalhar com irrigação, estão em uma fazenda de gado leiteiro que está com problemas em seu pasto irrigado. Vocês precisam auxiliar o produtor João diante dessa questão. Lembre-se de que em virtude do excessivo pisoteio do gado nos últimos dias, ocorreu uma pequena compactação da camada superficial; havia excesso de umidade no solo; a água estava infiltrando lentamente. O que poderia estar causando essa diminuição da infiltração de água? A compactação do solo poderia estar influenciando nesse acúmulo de água na superfície do solo? Iniciaremos nosso raciocínio partindo da seguinte situação: de posse dos relatórios você fez uma revisão nas informações repassadas pelo produtor e observou que neles constam dados sobre testes de infiltração de água no solo que foram realizados, sabe-se que eles têm relação direta com a escolha do aspersor utilizado no sistema de irrigação. Durante a visita vocês viram que a água infiltrava com dificuldade, lentamente, o que ocasionou o surgimento de algumas poças de água na área e, conseqüentemente, um escoamento superficial.

Surgem, assim, novos questionamentos: afinal, o que é a infiltração de água no solo? Como ela ocorre? O que são os termos "velocidade de infiltração" e "velocidade de infiltração básica" que aparecem no relatório? Como é possível medir a infiltração? Será que aqueles atributos do solo que vimos anteriormente interferem na infiltração

do solo? Por que o engenheiro disse que há relação com a infiltração e o aspersor escolhido para fazer a irrigação?

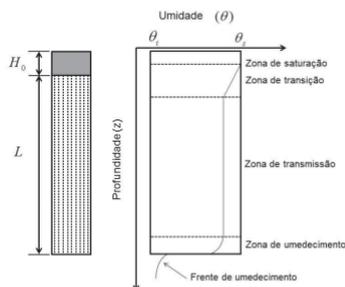
Nesta seção iremos compreender detalhadamente a infiltração de água no solo para ajudar o produtor a solucionar os problemas e determinar as suas respectivas soluções.

Bons estudos!

Não pode faltar

Entende-se por infiltração, o processo no qual a água atravessa a superfície do solo, no sentido vertical e descendente. É por meio desse procedimento que acontece a sua entrada na camada superficial do terreno para o interior do solo. Trata-se de um procedimento de extrema importância prática, essencial na manutenção da qualidade do solo, possui relação direta com o escoamento superficial, sendo este um componente fundamental do ciclo hidrológico que pode causar erosão das camadas superficiais e até mesmo de inundações de áreas agrícolas. Após a água atravessar a superfície do solo, portanto, finalizada a infiltração, as camadas superiores do solo atingem um elevado valor de umidade, ou seja, altos teores de água acumulada na superfície, enquanto as zonas mais baixas se apresentam ainda com menores níveis de umidade. Nesse aspecto, a água tende a movimentar-se no sentido descendente provocando um molhamento das camadas inferiores, esse processo dá origem a um fenômeno conhecido como redistribuição de água no solo. O comportamento típico da redistribuição da água no solo, durante a infiltração, é ilustrado esquematicamente na Figura 2.3.

Figura 2.3 | Comportamento da distribuição de água no solo durante a infiltração



Fonte: adaptada de Brandão et al. (2006, p. 13)



Zona de saturação: faixa de solo correspondente a uma camada de cerca de 1,5 cm; é uma zona em que o solo está extremamente encharcado, isto é, com um teor de água máximo, chamado de umidade de saturação.

Zona de transição: é uma faixa de solo com espessura em torno de 5 cm, cuja umidade decresce bastante, conforme o aumento da profundidade.

Zona de transmissão: é a parte do perfil do solo por meio da qual acontece a transmissão de água. Esta faixa de solo tem como característica principal uma pequena variação da umidade de acordo com a relação de espaço e tempo.

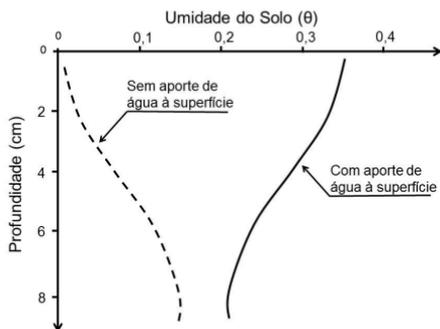
Zona de umedecimento: é uma zona que se caracteriza por uma elevada redução nos níveis de umidade à medida que há o aumento da profundidade.

Frente de umedecimento: corresponde a uma pequena zona na qual existe um alto gradiente hidráulico, havendo uma variação bastante brusca da umidade do solo. Essa frente de umedecimento representa o limite visível da movimentação de água no solo.

Na região interna do solo há vazios que são os espaços disponíveis para que haja o acúmulo e a movimentação de água no solo. Esses vazios são originados através das partículas que formam a composição física do solo. Os espaços vazios representam a porosidade do solo e é o atributo físico capaz de definir a maior quantidade de água que o solo é capaz de reter. Logo, podemos afirmar que a umidade do solo, θ , será sempre menor ou igual à porosidade. E o teor de água capaz de saturar o solo tem por definição a relação entre o volume de água e o volume de vazios de uma determinada amostra de solo.

O perfil da umidade no solo aumenta e tende a sua saturação enquanto houver aporte de água em toda a sua profundidade, sendo a camada superficial, fluentemente, a primeira zona do solo a saturar. Observa-se que, de certa maneira, a infiltração ocasionada pelas precipitações naturais nem sempre é capaz de saturar todas as camadas do solo, restringindo-se a saturar apenas as camadas superficiais. Assim, amplia-se um perfil típico de aumento da umidade, cujo teor de água decresce com a profundidade, como se vê na Figura 2.4:

Figura 2.4 | Processo de formação da frente de molhamento das zonas do solo



Fonte: adaptada de Brandão et al. (2006, p. 16).



Refleta

Com base na Figura 2.4, à medida que é finalizada a entrada de água à superfície, ou seja, deixa de ocorrer infiltração, a umidade no interior do solo é redistribuída e evolui para um perfil contrário com menores teores de água nas proximidades da superfície e os maiores níveis de umidade nas camadas de solo mais profundas como visto na linha pontilhada da Figura 2.4. Porém, toda a umidade é drenada para as camadas mais profundas do solo? Ou parte é “perdida” para a atmosfera pela evapotranspiração?

Vale a pena salientar que nas camadas inferiores do solo, geralmente é encontrada uma zona de saturação, que constitui o lençol freático, mas esse lençol tem sua influência no fenômeno da infiltração? Ou ela só é significativa quando o mesmo se situa a pouca profundidade?

A capacidade de infiltração do solo tem sua influência nos movimentos de entrada da água no solo e a sua redistribuição, conseqüentemente, comanda a velocidade de infiltração (V_I) da água quando aplicada a uma determinada taxa de aplicação. A velocidade de infiltração básica de água no solo (V_{IB}) é uma informação essencial para a elaboração do projeto e a escolha do manejo da irrigação porque dela dependem o tempo que a lâmina de irrigação vai se manter sobre o solo após a aplicação da água na irrigação por superfície e a seleção dos emissores que serão usados na irrigação por aspersão. Conforme o teor de água no solo aumenta, o perfil de molhamento vai chegando até as maiores profundidades e a relação entre os quantitativos de umidade dessa frente vão diminuindo com relação aos valores observados nas camadas superiores, que apresenta maiores níveis

de umidade à medida que o tempo vai passando. Por conseguinte, o processo vai ficando consideravelmente mais lento até se tornar constante, esse valor varia para cada situação e tem interferências diretas das características de cada solo, sendo esse conceito bastante difundido e conhecido como velocidade de infiltração básica (VIB).

A VIB pode ser representada através da quantidade de água que está em processo de infiltração, valor este conhecido por um intervalo de tempo correspondente ($mm.h^{-1}$). Porém, também pode ser representada por $cm.h^{-1}$, $L.s^{-1}$, $m^3.m^{-1}$, sendo esta última geralmente utilizada quando se tratar de irrigação por sulcos.

Solos de textura arenosa têm, normalmente, valores elevados de velocidade de infiltração básica e, assim, poderão gerar perdas significativas por lixiviação excessiva, sendo, portanto, solos não recomendados para a irrigação superficial. Em contrapartida, a VIB é um parâmetro de extrema importância no momento de optar por um determinado aspersor, uma vez que a intensidade de aplicação correspondente a cada um deles deverá ser menor ou igual à VIB. A taxa de infiltração básica é equivalente à condutividade hidráulica dos solos.

Outro conceito bastante relevante é a capacidade de infiltração do solo, representado pela letra *f*, e que corresponde à potencialidade que um certo tipo de solo tem de absorver a água infiltrada. A capacidade de infiltração de água é dada por um volume de água com uma certa altura por intervalo de tempo, geralmente em minutos. Fisicamente falando é a quantidade de água que o espaço poroso consegue armazenar, através de uma unidade de área, na unidade de tempo que leva para infiltrar a água. Essa capacidade, representada pela letra *f*, é geralmente mensurada em mm / h ou mm / dia .

Um solo que apresenta pouca capacidade de infiltração ao receber uma quantidade grande de água terá sua velocidade de infiltração correspondente à capacidade de infiltração daquele solo. Como consequência da grande quantidade da água aplicada superior à quantidade que o solo tem capacidade de infiltrar e de reter nesse processo, poderá ocorrer desprendimento de partículas da camada superficial do solo e haver o carreamento dessas partículas para outras zonas do terreno, erosão.

Desse modo, a VI depende inteiramente da estrutura de formação e da textura do solo e também da umidade no momento de irrigar, do

espaço poroso do solo, dos teores e tipo de argila que predominam na fração do solo e da presença de uma possível camada de menor permeabilidade, conhecida como camada compactada ao longo da distribuição dos perfis do solo.

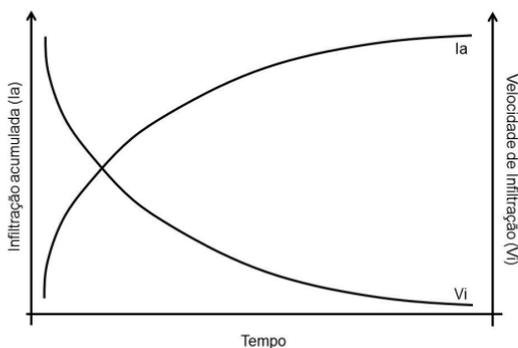


Assimile

Atente-se aos conceitos de capacidade de infiltração e taxa real de infiltração. Apesar de semelhantes, você deve distingui-los de modo que a taxa real de infiltração só irá acontecer quando houver água disponível para adentrar ao solo. Ao fazer a análise gráfica em função do tempo da taxa real de infiltração e da capacidade de infiltração de um solo, somente as retas irão coincidir quando a água disponível na superfície do solo tiver intensidade maior ou igual à capacidade de infiltração do solo.

Outro conceito que merece destaque é o da infiltração acumulada, representada por I ; diz respeito à quantidade total de água que infiltra durante um determinado tempo. Essa grandeza é expressa em mm ou cm correspondente à altura de lâmina de água que infiltrou no solo.

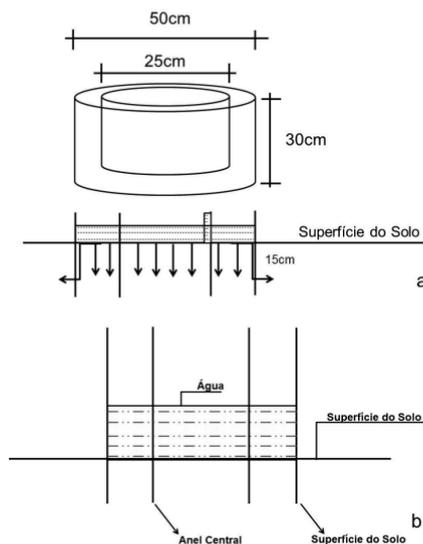
Figura 2.5 | Gráfico característico da velocidade de infiltração e da infiltração acumulada de água no solo



Fonte: adaptada de Mello et al. (2007, p. 7-8).

O método mais usado para estabelecer a velocidade de infiltração de água do solo é o infiltrômetro de anel. Para a realização do método utilizam-se dois anéis de formatos cilíndricos dispostos de forma homocêntrica e um equipamento que possibilite a medição da água que será inserida ao anel interno (Figura 2.6). Os cilindros deverão medir 50 cm e 25 cm de diâmetro e ter 30 cm de altura. Eles são instalados de maneira concêntrica e cravados no solo a 15 cm.

Figura 2.6 | Esquematisação do infiltrômetro de duplo anel. Dimensões e disposição dos anéis (a) e visão lateral dos infiltrômetro (b).



Fonte: adaptada de Mello et al. (2007, p. 14).

O teste consiste em adicionar água nos dois cilindros, concomitantemente, e as leituras da lâmina de água no anel interno são feitas com o auxílio de uma trena, ou então usa-se uma quantidade de água já prestabelecida que será aplicada no cilindro, em espaços de tempo também conhecidos e determinados preliminarmente. A quantidade de água infiltrada no solo será calculada através da subtração entre a leitura em dois espaços de tempo consequintes. Procedendo dessa forma ocorrerá apenas infiltração vertical. O anel externo tem a função de evitar a infiltração lateral e, portanto, alterar a confiabilidade dos dados extraídos desse teste.

Inicialmente o volume de água deve ser de 15 cm e a anotação do tempo precisará ser feita quando o nível de água variar 2 cm. Com o passar do tempo dos testes a altura deixa de fazer efeito, mas inicialmente ela é fundamental para os resultados que serão obtidos tendo influência direta nos resultados. O teste deverá continuar até que a taxa de infiltração se torne constante, para fins práticos o critério adotado é não haver variação de 10% do volume de água no intervalo de 1 hora. Nesse momento o solo chegou à sua velocidade de infiltração básica ao atingir uma taxa de infiltração sem que houvesse variação.

O teste pode ser visto na Figura 2.7 e, um exemplo de tabela para as anotações, na Tabela 2.3.

Figura 2.7 | Teste de infiltração de água no solo utilizando o infiltrômetro de duplo anel



Fonte: Disponível em: <<http://aspengenharia.com.br/images/faqbookpro/300x200/images/Infiltrao-de-gua-no-solo.jpg>>. Acesso em: 12 out. 2017. <http://aspengenharia.com.br/index.php?option=com_faqbookpro&view=topic&id=56&Itemid=166&lang=pt>. Acesso em: 12 out. 2017.

Tabela 2.3 | Exemplo de tabela que serve para realização de teste de infiltração utilizando os infiltrômetros de duplo anel

Hora	Intervalo de Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura da Régua (cm)	Reposição (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)
07:00	0	0	10,00		-	0
07:01	1	1	8,5		1,5	1,5
07:02	1	2	7,0		1,5	3,0
07:04	W2	4	6,0		1,0	4,0
07:06	2	6	5,0	10,5	1,0	5,0
07:11	3	11	9,5		1,0	6,0

Fonte: adaptada de Mello et al. (2007, p. 16).

Algumas equações são necessárias para descrever a infiltração acumulada, dentre elas, a equação potencial de Kostiakov (BRANDÃO et al., 2006) é a mais amplamente usada. Ela é representada por:

$$I = k \times T^a, \text{ em que:}$$

I = infiltração acumulada (mm).

k = constante que depende do solo (adimensional).

T = tempo de infiltração (h).

a = constante que depende do solo (adimensional).

Essa equação é bastante empregada para intervalos curtos de aplicação de água, comumente usada para pequenas lâminas.



Outro modo de determinação da infiltração acumulada é o método analítico. Primeiramente a equação de infiltração será transformada em equação linear aplicando-se logaritmos que correspondam à equação de infiltração:

$$\text{Log } I = \text{Log } k + a \text{ Log } T$$

As equações lineares são representadas por uma equação de reta do tipo:

$$Y = A + B X, \text{ em que: } Y = \text{Log } I; A = \text{Log } k; B = a; X = \text{Log } T.$$

Assim, usa-se a aplicação regressão linear, encontrando os valores de A e B através das equações:

$$A = \frac{\sum X \times \sum X \cdot Y - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

$$B = \frac{\sum X \times \sum Y - m \sum XY}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}, \text{ em que } m \text{ é a quantidade de instantes de}$$

medição.

Com os valores de A e B obtidos pode-se retornar à equação que deu origem e determinam-se k e a, em que k é o antilog A, e a é o valor de B.

Na equação de Kostiakov a velocidade de infiltração tem uma propensão a ser 0, lembrando que ela não deverá ter esse valor e sim tornar-se constante, ou seja, tender à VIB. Com isso foi proposta uma equação modificada, a de Kostiakov-Lewis:

$$I = k \times T_0^a + V_{ib} \times T_0 \quad \text{em que:}$$

I = infiltração acumulada (mm).

k = constante que depende do solo (adimensional).

T_0 = tempo de oportunidade (h).

a = constante que depende do solo (adimensional).

V_{ib} = velocidade de infiltração básica (mm/h).

Sendo assim, as constantes k e a, que podem ser observadas na equação, são calculadas através de regressão linear e transformando os fatores teremos: $\text{Log}(I - V_{ib} \times T) = \text{log} k + a \times \text{log} T$.

Finalmente a fórmula ficará representada por: $Y = \log \times (I - VIB \times T)$. E os outros parâmetros serão estabelecidos da mesma maneira que na equação de Kostiakov.

Os solos podem ser classificados de acordo com a VIB, segundo as Tabela 2.4 e 2.5.

Tabela 2.4 | Classificação dos solos quanto à velocidade de infiltração básica (VIB)

Classificação	Velocidade de Infiltração Básica (VIB)
Solo de VIB baixa	$VIB < 5 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo de VIB média	$5 < VIB < 15 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo de VIB alta	$15 < VIB < 30 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo de VIB muito alta	$VIB > 30 \text{ mm.h}^{-1}$

Fonte: Brandão et al. (2006, p. 23).

Tabela 2.5 | Classificação dos solos quanto à velocidade de infiltração básica (VIB)

Textura do Solo	Velocidade de Infiltração Básica (VIB)
Solo Argiloso	$VIB < 5 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo Franco-Argiloso	$5 < VIB < 10 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo Franco	$10 < VIB < 20 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo Franco-Arenoso	$20 < VIB < 30 \text{ mm.h}^{-1}$
Solo Arenoso	$VIB > 30 \text{ mm.h}^{-1}$

Fonte: Brandão et al. (2006, p. 23).

Diversas são as características edafoclimáticas que interferem no processo de infiltração da água no solo, dentre os quais destacam-se:

Tipo de solo: o movimento de água no solo é influenciado diretamente pela porosidade, pelo tamanho das partículas que são definidos pela sua formação granulométrica e a presença de fissuras nas rochas que dão origem ao solo.

Mudanças na estrutura do solo: a ação antrópica, através da técnica de preparo do solo aração, a descompactação, a presença de material vegetal decomposto e a ação de animais que alteram a macrofauna do solo têm influências positivas na capacidade que

o solo tem de infiltrar a água.

Nível de compactação do solo: quando o solo apresentar maiores níveis de compactação na sua superfície, menor será seu espaço poroso, tornando-o mais impermeável, diminuindo assim a taxa de infiltração.

Umidade do solo no momento da irrigação: se a umidade do solo no momento da irrigação for alta, o solo terá a sua capacidade de infiltração reduzida, de modo que os níveis de umidade iniciais se somam às forças de capilaridade através da ação gravitacional, enquanto o solo que se encontra seco terá maior capacidade de infiltração.

Influência da precipitação sobre o solo: as chuvas que provocam alto efeito erosivo no solo causam diminuição da capacidade de infiltração pelo aumento da compactação do mesmo, do transporte de partículas finas, que diminuem a porosidade do solo e aumentam a existência de partículas coloidais.

Cobertura vegetal do solo: a presença de cobertura vegetal no solo melhora a taxa de infiltração dos solos, contribuindo para a sua estruturação, diminuindo o escoamento superficial e por absorver a água retida do solo. Influencia na diminuição dos impactos da gota das chuvas e dos aspersores e auxilia a atividade de insetos e demais animais que atuam na macro e microfauna do solo que agem na escavação do solo.

Temperatura do solo: a viscosidade cinemática da água é altamente influenciada pela variação de temperatura do solo. Portanto, as maiores temperaturas do solo provocam menores valores de viscosidade cinemática da água e melhores taxas de infiltração.

Presença de ar no solo: a presença de ar no espaço poroso do solo provoca diminuição da taxa de infiltração de água no solo.



Pesquise mais

Agora que você aprendeu sobre a infiltração de água no solo, assista ao vídeo sugerido para que possa aprimorar seus conhecimentos sobre o assunto. Será importante para que você compreenda como acontece o processo de infiltração a diferentes classes de solo.

UFPR TV. Solo na Escola - Infiltração da água no solo (11/05/16). 2016. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=WCdRZBJMzAA>>. Acesso em: 15 out. 2017.

Para complementar o seu aprendizado, acesse também o documento digital referente ao vídeo.

YOSHIOKA, Maria Harumi; LIMA, Marcelo Ricardo de. **Experimentoteca de solos** – infiltração da água no solo. Experimentoteca de Solos – Programa Solo na Escola – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Disponível em: <<http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos1.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

Sem medo de errar

Estudamos a infiltração de água no solo e todas as peculiaridades que cercam esse processo. Você viu o quanto ela é um fator determinante dentro do contexto da agricultura irrigada, sendo um elemento primordial na escolha do manejo da irrigação a ser adotado. Através do entendimento desse processo você poderá ajudar o produtor da nossa situação-problema, vamos fazer uma breve reflexão a respeito: João possui um pasto irrigado onde, devido ao excessivo pisoteio do gado nos últimos dias, aconteceu uma pequena compactação da camada superficial do solo; havia excesso de umidade no solo; a água estava infiltrando lentamente. O que poderia estar causando essa diminuição da infiltração de água? A compactação do solo estaria influenciando nesse acúmulo de água na superfície do solo?

Diante do que foi exposto é possível observar que a alteração das propriedades físicas do solo causada pelo pisoteio animal em sistemas de produção é a chave primordial para a solução do problema. As informações disponíveis no relatório de avaliação da área demonstram alteração nessas características físicas e, em decorrência disso, a pastagem que provavelmente sofreu compactação por pisoteio animal teve como consequência a diminuição da sua capacidade de infiltração da água no solo por causa do tempo de uso e manejo inadequado. Um dos problemas associados à compactação do solo é a redução da condutividade

hidráulica, que é a capacidade que o solo tem de “transportar água”.

A compactação do solo causa uma série de prejuízos à estrutura física do solo. Dentre os quais a diminuição da quantidade de água que penetra no perfil do solo. Sendo a taxa de infiltração um parâmetro de grande importância para avaliar a condutividade hidráulica dos solos, é possível estabelecer uma relação entre os níveis de compactação do solo e a infiltração. Deste modo, o conteúdo de água que infiltra no solo torna-se uma medida de comparação para avaliar a compactação do solo em pontos distintos à medida que aplica-se o mesmo volume de água. Portanto, é possível concluir que a infiltração de água no solo, é provavelmente, um dos melhores fatores que podem ser utilizados para indicar a degradação física de um solo agricultável, para fins de irrigação!

Em razão desse fato, nota-se a diminuição da infiltração e armazenagem de água no solo. Ao analisar a curva de infiltração de água no solo que consta no relatório, você deverá considerar que para um solo saturado submetido a lâminas de irrigação superiores à velocidade de infiltração, a entrada de água no solo se dá na forma máxima no início da aplicação de água e sofrerá um decréscimo exponencial, até atingir uma taxa constante de entrada de água no solo. Outros efeitos da compactação do solo que afetam a infiltração e que podem ser visualizados na nossa área em questão englobam o aumento da sua densidade e resistência mecânica juntamente à diminuição do volume de poros, especialmente os macroporos. Em virtude dessas mudanças, a força de retenção de água no solo aumenta, enquanto a capacidade de infiltração de água da irrigação é reduzida, o que, por conseguinte, diminuiu a disponibilidade hídrica para a gramínea. Além do mais, a compactação limita o crescimento radicular da vegetação da área, diminuindo o volume de solo explorado pelas raízes em busca de água e nutrientes, o que pode explicar a diminuição da vegetação que você e o produtor observaram no local.

Infiltração de água no solo e a escolha do aspersor

Descrição da situação-problema

Um agricultor interessado em aumentar a produtividade do seu plantio de milho procurou você para a elaboração do dimensionamento de um sistema de irrigação. No último ano, ele teve muitas perdas da produção devido a um intenso veranico e, por isso, optou por irrigar o milho agora. Após a apresentação dos sistemas de irrigação e diante das vantagens e desvantagens, ele optou por utilizar o sistema de irrigação por aspersão. Vocês foram até a loja de produtos agropecuários da cidade a fim de fazer algumas cotações de material de irrigação e o vendedor forneceu uma lista de aspersores disponíveis. Com base na análise de solo da fazenda, você constatou que: o talhão 1 possui textura franca; o talhão 2 possui textura argilosa e, o talhão 3, textura arenosa. Levando-se em consideração os valores de VIB para cada textura, caberá a você determinar quais os aspersores mais indicados para irrigar o plantio de milho do fazendeiro. Quais as informações da tabela de aspersores que você deverá levar em consideração na escolha? Quais cuidados deverão ser adotados? Na Tabela 2.6 seguem as especificações técnicas dos aspersores.

Tabela 2.6 | Informações técnicas dos aspersores

Código	Pressão (mca)	Diâmetro de Alcance (m)	Altura Máxima do Jato (m)	Vazão (m ³ /h)	Espaçamento entre Aspersores (m)			
					6x12	12x12	12x18	18x18
					Intensidade de Aplicação (mm/h)			
3072 – FS 2894 – FSM	25	27	3,4	1,067	14,81	7,41	4,94	3,29
	30	29	3,7	1,168	16,23	8,11	5,41	3,61
	35	28	3,8	1,262	17,53	8,76	5,84	3,89
	40	28	4,0	1,349	18,74	9,37	6,25	4,16
3072 – FS 2894 – FSM	25	30	3,6	1,490	20,67	10,34	6,89	4,59
	30	30	3,9	1,631	22,65	11,32	7,55	5,03
	35	32	4,1	1,761	24,46	12,23	8,15	5,44
	40	32	4,3	1,853	30,15	13,08	8,72	5,81

Fonte: <<http://nnrepresenta.com.br/catalogos/catlogo-agropolo.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

Resolução da situação-problema

Muitas vezes você irá se deparar com situações em que não dispõe de todas as informações necessárias para o dimensionamento do sistema de irrigação. Diante disso, é preciso utilizar todo o seu conhecimento para realizá-lo. Com base na situação apresentada não lhe foram fornecidos dados de teste de infiltração de água no solo, porém você tem como selecionar os aspersores a partir dos valores médios de VIB para cada uma das texturas do solo. Diante disso, para solucionar o problema você deverá atentar-se aos valores de intensidade de aplicação de água ($mm \cdot h^{-1}$) dos aspersores e o critério de escolha será que esses valores sejam menores que a velocidade de infiltração básica do solo ($mm \cdot h^{-1}$), para não acontecer acúmulo de água sobre a superfície do solo e, conseqüentemente, perda de solo por erosão.

Portanto, para o talhão 1, de textura franca, você optará por aspersores com a VIB variando de 10 a 20 $mm \cdot h^{-1}$. Lembre-se de não adquirir aspersores com intensidade de aplicação muito inferior à VIB, porque senão a água irá infiltrar muito rapidamente e se perderá por percolação e não será absorvida pelas plantas. Para o talhão 2, de textura argilosa, você irá optar por aspersores com a VIB menor que 5 $mm \cdot h^{-1}$. Já para o talhão 3, com textura arenosa, serão usados aspersores com a VIB superior a 30 $mm \cdot h^{-1}$.

Faça valer a pena

1. Um pesquisador, analisando a infiltração de água no solo, resolveu montar um experimento na horta da universidade com um infiltrômetro de duplo anel. Ao final, a tabela levada a campo estava preenchida da seguinte forma (Tabela 2.7):

Tabela 2.7 | Tabela para realização de teste de infiltração utilizando os infiltrômetro de duplo anel

Hora	Intervalo de Tempo (min)
08:00	0
08:05	5

08:10	5
08:15	5
08:20	5
08:30	10
08:40	10
08:50	10
09:00	10
09:15	15
09:30	15
09:50	20
10:10	20
10:30	20
11:00	30
11:30	30
12:00	30

Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Sabendo que a equação de Kostiakov determinada para o experimento foi $I = 6 \times T^{-0,6}$, marque a alternativa que representa a infiltração acumulada ao final do estudo:

- a) 0,27 mm.
- b) 0,22 mm.
- c) 0,32 mm.
- d) 0,12 mm.
- e) 0,25 mm.

2. Naturalmente a velocidade do processo de infiltração vai diminuindo até se tornar constante, este valor varia para cada situação tendo interferências diretas das características de cada solo e recebe o nome de velocidade de infiltração básica (VIB).

Dentre as características do solo que regem a infiltração, assinale a alternativa correta:

- a) O tipo do solo, pois determina a permeabilidade.
- b) A compactação do solo que apenas aumenta os espaços porosos.
- c) A umidade do solo que não influencia na saturação.
- d) A presença de vegetação que aumenta o escoamento superficial e por absorver a umidade do solo.
- e) A umidade do solo que determina a permeabilidade.

3. Um produtor contratou uma empresa para a criação de um projeto de irrigação por aspersão. A equipe se dirigiu à fazenda e começou a fazer os levantamentos prévios necessários para o dimensionamento do sistema. Um teste de infiltração foi aplicado e os valores levantados podem ser visualizados na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 | Tabela utilizada para realização de teste de infiltração

Tempo (min)	$I(mm \cdot h^{-1})$
1	300
3	150
5	150
10	72
15	84
25	54
35	54
50	44
65	40
95	26
125	16
185	18
245	14

Fonte: elaborada pelo autor (2017).

A partir dos valores observados na Tabela 2.8, marque a alternativa que apresenta a forma final da equação de infiltração:

- a) $I = 307,12 \cdot T^{-0,55}$.
- b) $I = 317,12 \cdot T^{-0,35}$.
- c) $I = 317,12 \cdot T^{-0,55}$.
- d) $I = 337,12 \cdot T^{-0,15}$.
- e) $I = 317,12 \cdot T^{-0,25}$.

Seção 2.3

Demanda hídrica das culturas agrícolas

Diálogo aberto

Caro aluno, depois de aprendermos sobre o armazenamento e a infiltração de água no solo, estudaremos a demanda hídrica das culturas e é nesta seção, que veremos o quanto de água vamos fornecer às culturas baseando-se em fatores edafoclimáticos de uma determinada região. Esse assunto, que encerrará a Unidade 2, nos ajudará a concluir o raciocínio sobre o manejo da irrigação e os fatores intervenientes a esse processo.

Dando continuidade à problemática apresentada nas seções anteriores, após auxiliar e orientar o produtor sobre a compactação do solo na camada superficial, devido ao recorrente pisoteio do gado, resultando no excesso de umidade no solo que, conseqüentemente, fez com que a água passasse a infiltrar lentamente, você – técnico capacitado para trabalhar com irrigação – e o engenheiro agrônomo estão reunidos e discutem sobre as falhas encontradas na fazenda. Lembre-se de que a comunicação é atitude fundamental para que os problemas sejam resolvidos.

A questão está relacionada com o manejo da irrigação na medida em que o produtor afirmou que está aplicando a lâmina de irrigação, conforme a leitura do tanque classe "A" e dos tensiômetros, decisão esta que partiu dele e da equipe da fazenda, porém, segundo a leitura dos tensiômetros, o solo estava ficando acima da capacidade de campo e a pastagem naquele local tendo seu crescimento prejudicado em razão do excesso de água.

Nesse momento é fundamental que vocês unem esforços para decidir sobre os prováveis motivos que levaram o solo a ficar acima da capacidade de campo e a pastagem ter seu crescimento prejudicado por causa do excesso de água, de modo que os dados da lâmina aplicada, dos turnos de rega e das umidades no ponto de murcha permanente e da capacidade de campo sejam analisados, pois eles fazem referência à quantidade de água fornecida à cultura, o espaço entre duas irrigações consecutivas que, se não respeitado,

pode gerar o acúmulo de água no solo e influenciar na umidade ideal para atender a necessidade das culturas via solo.

Vocês deverão verificar atentamente as planilhas de leitura do tanque classe "A" e dos tensiômetros. Essas informações são importantes porque revelam a quantidade de água aplicada ao solo por meio da irrigação. Nesse caso, qual é o momento mais adequado para realizar uma irrigação? As irrigações estavam obedecendo aos turnos de rega calculados e, conseqüentemente, a reposição de água está ocorrendo em momento oportuno? Qual a quantidade de água que se deve aplicar em cada irrigação? Qual é o tempo necessário de aplicação de água? Essas respostas podem ajudar a resolver os problemas citados no nosso contexto de aprendizagem.

Nesta seção, conheceremos a demanda hídrica das culturas, a evapotranspiração da cultura e de referência, o manejo de irrigação com tanques classe "A" e manejo de irrigação com tensiômetro. Veremos se o produtor está aplicando as lâminas corretamente, se ele está suprindo a demanda hídrica da pastagem que ele possui nas áreas, se o manejo da irrigação feito pelo tanque classe "A" e pelos tensiômetros está sendo feito corretamente. Se a adoção de dois métodos de irrigação em paralelo é realmente aconselhável ou se poderá acarretar a superestimação da lâmina de irrigação a ser aplicada. Vamos estudar detalhadamente sobre a demanda hídrica das culturas e o manejo da irrigação para auxiliar o produtor e a equipe da fazenda a corrigir as falhas apontadas.

Bons estudos!

Não pode faltar

O manejo da irrigação é um conjunto de técnicas que, geralmente, é empregado para designar o método pelo qual se determinam a frequência de irrigação, a lâmina de água a ser aplicada em cada instante de irrigação e a intensidade de aplicação do volume de água. A utilização dessas técnicas permite encontrar as respostas para três questionamentos básicos:

Qual é o instante mais adequado para a realização de uma irrigação? Temos a definição do intervalo de tempo entre duas ou mais irrigações consecutivas, termo que é conhecido como turno de rega, ou seja, "quando irrigar?".

Qual lâmina de água deverá ser aplicada em cada um dos turnos de rega que foi anteriormente estabelecido? Essa lâmina de água equivale à quantidade de água que será aplicada em um evento de irrigação. Quando der a resposta a essa questão você irá definir o volume de água utilizada, de maneira que ela seja suficiente para satisfazer a demanda hídrica da cultura para o turno de rega calculado, ou seja, durante dois eventos de irrigação consecutivos a planta não deverá ter sua necessidade hídrica atendida.

Em quanto tempo se dará a aplicação desse volume de água? A resposta irá estabelecer qual a intensidade de aplicação de água ($mm \cdot h^{-1}$; $L \cdot h^{-1}$, $m^3 \cdot h^{-1}$) e o tempo em que o volume de água será aplicado em um instante de irrigação, também se define aqui o período de irrigação que nada mais é que o tempo necessário para completar a irrigação de toda a área.

Ao responder a esse conjunto de perguntas você saberá a base para o manejo da irrigação. As respostas para os dois primeiros questionamentos devem ser fundamentados nas necessidades de água da cultura a ser irrigada e as características do solo quanto à sua capacidade de armazenar água, que foram estudadas nas Seções 2.1 e 2.2 desta unidade. A resposta para a terceira pergunta parte do princípio básico de que você avaliou as características de infiltração de água no solo e, assim, determinou a intensidade de aplicação de água do sistema, relacionando esses fatores com o intuito de evitar o escoamento superficial, a percolação excessiva e deriva pelo vento.



Assimile

Para realização do manejo da irrigação, o produtor ou o técnico capacitado deverá levar em consideração os diferentes estágios em que a cultura se apresenta, respeitando a possível susceptibilidade da cultura ao estresse hídrico ou aos riscos que a falta de água poderá acarretar ao seu desenvolvimento ou a produtividade do plantio. Os métodos de manejo da irrigação são realizados através da medição de variáveis climáticas, umidade ou conteúdo de água no solo ou pelos níveis de estresse da cultura. Através de instrumentos como tanques classe "A", estações climatológicas, tensiômetros ou medição do potencial hídrico das plantas utilizando uma câmara de scholander.

As variáveis climáticas são uns dos fatores mais relevantes para a determinação da necessidade hídrica das culturas, de modo que a reposição hídrica possa fornecer condições para o ótimo crescimento e rendimento próximos ao máximo, sem que apresente qualquer limitação. As demandas hídricas das culturas são expressas, geralmente, através das taxas de evapotranspiração da cultura (ET_c), também chamada de evapotranspiração máxima (ET_m), essas variáveis estão relacionadas às taxas evaporativas do ar, que por sua vez podem ser expressas pela evapotranspiração de referência (ET_o), relacionando com o seu respectivo coeficiente de cultura (Kc).

Seguem os conceitos de cada uma das variáveis para o manejo da irrigação via clima:

Evapotranspiração (ET) – é o somatório entre o processo de evaporação da água da superfície terrestre e a água que é eliminada pelas plantas através do processo de transpiração, é a maneira pela qual a água é transferida da superfície terrestre para a atmosfera.

Evapotranspiração da cultura (ET_c) – é a evapotranspiração de uma determinada cultura, na qual a condição básica para que ela aconteça é que o solo esteja próximo à capacidade de campo, ou seja, o solo não apresenta restrição do teor de água no solo e, então, não há restrição para a taxa evapotranspirométrica.

Evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) – corresponde à taxa evapotranspirométrica que ocorrerá em uma certa cultura de referência quando o solo não apresentar restrição hídrica, a umidade estará próxima à capacidade de campo. A cultura de referência utilizada, geralmente, é a grama ou a alfafa. Para esse material, será considerada a grama como tal cultura de referência e, portanto, a ET_o é definida como sendo a evapotranspiração que acontece em um solo totalmente coberto com grama, exercendo seu máximo desenvolvimento ativo e uniforme ao longo da área, sem restrição hídrica e com a altura variando entre 8 e 15 cm. Essa variável climatológica tem sido bastante empregada como embasamento agrometeorológico para se estimar evapotranspiração da maioria das culturas de interesse comercial (ET_c).



Vocabulário

Cultura de referência é a espécie vegetal que mantém suas características, a representatividade, adaptabilidade e disponibilidade no decorrer do ano, sem nenhuma deficiência hídrica.

As demandas evapotranspirométricas dependem dos elementos climáticos e também estão intrinsicamente ligadas a fatores fisiológicos das plantas. O processo de evaporação de água no solo e a transpiração das plantas são eventos que surgem simultaneamente na natureza e, desse modo, é comum considerar a evapotranspiração de forma única, isso se deve à dificuldade de determinação das perdas que são processadas por meio da transpiração dos vegetais que estão englobados em uma mesma região a ser estudada e/ou analisada. Além disso, destaca-se a presença de vegetais de diferentes características e que estão, também, submetidos a condições diversas no que diz respeito às características dos solos e da umidade em uma área estipulada.

O modelo proposto por Doorenbos e Pruitt (1977), muito utilizado até os dias de hoje, em uma publicação que ficou bastante conhecida como Boletim FAO 24, para a determinação da evapotranspiração de várias culturas o processo se dará em duas etapas distintas: no primeiro momento, será estimada a evapotranspiração de referência da cultura (ET_o) e, em um segundo instante, será escolhido um coeficiente da cultura (K_c), que é tabelado e varia de cultura para cultura e também para todos os estágios de crescimento. Logo, a evapotranspiração potencial da cultura de interesse será estimada através do produto entre ET_o e o K_c , conforme a equação:

$$ET_{pc} = ET_o \times K_c$$

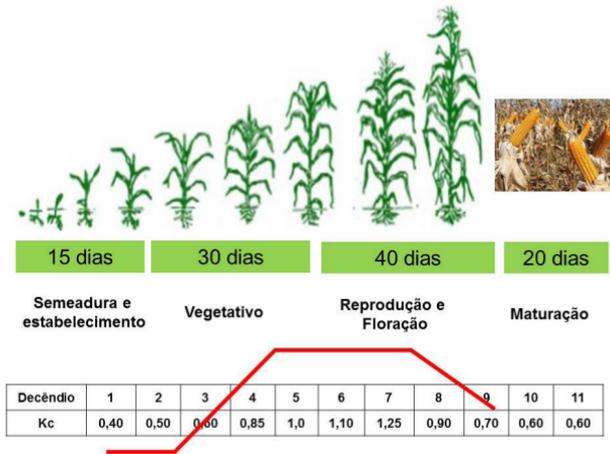
O K_c apresenta variação e de acordo com o estágio da cultura recomenda-se que ele seja indicado para cada uma das fases do ciclo da cultura, de modo que toda a estrutura fisiológica e botânica do vegetal tende a variar à medida que as plantas estão se desenvolvendo. Para culturas de ciclos anuais, geralmente o coeficiente de cultivo é estabelecido segundo as fases de desenvolvimento, são elas:

1. Fase inicial, estágio cujas plantas apresentam cobertura do solo inferior a 10%.
2. Estágio em que as plantas estão expressando seu desenvolvimento vegetativo e exercem uma taxa de cobertura de solo maior que 10% e inferior a 80%.
3. Etapa que compreende a época de reprodução e floração e vai até a fase de maturação, na qual os vegetais já recobriram ao máximo o solo.

4. A fase final está ligada ao estágio de maturação vegetal.
5. Corresponde à fase de colheita.

Com base na publicação de Allen et al. (1998), Boletim FAO 56, os estágios em que o coeficiente de cultivo (K_c) para a cultura do milho, usada aqui como uma cultura representativa, podem ser observados na Figura 2.8.

Figura 2.8 | Coeficiente de cultivo (K_c) da cultura do milho



Fonte: adaptada de FAO Boletim 56 (1998, p. 100).

O coeficiente de cultura (K_c) é um importante fator no manejo da irrigação, sendo tratado como um modo de racionalização da irrigação, ligado à redução de custos relacionados com a produtividade dos cultivos e aos impactos ambientais causados que podem ser gerados pela deficiência e por mau uso da irrigação. Esse coeficiente será utilizado nos cálculos de irrigação indicando o momento certo e a quantidade de água necessária a ser aplicada, tendo em vista sempre o método de irrigação com o intuito de buscar melhores resultados produtivos, alcançando ganho máximo da produção, sem desperdícios.

Os métodos usados para a determinação da evapotranspiração são divididos em métodos diretos e indiretos. O método direto mais empregado é através do uso de lisímetros, porém são equipamentos que ficam muito restritos a centros de pesquisas, sendo fundamentais na calibração dos métodos indiretos para se estimar a evapotranspiração, mas pouco usados em áreas agrícolas para o manejo da irrigação.

Nesse contexto, destacam-se os chamados métodos indiretos, devido a sua maior facilidade de operação e quando bem monitorados oferecem resultados extremamente satisfatórios. Dentre os métodos indiretos, ressaltam-se o tanque evaporimétrico classe "A" e o método padrão FAO Penman-Monteith.

O método do tanque classe "A" usado para a estimativa da evapotranspiração de uma certa cultura é o mais utilizado em nível mundial e transformou-se em um dos métodos recomendados pela FAO. A determinação dessa estimativa da evapotranspiração é feita pelos seguintes processos: primeiramente calcula-se a evapotranspiração de referência através da relação entre evaporação medida no tanque classe "A" (E_v) e o coeficiente do tanque classe "A" (K_t) que é adimensional e depende das condições de umidade relativa (%), da velocidade do vento ($km \cdot d^{-1}$) e do comprimento da bordadura (m) em que o tanque está instalado. A equação para a determinação da ET_o é a seguinte:

$$ET_o = E_v \times K_t$$

Com a ET_o obtida através do tanque, no segundo momento, a estimativa da evapotranspiração potencial da cultura será calculada com a equação:

$$ET_{PC} = ET_o \times K_c$$

As leituras do tanque classe "A" são concretizadas por meio de um micrômetro de gancho, paquímetro ou régua de precisão. Esses equipamentos são instalados em um poço tranquilizador, que previamente é colocado no interior do tanque com função de evitar perturbações na superfície da água, possibilitando assim maior estabilidade do nível da água no momento da realização da leitura.

Figura 2.9 | Tanque classe "A"(a), poço tranquilizador (b) e parafuso micrométrico (c) instalados em campo (d)



Fonte: Disponível em: <<https://jornalagricola.files.wordpress.com/2011/08/tanque-classe-a.jpg>>. (a); <<http://www.sondaterra.com/upload/produto/fotos/9.jpg>>. (b); <http://www.soilcontrol.com.br/arquivos/soilcontrol/produtos/big/Parafuso%20Microm%C3%A9trico%20MI-043_2008513154137.jpg>. (c) e <http://www.agr.feis.unesp.br/tca_mari1.jpg>. (d). Acesso em: 22 out. 2017.

O método escolhido para a determinação da estimativa da ET_o , tem influência de vários fatores, dentre os quais o principal deles é ter disponíveis os dados meteorológicos dentro do espaço de tempo em que se deseja executar a análise. As equações são consideradas métodos complexos, como o de Penman-Monteith, indicado pela FAO e que tem sido adotado como padrão para estimar diariamente a ET_o , porém para a utilização desse método é necessário um grande número de variáveis meteorológicas e, devido a essa problemática, acaba tendo sua aplicação bastante restrita, sendo apenas empregado quando se obtêm todos os dados disponíveis, geralmente em áreas experimentais e em campos agrícolas onde há um elevado investimento em tecnologia. O modelo Penman-Monteith exige dados diários de temperatura máxima ($t_{máx.}$) e mínima do ar ($t_{mín.}$), umidade relativa do ar (UR_{ar}), radiação solar global (R_g), pressão atmosférica (P_a) e velocidade do vento (u). Assim, na publicação de Allen et al. (1998), o Boletim FAO 56 recomenda que os dados sejam importados de uma estação meteorológica (Figura 2.10), desde que estejam sob as mesmas condições climáticas.

Figura 2.10 | Estação meteorológica total instalada em um campo experimental



Fonte: arquivo pessoal do autor (2015).

Por conseguinte, a evapotranspiração pode ser estimada pela equação de Penman-Monteith, indicada pela FAO:

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \times \frac{(R_n - G)}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \times \frac{900}{T + 273,15} \times U_2 \times DPV$$

Em que ET_o = evapotranspiração de referência da cultura ($mm \cdot d^{-1}$); δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$); λ = calor latente de evaporação ($MJ \cdot kg^{-1}$); r_c =

resistência do dossel da planta ($m \cdot s^{-1}$); r_a = resistência aerodinâmica ($m \cdot s^{-1}$); R_n = saldo de radiação à superfície ($MJ \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$); G = fluxo de calor no solo ($MJ \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$); T = temperatura média do ar ($^\circ C$); U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura ($m \cdot s^{-1}$); DPV = deficit de pressão de vapor (kPa) e **900** = fator de transformação de unidades.



Pesquise mais

Como exposto anteriormente, o método de Penman-Monteith é o padrão recomendado pela FAO, entretanto ele requer uma grande quantidade de variáveis e nem sempre as áreas agrícolas dispõem de estações climatológicas para isso. Então, quando há impossibilidade da aplicação desse modelo, é necessário averiguar qual o método mais indicado diante das condições locais. Para que você, aluno, tenha familiaridade com as demais equações, leia o texto indicado.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/12760/9732>>. Acesso em: 22 out. 2017.

Além do manejo da irrigação via clima, é possível que a irrigação seja manejada via solo. Dentre os métodos mais comuns, destaca-se o da tensão de água no solo. Esse método baseia-se na determinação da tensão de água no solo, através de equipamentos conhecidos como tensiômetros, ou então tendo em mãos a curva característica da água no solo, medindo-se a umidade do solo, diariamente, ou intervalos preestabelecidos no dimensionamento do sistema.

Os tensiômetros são equipamentos constituídos por um tubo de PVC, cheio de água, cuja extremidade superior é vedada por uma borracha para que ar e água não entrem, e na extremidade inferior, que será enterrada, é constituído por uma cápsula porosa que possibilita estabelecer uma troca entre os meios internos e externos ao tensiômetro, que nesse caso é o solo. Geralmente os tensiômetros possuem vacuômetros que podem ser de mercúrio, mais utilizados em laboratórios e pouco em campos agrícolas. Para a medição diária em campos agrícolas são usados, com frequência, os tensímetros de punção digitais ou analógicos (Figura 2.11).



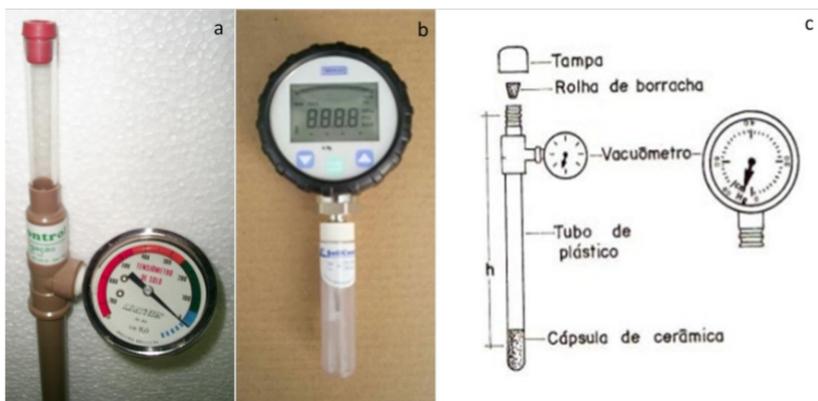
Exemplificando

Uma das formas de calcular o potencial de água no solo é por meio da equação:

$$\Psi_m = -LT + (z_1 + z_2), \text{ em que:}$$

Ψ_m = potencial mátrico de água no solo (m); LT = leitura do tensímetro (m); z_1 = altura do tensímetro em relação à superfície do solo (m); z_2 = profundidade de instalação da cápsula porosa (m).

Figura 2.11 | Tensíômetros de punção analógico (a), digital (b) e componentes de um tensímetro de punção (c)



Fonte: WaterControl Agriseach Equipment (a) e (b); Silveira et al. (1994, [s.p.]) (c). Disponível em: <<http://www.watercontrol.com.br/produtos/irrigacao/tensimetro>>. Acesso em: 23 out. 2017.

Os tensíômetros de punção analógicos vêm com a representação dos intervalos de umidade do solo identificados com diferentes cores. Os mais comuns são: verde (umidade próxima à capacidade de campo, ou seja, não é necessário realizar a irrigação); amarelo ou laranja (umidade do solo próxima ao ponto de murcha, o momento de irrigar está próximo); e vermelho (o solo está em ponto de murcha, é a hora que você deverá irrigar).

Para a instalação dos tensíômetros o tubo deverá ser preenchido com água limpa, se possível com água deionizada. Com auxílio de um trado será aberto um buraco com dimensão próxima à do tensímetro de modo que ele fique mais rente ao solo, a ponta porosa precisará

estar em contato direto com o solo para que o tensiômetro funcione de maneira adequada na profundidade da camada onde deseja-se medir a tensão e, conseqüentemente, a umidade do solo, ficando de fora do solo somente os tensímetros.

Após a instalação a borracha deverá ser fixada fechando assim o tensiômetro hermeticamente. Um vácuo será formado no interior do aparelho. Ele é o princípio básico de funcionamento dos tensiômetros, pois possibilita que quando a umidade do solo estiver baixa, mais água passará do aparelho para o solo e, portanto, maior será o valor marcado no tensímetro. Quando a umidade do solo estiver alta, em decorrência de uma irrigação ou de chuva, o processo se inverte, e acontece a passagem de água do solo para o interior do tensiômetro, reduzindo o valor registrado nos tensímetros.

Já que a irrigação tem como papel principal repor a quantidade de água adequada com a demanda hídrica das culturas agrícolas, o planejamento das irrigações é uma etapa fundamental para o sucesso da atividade agrícola irrigada. Dessa forma a programação das irrigações é feita a partir de dois princípios:

Irrigação total: nesse caso toda água necessária para repor a demanda hídrica da cultura, durante o seu ciclo, é proveniente da irrigação, logo, descarta-se a precipitação pluviométrica de modo que ela não será suficiente para elevar a umidade do solo na região da zona radicular. Comumente feita em regiões áridas e semiáridas. Ou nas regiões úmidas ou subúmidas que apresentam períodos consideráveis de precipitações pluviométricas insignificantes. Assim, a irrigação real necessária (IRN) será igual à disponibilidade real de água (DRA), calculada através da equação:

$$IRN = \frac{C_c - P_m}{100} \times Dp \times Pef \times f$$

Em que: C_c = capacidade de campo; P_m = ponto de murcha; Dp = densidade da partícula; Pef = profundidade efetiva da raiz e f = fator de disponibilidade hídrica.

Irrigação suplementar: acontece quando a água proveniente da precipitação pluviométrica não consegue repor 100% da demanda hídrica da cultura. Dessa maneira, é preciso usar a irrigação para repor a água que foi perdida, devido à demanda evapotranspirométrica da cultura no intervalo de duas irrigações consecutivas. Em algumas regiões a precipitação efetiva é bastante variável, apresenta má distribuição e,

muitas vezes, difícil medição. Para tanto, o planejamento deverá ser realizado para uma precipitação em torno de 75% da probabilidade com base em uma série histórica regional.

$$IRN = \left(\frac{C_c - P_m}{100} \times Dp \times Pef \times f \right) - Pe, \text{ em que } Pe \text{ é a precipitação}$$

efetiva.

Já as estratégias para o manejo da irrigação serão:

Irrigação sem deficit: atender totalmente as necessidades hídricas da cultura, seja para irrigação total ou suplementar. Nesse aspecto a evapotranspiração da cultura será satisfeita totalmente, com a finalidade de maximizar a produtividade da cultura.

Irrigação com deficit: nessa estratégia a demanda hídrica da cultura será parcialmente atendida como alternativa de economizar água e reduzir alguns custos variáveis de irrigação. Geralmente, esse deficit é utilizado nos períodos menos críticos para a cultura ou durante todo o ciclo, contudo acarretará maiores prejuízos ao plantio. Comumente usada em regiões semiáridas que apresentam longos períodos de estiagem.

Irrigação de salvação: as necessidades hídricas da cultura só são supridas em períodos relativamente curtos ou nos estágios mais críticos. Trata-se de uma estratégia de economia de água e redução de alguns custos associados à irrigação.

Além das estratégias de manejo, é essencial que se conheça e se adote um método de manejo. Os métodos mais comuns para o manejo da irrigação são fundamentados no turno de rega, no balanço hídrico no solo e no potencial de água no solo.

Segundo o manejo do turno de rega, leva-se em consideração o intervalo entre duas irrigações consecutivas pela razão entre a irrigação real necessária (IRN) e a ET_c , tendo em vista cada um dos estágios de desenvolvimento da cultura. Calcula-se pela equação:

$$TR(dias) = \frac{1000(C_c - P_m) \times Pef \times f}{ET_c}, \text{ portanto a IRN também}$$

pode ser obtida por:

$$IRN = TR \times ET_c$$

O método de manejo que se baseia no balanço hídrico no solo prioriza as entradas de água no solo através da irrigação e da

precipitação pluviométrica e as saídas de água pela evapotranspiração. Nesse método, considera-se que após a irrigação o solo estará com umidade na capacidade de campo e, então, a ET_c deverá ser subtraída, calculando as perdas, e a precipitação deverá ser somada, calculando as entradas de água no solo. Quando o consumo da demanda hídrica das culturas atingir a quantidade de água equivalente à irrigação real necessária, ou seja, a água disponível para as plantas encontra-se em estágio crítico, deverá realizar-se a irrigação, aplicando-se a irrigação total precisa, também conhecida como lâmina bruta, previamente calculada com a equação:

$$ITN = \frac{IRN}{Ea}, \text{ em que } Ea \text{ é a eficiência de aplicação de água que}$$

depende do sistema de irrigação utilizado.



Refleta

Um sistema de irrigação é composto por uma série de elementos que se integram e que atuam em conjunto com um objetivo geral. Antes de escolher o programa de manejo da irrigação, é importante saber sobre a fisiologia da planta, conhecendo quais os períodos críticos de consumo de água e seus reflexos na produtividade. Desse conjunto fazem parte também o clima, responsável pelas condições ambientais, e o homem, que executará as ações, tomará a decisão correta e escolherá o plano de manejo ideal.

Sem medo de errar

Ao analisarmos todas as informações do contexto já estudado, podemos identificar que há uma série de fatores ligados ao manejo de água-solo-atmosfera que estão causando os problemas de excesso de umidade no solo; a água infiltrando lentamente; o solo ficando acima da capacidade de campo; e a pastagem naquele local tendo seu crescimento prejudicado devido ao excesso de água. O manejo inadequado da água e do solo nas atividades agrícolas pode acarretar vários prejuízos para o produtor, pois, se por um lado essa prática é imprescindível para uma produção apropriada, o seu uso incorreto, por outro lado, poderá ocasionar complicações

às culturas e erosão no solo, além do excessivo desperdício dos recursos hídricos.

A escolha do manejo a ser adotado é uma etapa de extrema importância porque, se ele for feito com base nas informações agrometeorológicas, permitirá um uso mais racional e adequado dos recursos hídricos contribuindo para a preservação. No caso relatado observa-se que o produtor optou pela utilização de dois tipos de manejo, o que acabou gerando o excesso de água aplicada, superestimando a lâmina de irrigação. Esse excesso de água prejudicou o desenvolvimento da cultura que começou a apresentar respostas fisiológicas de retardamento do seu crescimento. Tais ponderações ratificam que a noção das necessidades hídricas de um vegetal é um referencial imprescindível quando planeja-se a irrigação, sendo que essas necessidades são afetadas pelos parâmetros do solo, clima e das características da própria cultura. Aliado a isso, quando a umidade do solo não está no limite ideal, a evapotranspiração máxima da cultura sofre uma redução e a evapotranspiração de referência acaba se tornando inferior à máxima.

O valor de umidade do solo crítico, acima da capacidade de campo, faz com que a evapotranspiração de referência seja menor que a evapotranspiração máxima. Entender a necessidade hídrica das culturas, o momento correto de aplicação da lâmina de irrigação correspondente à demanda hídrica das culturas, compreendendo o armazenamento de água no solo e o processo de infiltração, são aspectos fundamentais para a escolha do sistema de irrigação a ser usado, bem como a determinação de como o manejo da irrigação deve ser feito. No caso dos problemas apresentados, três aspectos podem ser a chave para solucioná-los: o primeiro ponto significativo é a observação da mudança da estrutura e das características físicas da camada superficial do solo, consequência da leve compactação; o segundo fator relevante é observar se a vazão do aspersor utilizado está condizendo com a velocidade de infiltração básica do solo, se a intensidade de aplicação de água desse aspersor atende a capacidade de infiltração de água no solo; o terceiro aspecto a ser analisado pelo produtor é a adoção de um sistema de manejo apenas. Usar o tanque classe "A" como referência para o cálculo das lâminas a serem aplicadas e acompanhar por meio dos tensiômetros o momento em que o solo atinge a capacidade de campo.

Agora você é capaz de entregar ao professor a análise da demanda hídrica e expor a sua proposta de manejo de irrigação desenvolvida em cada problemática.

Avançando na prática

Demanda hídrica da cultura e excesso de aplicação de água

Descrição da situação-problema

Um agricultor perdeu grande parte da sua produção de melancia por seus frutos apresentarem rachaduras e apodrecimento, aqueles que foram colhidos mostraram diminuição do sabor. Ele irrigou durante todo o plantio usando sistema de irrigação por gotejamento, para o monitoramento a ET_0 através de tanque classe "A". Porém, o agricultor não levou em consideração o índice pluviométrico total de 150 mm , durante o ciclo da cultura, o que pode ter causado excesso de água e, conseqüentemente, prejudicado a produção. O agricultor aplicou a lâmina adotando um turno de rega de 1 dia e o k_c da cultura, conforme recomendado por Allen et al. (1998), Boletim FAO 56 (Tabela 2.9). Ele colheu as melancias com 75 dias, em que cada estágio teve duração de 15 dias. Conforme as análises físicas do solo, os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente são $0,40$ e $0,35 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. O fator de disponibilidade hídrica (f) = $0,40$, a profundidade efetiva da raiz (P_{ef}) = $0,40 \text{ m}$ e a eficiência do sistema de irrigação = 90% .

Tabela 2.9 | Valores de ET_0 para o período do plantio e valor de K_c para a cultura da melancia

ET_0			K_c				
Ago	Set	Out	I	II	III	IV	V
6,8	6,2	5,9	0,50	0,80	1,05	0,90	0,75

Fonte: Allen et al. (1998, p. 110), Boletim FAO 56.

Com base nos dados, percebe-se que o agricultor aplicou a lâmina superior à necessidade hídrica da cultura. Qual a lâmina que ele deveria ter aplicado? Qual a irrigação real indispensável para a cultura? E o turno de rega mais apropriado para o plantio?

Resolução da situação-problema

A partir das informações passadas nota-se que conhecer as especificidades da cultura e a correta determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada é essencial para galgar êxito na produção agrícola.

$ET_c = ET_o \times K_c$. O ET_c para cada estágio será:

$$ET_{cEI}: \begin{aligned} ET_c &= ET_o \times K_c = 6,8 \times 0,50 = 3,4mm \\ L\hat{a} \text{ min } a_{EI} &= 3,4 \times 15 = 51mm \end{aligned}$$

$$ET_{cEII}: \begin{aligned} ET_c &= ET_o \times K_c = 6,2 \times 0,80 = 4,96mm \\ L\hat{a} \text{ min } a_{EII} &= 4,96 \times 15 = 74,4mm \end{aligned}$$

$$ET_{cEIII}: \begin{aligned} ET_c &= ET_o \times K_c = 6,2 \times 1,05 = 6,51mm \\ L\hat{a} \text{ min } a_{EIII} &= 6,51 \times 15 = 97,65mm \end{aligned}$$

$$ET_{cEIV}: \begin{aligned} ET_c &= ET_o \times K_c = 5,9 \times 0,90 = 5,31mm \\ L\hat{a} \text{ min } a_{EIV} &= 5,31 \times 15 = 79,65mm \end{aligned}$$

$$ET_{cEV}: \begin{aligned} ET_c &= ET_o \times K_c = 5,9 \times 0,75 = 4,42mm \\ L\hat{a} \text{ min } a_V &= 4,42 \times 15 = 66,3mm \end{aligned}$$

$$L\hat{a} \text{mina}_{aplicada} = 51 + 74,4 + 97,65 + 79,65 + 66,3 = 370mm$$

Além da lâmina aplicada deve-se considerar a precipitação, portanto:

$$L\hat{a} \text{mina}_{Total} = 370 + 150 = 520mm$$

É preciso estabelecer um valor médio de ET_c para o cultivo, de modo que o turno de rega seja uniforme durante todo o plantio, assim:

$$ET_{cm\acute{e}dio}: ET_c = \frac{3,4 + 4,96 + 6,51 + 5,31 + 4,42}{5} = 4,9mm$$

Dessa forma, calcula-se o turno de rega para o $ET_{cm\acute{e}dio}$:

$$TR(\text{dias}) = \frac{(1000(C_c - P_M) \times P_{ef} \times f)}{ET_c} = \frac{(1000(0,4 - 0,35) \times 0,4 \times 0,4)}{4,9} = 1,62 \text{ dias} = 2 \text{ dias}$$

Com o turno de rega determinado, conclui-se que para o período de 75 dias devem ser realizados 37 momentos de irrigações. O próximo passo é calcular a irrigação real necessária e multiplicar pelos momentos

de irrigação, estabelecendo assim a IRN para o período total de cultivo:

$$IRN = TR \times ET_C = 2 \times 4,9 = 9,8 \times 37 = 362,6 \text{ mm}$$

Com o valor de IRN obtido deve-se subtrair o valor da precipitação, de modo que a quantidade de chuva para o período supriu parte da necessidade hídrica da cultura, assim temos:

$IRN = 362,6 - 150 = 212 \text{ mm}$. Portanto, apenas 212 mm da necessidade hídrica da cultura deveriam ser supridos através da irrigação. Calcula-se, em seguida, a ITN, determinando a lâmina bruta total a ser aplicada:

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} = \frac{212}{0,9} = 235,55 \text{ mm}$$

Logo, a lâmina total a ser aplicada pelo agricultor deveria ser $235,55 \text{ mm}$ e não 370 mm como foram aplicados. Dessa forma, o agricultor teria obtido ótima produtividade e também economizado água, energia e custos adicionais com o sistema de irrigação.

Faça valer a pena

1. Um produtor de feijão o contratou para a realização do projeto de irrigação no seu plantio. Durante o dimensionamento do sistema deverá ser calculada a ET_C da cultura. Para isso, você dispõe das tabelas de ET_O e K_C da cultura do feijão como pode ser visto na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 | Valores de ET_O para o período do plantio e Valor de K_C para a cultura do feijoeiro

ET_O				K_C			
Jan	Fev	Mar	Abr	I	II	III	IV
6,0	5,9	4,9	4,0	0,40	0,75	1,05	0,95

Fonte: Allen et al. (1998, p. 110), Boletim FAO 56.

Com base na Tabela 2.10, marque a alternativa que corresponde à evapotranspiração média da cultura durante todo o período do plantio.

- a) 3,8 mm.
- b) 3,9 mm.
- c) 4,1 mm.
- d) 4,0 mm.
- e) 3,7 mm .

2. Um agricultor faz o manejo da irrigação do seu plantio de alface usando tensiômetros. Através da curva de retenção de água no solo ele deve irrigar o plantio sempre que o potencial mátrico de água no solo atingir -40 kPa na profundidade de 0,30 m. A irrigação deve ser realizada considerando uma profundidade efetiva de raízes de 0,15 m. Quando $\psi_m = -40 \text{ kPa}$, a umidade em ponto de murcha no perfil de solo até 0,30 m, obtida pela curva de retenção, é 0,35 e a capacidade de campo é $0,45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Considerando o fator de disponibilidade hídrica (f) = 0,30.

Marque a alternativa que corresponde à irrigação real necessária e ao turno de rega recomendado para a alface com $\text{ETc} = 5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$.

- a) TR = 2 dias e IRN = 5 mm.
- b) TR = 1 dia e IRN = 10 mm.
- c) TR = 1 dia e IRN = 5 mm.
- d) TR = 1 dia e IRN = 12 mm.
- e) TR = 2 dias e IRN = 10 mm.

3. A água é um elemento fundamental para a produção agrícola. O consumo total de água é influenciado pelo tipo de cultura e estágio de desenvolvimento, pelo clima, pelo tipo de solo, pela cobertura do solo e isso é chamado de demanda hídrica das culturas.

O consumo de água pelas plantas pode ser considerado como:

- a) Resultante da evaporação.
- b) Resultante da transpiração.
- c) Resultante da evapotranspiração.
- d) Resultante da respiração.
- e) Resultante da fotossíntese.

Referências

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Teresina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, 2007. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/56415/1/curvaretencao.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 120 p.
- BUSKE, T. C. et al. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-329, 2014.
- CARVALHO, D. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Planejamento e manejo da água na agricultura**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 239 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 2011. 247 p.
- GONÇALVES, A. C. A. et al. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um nitossolo vermelho distroférrico, por meio da técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35. p. 1551-1559, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n5/a09v35n5.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2017.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.
- MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Irrigação**: apostila. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. 180 p..
- PEREIRA, L. S. et al. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296 p.
- SILVA, A. P. J. **Mecânica dos solos**: apostila. Rio Grande do Norte: UNP, 2009. 65 p.
- SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: Embrapa/SPI, 1994. 46 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 27).
- YOSHIOKA, M. H.; LIMA, M. R. de. **Experimentoteca de solos** – infiltração da água no solo. Experimentoteca de Solos – Programa Solo na Escola – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Disponível em: <<http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos1.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

Sistemas de irrigação

Convite ao estudo

A irrigação consiste na aplicação artificial de água no solo. Essa forma de aplicação pode variar conforme o tipo de sistema de irrigação adotado pelo produtor. As diferentes formas de irrigação serão o tema desta unidade de ensino. Serão abordados os sistemas de irrigação localizada, por aspersão e por superfície. Cada um com suas características, seus aspectos fundamentais, seus princípios, suas formas de aplicar e fornecimento de água para as culturas visando a garantia de produção, diminuição dos riscos, colheita na entressafra e aumento de produtividade.

A irrigação é uma técnica milenar que vem se aperfeiçoando ao longo dos anos até chegar a um contexto atual de alta tecnologia, visando suprir a demanda hídrica das culturas da maneira mais eficiente possível. Dentro desse contexto deve-se conhecer cada um dos sistemas de irrigação disponíveis hoje no mercado e entender quais as suas vantagens. Quais as suas desvantagens? Quais os critérios adotados na escolha do sistema de irrigação? Quais os critérios adotados no dimensionamento dos sistemas?

Você verá que a liderança é fundamental para que seus conhecimentos sejam repassados aos produtores e agricultores que fazem uso da irrigação, e ao final da unidade você entenderá um pouco mais sobre o estudo dos tipos de irrigação que podem ser aplicados para uma determinada cultura considerando suas características. Para iniciar os estudos acerca dos métodos de irrigação, vamos partir da seguinte situação:

Você é técnico de uma empresa de assistência técnica e extensão rural que foi contratado para prestar consultoria em uma cooperativa de agricultores familiares que trabalham na

produção e beneficiamento de frutas. Essa cooperativa tem como foco principal o beneficiamento de frutas para agregar valor ao produto final e com isto obter maiores lucros. Dessa forma, os agricultores conseguem investir em tecnologia, dentre as quais, sistemas de irrigação. As frutíferas apresentam elevadas demandas hídricas e a irrigação é fundamental para obter altas produtividades. Os sistemas de irrigação são montados e operados pelos próprios produtores e têm apresentado alguns problemas de funcionamento. Três áreas estão apresentando problemas que estão colocando em risco a produção.

Na primeira, o pomar de citros irrigado por gotejamento parou de se desenvolver e teve seu crescimento retardado. O espaçamento entre gotejadores é de 0,5 m, o que favorecia a formação de uma faixa molhada, que não está mais acontecendo. Apenas pequenas áreas estão com umidade perto da ideal. Alguns emissores deixaram de funcionar e estão operando com vazão e pressão abaixo das recomendadas pelo fabricante.

O pomar de mamoeiros irrigado por aspersão também está apresentando problemas de produção. O perfil de umedecimento do solo está desuniforme, há acúmulo de água nas entrelinhas de plantio e excessivo aparecimento de ervas daninhas.

Já o pomar de bananeiras irrigado por sulcos está apresentando acúmulo de água próximo às plantas do início da linha de plantio, esta umidade excessiva está favorecendo o aparecimento de doenças, enquanto que as plantas do final da linha de plantio estão apresentando baixa produtividade por falta de água, que chega em pequenas quantidades. Caberá a você ajudar os produtores a resolver este problema e entender quais os fatores que estão causando cada um dos problemas à produção dessas frutíferas. O ponto de captação de água é um rio que passa próximo aos pomares e que durante o verão apresenta elevada quantidade de sedimentos e acúmulo de sais.

Ao conhecer os pomares e observar cada um dos problemas, quais os aspectos que deve-se levar em consideração para solucionar os problemas? Cada problema deriva do mesmo princípio? Ou apresentam causas diferentes? Quais características interferem nos sistemas de irrigação? Quais as mudanças sugeridas para ajudar os produtores? Os sistemas estão de acordo com as culturas irrigadas? Haverá necessidade de um novo dimensionamento?

Para responder a essas perguntas você estudará nessa unidade que cada sistema de irrigação apresenta suas especificidades, características e que eles se adaptam a diferentes culturas, solos e condições ambientais. Você deverá se atentar para alguns conceitos básicos, as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de sistemas de irrigação, os critérios de escolha e de dimensionamento dos sistemas.

Bons estudos!

Seção 3.1

Irrigação localizada

Diálogo aberto

Aluno, a irrigação é uma técnica fundamental para a garantia da produtividade agrícola, principalmente em regiões em que o regime de chuvas não consegue suprir a necessidade hídrica das culturas. Com o passar do tempo, vem ganhando cada vez mais adeptos e aumentando o nível tecnológico dos sistemas dentro do ambiente rural. Dentre os sistemas de irrigação mais comuns, o sistema de irrigação localizada vem sendo um dos mais utilizados na agricultura. Ele proporciona maior eficiência e, se bem dimensionado, maior uniformidade de aplicação de água, também. Porém, em qualquer tipo de sistema de irrigação podem ocorrer desperdícios de água e perda de produtividade; se deixados sem gerenciamento e sem um manejo de irrigação ideal. Mas, afinal, quais fatores devem ser levados em consideração para um bom dimensionamento de sistemas de irrigação localizada? Quais os aspectos que levaremos em consideração para realizar o projeto? Quais os principais sistemas de irrigação localizada utilizados? Quais os equipamentos utilizados? Para entendermos mais detalhadamente o sistema de irrigação localizada, vamos partir da seguinte situação hipotética:

Como profissional habilitado para trabalhar com irrigação, você deverá solucionar os problemas que foram expostos pelos agricultores. No pomar de citros, o sistema de irrigação por gotejamento apontou falhas, retardando o crescimento da cultura e não apresentando a umidade necessária em todas as áreas e interferindo no funcionamento de alguns emissores. Ao percorrer a área, você observou que: O espaçamento entre gotejadores é de 0,5 m, o que favorecia a formação de uma faixa molhada, que não está mais acontecendo. Apenas pequenas áreas estão com umidade perto da ideal. Alguns emissores deixaram de funcionar e estão operando com vazão e pressão abaixo das recomendadas pelo fabricante.

Como mencionado, o ponto de captação de água apresenta elevada quantidade de sedimentos e acúmulo de sais. Isso poderia

ocasionar um entupimento no sistema? Devido às prováveis impurezas, a saída de água através dos emissores estaria obstruída, prejudicando a distribuição da água e com isso a produção da cultura. Como evitar esse problema nessa região? O sistema de irrigação localizada por gotejamento é o que melhor se adequa a esta situação? Como dimensionar as tubulações corretas para a necessidade da cultura?

Nesta seção, iremos estudar detalhadamente o sistema de irrigação localizada para ajudar o produtor a solucionar os problemas e determinar as suas respectivas soluções.

Bons estudos!

Não pode faltar

A irrigação localizada é um método que aplica água diretamente na região onde se concentra a zona radicular da cultura que se deseja irrigar. Caracteriza-se por utilizar pequenas vazões, porém com alta frequência de aplicação, de maneira que a umidade do solo se manterá sempre com valores elevados (Figura 3.1).



Refleta

Apesar do longo histórico de utilização dos sistemas de irrigação localizada, ela é uma tecnologia que vem se popularizando recentemente, por que você acha que isso aconteceu?

A irrigação localizada popularizou-se devido, principalmente, permitir o melhor aproveitamento dos recursos hídricos, diminuindo o desperdício e conseqüentemente aumentando a produtividade.

Figura 3.1 | Sistemas de irrigação localizada em operação



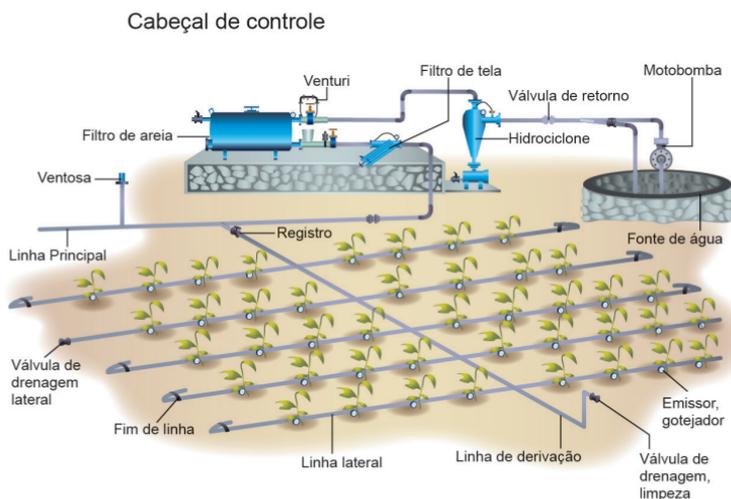
Fonte: <<https://www.irrigacao.net/irrigacao-localizada/tudo-sobre-irrigacao-localizada/>>. Acesso em: 01 out. 2017.

Assim como os demais sistemas de irrigação, os sistemas de irrigação localizada apresentam vantagens e desvantagens. Pode-se citar como vantagens: Alta eficiência no uso da água; não há interferência nos demais tratos culturais; economia de mão de obra; possibilidade de automatizar o sistema; maior produtividade: como a irrigação apresenta turnos de regas pequenos, até três dias, apresenta maior uniformidade da umidade do solo e, conseqüentemente, maior desenvolvimento da cultura; diminuição da incidência de doenças nas plantas pelo fato de não molhar a parte aérea do vegetal; restringe o desenvolvimento e a disseminação de ervas daninhas, pelo fato de molhar apenas as linhas de plantio e não as entrelinhas e; permite a quimigação, aplicação de fertilizantes, inseticidas, fungicidas estimuladores de crescimento vegetal via água de irrigação.

Como limitações destacam-se: Grande facilidade de entupimento dos emissores; crescimento radicular limitado e concentrado e; elevado custo de implantação.

Os sistemas de irrigação localizada são compostos geralmente por: Motobomba, cabeçal de controle, linhas principais, linhas de derivação, linhas laterais, emissores, válvulas e filtros, como mostra a Figura 3.2.

Figura 3.2 | Esquema de um sistema de irrigação localizada



Fonte: JAIN (2017, s/p).

Cabeçal de Controle: é a parte do sistema de irrigação localizada que juntamente com os emissores é a mais importante do sistema. Deve ser instalado logo após a motobomba, no início da linha principal. É composto por: manômetros, filtros, medidores de vazão, válvula de controle de pressão, injetor de fertilizantes e registros. Conforme pode ser observado na Figura 3.3.

Figura 3.3 | Cabeçal de controle de sistema de irrigação localizada



Fonte: <<http://www.netasul.com.br>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

Filtros: Os filtros são elementos fundamentais para o bom desempenho de um sistema de irrigação localizada. A localização deles no cabeçal de controle é estratégica para que a filtragem aconteça antes da linha principal e a água chegue à tubulação principal com menores quantidades ou sem elementos que possam causar entupimentos no sistema e, conseqüentemente, uma distribuição de água com baixa uniformidade ao longo das linhas laterais. Os principais tipos de filtro são:

Filtro de disco: É constituído de vários discos empilhados onde a água é forçada a passar retirando as impurezas nela contidas. Os elementos filtrantes são compostos de numerosos discos plásticos finos, que são armazenados num núcleo telescópico. Ambos os lados dos discos são ranhurados e as ranhuras atravessam uma as outras

quando empilhadas e comprimidas juntas. O elemento filtrante do disco permite uma filtração profunda com alta capacidade de reter matéria orgânica. O filtro de disco pode ser observado na Figura 3.4.

Figura 3.4 | Filtro de disco



Fonte: <plasnovatubos.com.br>. Acesso em: 01 nov. 2017.

Filtro de tela: Nesse tipo de filtro o elemento filtrante são telas que podem ser fabricadas de plástico ou inox. O filtro de tela é bastante eficiente na filtragem de pequenos fragmentos sólidos, como areia fina, mas pode entupir com alguma certa facilidade. A tela usada apresenta pequenos orifícios que variam de 200 mesh ou 0,074 mm até 80 mesh ou 0,2 mm. O filtro de tela pode ser observado na Figura 3.5.

Figura 3.5 | Filtro de tela

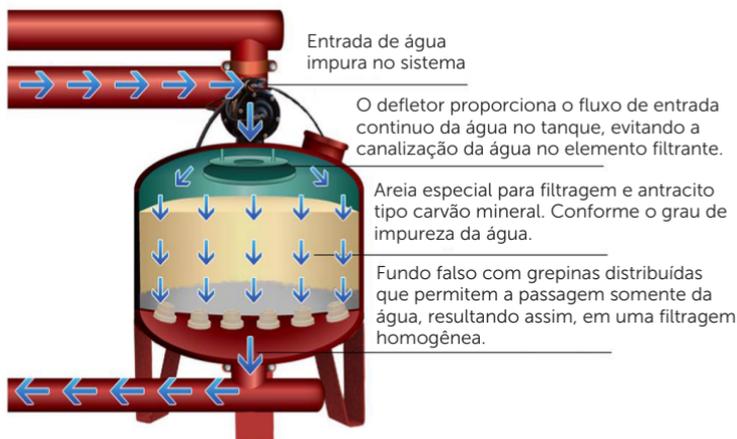


Fonte: <plasnovatubos.com.br>. Acesso em: 01 nov. 2017.

Filtro de Areia: O filtro de areia é recomendado para situação em que haja a necessidade de retenção de grandes quantidades de material orgânico e partículas maiores e, por isso, quando utilizado deverá ser instalado como o primeiro elemento do sistema, realizando uma pré-filtragem. Seu funcionamento se dá

à medida que a água passa por uma camada de areia que retém a sujeira (Figura 3.6). Esse deve ter sua limpeza feita através de retrolavagem, sendo recomendada a cada aumento de 10 a 20% das perdas de carga normal do filtro, quando limpo correspondendo a aproximadamente 2 *mca*.

Figura 3.6 | Filtro de areia



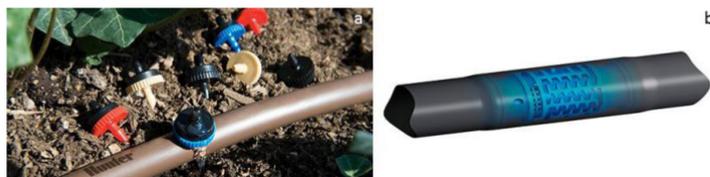
Fonte: <<http://www.tractor-rega.com/filtros.htm>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

As tubulações utilizadas nos sistemas de irrigação localizadas são, geralmente, fabricadas de PVC ou polietileno. As linhas de recalque e principal que “transportam” maior vazão, na maioria das vezes são compostas de tubos de PVC, e são enterradas para facilitar o tráfego de máquinas na área. As linhas de derivação podem ser compostas tanto de tubos de PVC, quanto de tubos de polietileno de baixa densidade (PEBD), para projetos de menores tamanhos. Em comparação com os tubos de PVC, os tubos de PEBD facilitam a montagem por apresentarem maior facilidade de perfuração, este é um fator importante, pois nesta linha de derivação vão ser instaladas as inúmeras saídas para as linhas laterais. As linhas laterais estão em maiores quantidades e geralmente são de tubos de polietileno onde os gotejadores são instalados, apresentam como diâmetros mais comuns variando de 10 a 40 *mm*.

O conjunto motobomba tem a função de fornecer a energia suficiente para captar a água no ponto de captação e conduzir até os emissores. Normalmente se usam bombas centrífugas que são acionadas por motores elétricos ou de combustão.

Os emissores são os principais componentes desse sistema. São chamados de gotejadores ou microaspersores. Quanto aos gotejadores, eles podem ser classificados quanto ao seu posicionamento de instalação nas linhas laterais. Os chamados sobre a linha (on-line) são gotejadores instalados sobre a tubulação das linhas laterais (Figura 3.7a). Enquanto que os gotejadores “na linha” (in-line) são gotejadores que já são comercializados inseridos na tubulação de polietileno (Figura 3.7b).

Figura 3.7 | Gotejador on-line (a) e Gotejador in-line (b)



Fonte: Figura (a) <<https://www.hunterindustries.com/pt/product/microirrigacao/gotejadores>>. Figura (b) <<http://new.irritec.com/pt-br/wp-content/uploads/sites/17/2013/12/junior-44-500x396.jpg>> Acesso em: 01 nov. 2017.

Os gotejadores são emissores que apresentam como características fundamentais: vazões relativamente baixas, porém constantes e uniformes. Já os microaspersores (Figura 3.8), como o próprio nome indica, são pequenos aspersores que são conectados diretamente nas tubulações. Geralmente são mais recomendados para culturas que possuem maior espaçamento, sendo amplamente utilizados na fruticultura. Comparando com os gotejadores, apresentam maiores vazões, maior raio molhado e exigem um sistema de filtragem mais simples, por serem menos susceptíveis ao entupimento.

Figura 3.8 | Microaspersor



Fonte: Disponível em: <<http://www.agriexpo.online/pt/prod/rivulus-irrigation-sas/product-170141-8482.html>>. Acesso em: 01 nov. 2017.



No estudo dos sistemas de irrigação localizada, é importantíssimo conhecer as principais diferenças entre os sistemas de gotejamento e microaspersão. As diferenças fundamentais são:

Tabela 3.1 | Diferenças entre os sistemas de gotejamento e de microaspersão

	Gotejamento	Microaspersão
Aplicação da água	Em pontos, utilizando emissores denominados gotejadores	Sobre uma pequena área circular ou setorial, através de emissores denominados microaspersores.
Vazão	Até 20 l/h em cada ponto de emissão.	Até 200 l/h.
Pressão	Inferiores a 10 mca.	Entre 10 e 20 mca.

Fonte: Ferreira (2011, p. 39)

O dimensionamento de sistemas de irrigação localizada é dividido em projeto agrônomico e projeto hidráulico. Inicia-se com o projeto agrônomico através do cálculo da evapotranspiração. Este fator depende da porcentagem de área molhada pelo emissor e é expresso em lâmina de água e pode ser calculado através:

$$ET_g = ET_c \times \frac{P}{100}, \text{ onde}$$

ET_g - Corresponde à evapotranspiração média na área ($mm \cdot d^{-1}$);
 ET_c - Evapotranspiração da cultura ($mm \cdot d^{-1}$); P - Porcentagem de área molhada.

A porcentagem de área molhada pode ser calculada para irrigação em faixa contínua ou irrigação por árvore, os cálculos para ambas as situações podem ser feitos através das seguintes equações, respectivamente:

$$P = \frac{P_1 \times S_1 + P_2 \times S_2}{Sf}, \text{ onde:}$$

S_1 - Maior espaçamento entre as linhas laterais (m); P_1 - 100; Sf - espaçamento entre fileiras de plantio (m); S_2 - $Sf - S_1$; P_2 - tabelado em função de S_2 .

$$P = 100 \frac{n \times S_g \times S_m}{Sf \times S_c}, \text{ onde:}$$

n - Número de emissores por planta; S_g - espaçamento entre emissores; S_m - largura da faixa molhada; S_c - espaçamento entre plantas (m).

Com a porcentagem de área molhada determinada, deve-se calcular a Irrigação Real Necessária (IRN), que é calculada através da equação:

$$IRN = ET_g \times TR, \text{ onde:}$$

TR - Corresponde ao turno de rega.

Dando continuidade, procede-se o cálculo da irrigação total necessária, através da equação:

$$ITN = \frac{IRN}{Ea}, \text{ onde } Ea \text{ é a eficiência de aplicação de água que}$$

depende do sistema de irrigação utilizado, que para os sistemas de irrigação localizada devem ser superiores a 90% (0,9).

Com a ITN calculada, o Tempo de Irrigação por Posição (T_i) deve ser calculado, assim como a porcentagem de área molhada, ele também pode ser calculado para irrigação em faixa contínua ou irrigação por árvore, os cálculos para ambas as situações podem ser feitos através das seguintes equações, respectivamente:

$$T_i = \frac{ITN \times S_g \times S_1}{Q_g}$$

$$T_i = \frac{ITN \times A_1}{n \times Q_g}, \text{ onde:}$$

Q_g - vazão do gotejador ($L \cdot h^{-1}$); S_g - espaçamento entre emissores; A_1 - Área ocupada por cada planta (m^2); n - número de emissores.

Com o tempo de irrigação por posição determinado procede-se o cálculo do Número de Unidades Operacionais (N), que representa a quantidade de subáreas em que o projeto será dividido, sendo calculado através da equação:

$$N = \frac{TR \times n_h}{T_i}, \text{ onde } n_h \text{ corresponderá ao número de horas de}$$

trabalho por dia, também pode ser encontrado na literatura chamado de jornada de trabalho.

A última etapa do dimensionamento agrônômico é o cálculo da vazão necessária (Q) para atender o projeto, sendo calculado através:

$$Q = \frac{A \times ITN}{N \times T_i}, \text{ onde:}$$

Q - vazão ($L \cdot h^{-1}$); A - Área do projeto (m^2).

Finalizado o cálculo agrônômico, inicia-se o dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação. O primeiro passo é o cálculo da perda de carga nas linhas laterais. Entende-se por perda de carga em tubo a perda de energia dinâmica da água decorrente do atrito das partículas da água entre si e contra as paredes da tubulação. O critério hidráulico utilizado para a perda de carga nas linhas laterais é que a variação de vazão no início da linha lateral até o último gotejador não seja superior a 10%. Para que essa condição seja atendida, a perda de carga ao longo da linha lateral não excederá a 20% da pressão de serviço do gotejador, indicada pelo fabricante no catálogo de produto. A instalação da Linha Lateral deve ser sempre feita em nível, adotando a menor diferença de cotas do início ao fim da Linha Lateral, no terreno possível. A equação utilizada para o cálculo da perda de carga é a equação de Hazen-Williams, aqui apresentada na sua forma modificada:

$$hf_{LL} = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}} \times L \times F \times \left(\frac{C}{C_g}\right)^{1,852}, \text{ onde:}$$

hf_{LL} - Perda de carga na Linha Lateral (mca); Q - vazão de projeto ($m^3 \cdot s^{-1}$); C - Coeficiente de rugosidade do tubo adota-se 140 para PVC e 144 para PEBD; D - Diâmetro da tubulação (m); L - Comprimento da tubulação (m); F - fator de Christiansen; C_g - Coeficiente de rugosidade do tubo com gotejadores, adota-se um valor médio de 100.

Para calcular a pressão no início da linha lateral deve-se levar em consideração a Pressão de serviço do emissor (P_s), a perda de carga na linha lateral (hf_{LL}) e; a diferença de nível do início ao fim da Linha Lateral (ΔZ_{LL}), em metros, conforme a equação abaixo:

$$P_{in_{LL}} = P_s + 0,75 \times hf_{LL} \pm 0,4 \times \Delta Z_{LL} .$$

Após o dimensionamento das linhas laterais, é realizado o dimensionamento da linha de derivação, para tanto adota-se critério semelhante ao utilizado para linha lateral, onde o limite de hf na

Linha de Derivação somado ao hf da Linha Lateral não poderá ser maior que 30% da Ps do emissor escolhido. Assim como nas linhas laterais, a equação utilizada para o cálculo da perda de carga é a equação de Hazen-Williams. Porém, para calcular a pressão no início da Linha de Derivação leva-se em consideração apenas a pressão no início da linha lateral, a perda de carga na linha de derivação (hf_{LD}) e; a diferença de nível do início ao fim da Linha de Derivação (ΔZ_{LD}), em metros, conforme a equação abaixo:

$$Pin_{LD} = Pin_{LL} \times hf_{LD} \pm \Delta Z_{LD} .$$

Dimensionadas as linhas laterais e as linhas de derivação, agora deve-se dimensionar a linha principal. Para tanto, utiliza-se um critério chamado de critério da velocidade, que está baseado no fato de que a velocidade da água ao passar na linha lateral deve atender o intervalo de 1,0 a 2,5 $m \cdot s^{-1}$. O cálculo é feito através de tentativas, pela relação entre Q e C , onde deve-se atribuir um valor de diâmetro (D) e calcular a perda de carga unitária hf , utilizando a equação de Hazen-Williams, aqui exibida na sua forma simplificada:

$$hf = 10,646 \times \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852}}{D^{4,87}}$$

Encontrado o valor de hf e com os valores de D e C , calcula-se a velocidade através da equação a seguir:

$$V = 0,355 \times C \times D^{0,63} \times hf^{0,54}$$

E o método das tentativas consiste em calcular a velocidade para os diferentes diâmetros e escolher o diâmetro em que a velocidade estiver no intervalo de 1,0 a 2,5 $m \cdot s^{-1}$.

O último passo do dimensionamento é o cálculo da altura manométrica (Hm) total. Calculada através da equação:

$$Hm = H_s + H_r + hf_s + hf_{cc} + hf_{LP} + Pin_{LD} + hf_{LOC}, \text{ onde:}$$

H_s - altura de sucção(m);

H_r - altura de recalque (m);

hf_s - perda de carga na sucção(m)

hf_{cc} - perda de carga no cabeçal de controle (mca);

hf_{LP} - perda de carga na linha principal (mca)

Pin_{LD} - pressão no início da linha de derivação (mca)

hf_{LOC} - perda de carga localizada (mca)



Altura de Sucção (H_s) – Corresponde ao desnível, em metros, entre o nível dinâmico da captação e o bocal de sucção da bomba;

Altura de Recalque (H_R) – Corresponde ao desnível, em metros, entre o bocal de sucção da bomba e o ponto de maior elevação do fluido até o destino final da instalação;

Altura Manométrica Total (H_m) - Altura total exigida pelo sistema, em que a bomba deverá fornecer energia suficiente à água para vencer o desnível.

Dentro do contexto da irrigação localizada, além dos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento, outros sistemas de irrigação podem ser encontrados no mercado, porém são mais indicados para projetos paisagísticos e pouco usados na agricultura. São eles: borbulhamento e exsudação.

O sistema de irrigação por borbulhamento é constituído por um emissor no formato semelhante ao de guarda-chuva, ou por um pequeno tubo com diâmetro variando de 1 a 10 *mm* (Figura 3.9), em que a água é aplicada localmente na superfície do solo na forma de uma fonte borbulhante.

Figura 3.9 | Emissores utilizados no sistema de irrigação por borbulhamento



Fonte: <<https://www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv/2007>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

A sua baixa aceitação na agricultura deve-se à falta de critérios técnicos para o dimensionamento. Além disso, deve-se ao fato dos emissores terem intensidade de aplicação elevada, superior à taxa de infiltração dos solos. As vazões desses emissores variam de 5 a 80 $L \cdot h^{-1}$. Enquanto as pressões dos emissores encontrados no mercado variam de 1 a 15 *mca*.

O sistema de irrigação localizada por exsudação consiste em uma tubulação porosa que exsuda ou transpira água por esses poros (Figura 3.10). Como os poros estão localizados durante todo o comprimento das tubulações, esse sistema de irrigação proporciona ao solo a formação de uma faixa molhada durante todo o seu prolongamento.

Figura 3.10 | Sistema de irrigação por exsudação



Fonte: <https://br.wellindal.com/jardim/s_irrigacao-por-exsudacao>. Acesso em: 02 nov. 2017.

O grande entrave para que esse sistema de irrigação seja utilizado em grandes áreas agrícolas deve-se ao fato de apresentar muitos problemas de entupimento, que se agravam, uma vez que as substâncias maiores em suspensão não atravessam os poros da tubulação, as pequenas partículas que não conseguem atravessar essa camada acumulam-se, o que acaba resultando em incrustações.



Pesquise mais

Os parâmetros que expressam a qualidade da irrigação devem ser entendidos como decisórios do processo de planejamento e operação dos sistemas de irrigação. Entre tais parâmetros, os que permitem avaliar a uniformidade de distribuição de água pelo sistema são muito utilizados, pois sabe-se que a irrigação não se apresenta igual em todas as parcelas da área irrigada. Para entender melhor sobre a avaliação e uniformidade de sistemas de irrigação localizada, leia o seguinte texto:

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. N° 8, 2005. Disponível em: http://www.faeef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Tm9d5yhlcpezey1x_2013-4-29-15-39-59.pdf. Acesso em: 02 nov. 2017.

Sem medo de errar

Caro aluno, ao considerarmos as informações que nos apresentaram na situação-problema, o sistema de irrigação por gotejamento apontou falhas, retardando o crescimento da cultura e não apresentando a umidade necessária em todas as áreas e interferindo no funcionamento de alguns emissores. Como mencionado, o ponto de captação de água apresenta elevada quantidade de sedimentos e acúmulo de sais. O entupimento de emissores é o principal problema em sistemas de irrigação por gotejamento. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perenes onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissores entupidos podem ocasionar perdas econômicas. A qualidade da água pode mudar ao longo do ano, de forma que amostras de água deveriam ser analisadas em diferentes períodos da irrigação, isso acontece devido à presença de impurezas e formação de precipitados acumulados sem manutenção adequada do sistema.

A vulnerabilidade do gotejador ao entupimento depende, em grande parte, do diâmetro para passagem da água e do fluxo. Em geral, maiores diâmetros resultam em menor risco de entupimento. Nos sistemas de irrigação localizada, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento, prejudicando o funcionamento geral do sistema de irrigação, afetando suas características de operação e exigindo manutenções mais frequentes. A obstrução de gotejadores afeta a uniformidade de aplicação de água. A falta de uniformidade na distribuição de água é um fator básico para avaliar a qualidade de irrigação, influenciando diretamente na produção da cultura e nos gastos de água; sendo a uniformidade de aplicação afetada principalmente pelas imperfeições de fabricação dos emissores e mudanças na pressão ao longo da linha lateral e pelos entupimentos que poderão ocorrer durante o tempo de uso.

É importante destacar que a distribuição de água pelo sistema de irrigação localizada é influenciada pela alteração de pressão ao longo das tubulações, devido ao entupimento dos emissores. O fluxo de água carrega partículas inorgânicas, bem como partículas orgânicas. Essas partículas podem impedir o fluxo normal ou se depositarem nas linhas laterais ou nos filtros. Assim, é essencial avaliar os sistemas periodicamente, de modo a minimizar perdas de água e deficiência do sistema. As obstruções oriundas de material em suspensão são as de mais fácil solução, haja vista que um eficiente sistema de filtragem pode reduzir significativamente o problema.

Avançando na prática

A escolha do filtro

Descrição da situação-problema

Um agricultor está tendo muitos problemas de entupimento dos seus gotejadores. Diante da dificuldade, ele resolveu coletar uma amostra de água na propriedade para análise. Com base no resultado da análise de água, o agricultor observou que os sólidos suspensos, areia, silte e argila, algas, ferro e manganês encontravam-se em altas concentrações, muito acima dos limites. Ao se dirigir até a loja da cidade para comprar um filtro, o vendedor entregou ao produtor o catálogo de filtros disponíveis na loja onde consta a tabela (Tabela 3.2) com as recomendações e eficiências técnicas dos filtros:

Tabela 3.2 | Eficiência dos filtros na remoção de diferentes partículas suspensas

Eficiência			
Componente	Tela	Areia	Disco
Sólidos suspensos	Pouco	Muito	Muito
Areia	Muito	Pouco	Médio
Silte e argila	Pouco	Muito	Médio
Alga	Pouco	Muito	Médio
Ferro e manganês	Médio	Muito	Médio

Fonte: Elaborada pelo autor (2017)

Baseado nas informações técnicas, o agricultor deverá escolher qual filtro para o seu sistema de irrigação? Quais as características que ele deverá levar em consideração? Associação entre filtros é recomendada nesse caso?

Resolução da situação-problema

Baseado nos resultados da análise de água foi possível constatar que sólidos suspensos, areia, silte e argila, algas, ferro e manganês presentes na água de irrigação estão causando entupimento dos gotejadores que ele utiliza para irrigar seu plantio. Baseado na Tabela 3.2, nenhum dos filtros apresenta alta eficiência para todos esses parâmetros. Nesse caso, o mais recomendado é que ele faça uma associação entre filtros. Ao analisar a tabela de eficiência desses filtros é possível concluir que o filtro de areia foi o que apresentou maior eficiência para a maioria dos parâmetros, e o filtro de disco apresentou-se muito eficiente para o parâmetro sólidos suspensos e mediamente eficiente para os demais. Enquanto o filtro de tela se mostrou pouco eficiente para três dos parâmetros analisados. Assim, recomenda-se a adoção da associação entre o filtro de areia e de disco. Lembrando-se que o disco de areia deverá ser instalado primeiro para ser feita uma pré-filtragem da água.

Faça valer a pena

1. Apesar de serem sistemas de irrigação localizada, o gotejamento e a microaspersão apresentam algumas peculiaridades. No estudo dos sistemas de irrigação localizada, é importantíssimo conhecer as principais diferenças entre os sistemas de gotejamento e microaspersão.

Assinale a alternativa que contém a afirmação verdadeira sobre as principais diferenças entre os sistemas de gotejamento e microaspersão.

- a) A aplicação de água nos sistemas de irrigação por gotejamento se dá sobre uma pequena área circular ou setorial, através de emissores denominados gotejadores.
- b) O sistema de irrigação por gotejamento apresenta pressão variando entre 10 e 20 *mca*.
- c) O sistema de irrigação por microaspersão apresenta vazão de até 20 $L \cdot h^{-1}$ em cada ponto de emissão.
- d) A aplicação de água nos sistemas de irrigação por microaspersão se

dá sobre uma pequena área circular ou setorial, através de emissores denominados microaspersores.

e) O sistema de irrigação por microaspersão apresenta pressões inferiores a 10 *mca* .

2. Uma das vantagens da fertirrigação é a facilitação e diminuição dos custos da aplicação de corretivos e fertilizantes hidrossolúveis. Para determinação do tempo de funcionamento do sistema, precisamos saber a vazão da fertirrigação, sabemos que esse sistema contém 20 microaspersores, cada um apresenta vazão de $3,5 \text{ m}^3 / \text{h}$.

Dessa forma, assinale a alternativa que corresponde à vazão de entrada no sistema.

- a) $70 \text{ m}^3 / \text{h}$.
- b) $80 \text{ m}^3 / \text{h}$.
- c) $90 \text{ m}^3 / \text{h}$.
- d) $85 \text{ m}^3 / \text{h}$.
- e) $60 \text{ m}^3 / \text{h}$.

3. Um sistema de irrigação por gotejamento em um plantio de bananeiras com espaçamento $3 \times 3 \text{ m}$, onde serão utilizados dois gotejadores por planta e seu emissor possui vazão de $3,5 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, utilizando os dados a seguir: $K_p = 0,5$; $P = 50\%$; Evaporação medida pelo tanque Classe A: $8 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$; Turno de rega = 3 dias; Considerar $E_a = 90\%$.

Assinale a alternativa que corresponde ao tempo de irrigação do sistema de irrigação por gotejamento para irrigar plantio de bananeiras:

- a) 14horas .
- b) 12horas .
- c) 10horas .
- d) 13horas .
- e) 11horas .

Seção 3.2

Irrigação de Aspersão

Diálogo aberto

O sistema de irrigação por aspersão está entre os mais importantes e mais utilizados na agricultura. Seu uso tem grande relevância quando se trata da melhoria na produtividade de diversas culturas. Tem como características alta adaptabilidade às diferentes características de topografia e geometria de terreno, ou seja, áreas que apresentam diferentes declividades, as mais exacerbadas, as menos uniformes, proporcionando uma ótima aplicação da quantidade de água a ser aplicada desde que a irrigação seja manejada de maneira correta.



Refleta

Assim como no sistema de irrigação localizada, o sistema de irrigação por aspersão suscita algumas dúvidas de extrema importância para a sua ótima utilização, como: quais fatores devem ser levados em consideração para um bom dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão? Quais os aspectos que levaremos em consideração para realizar o projeto? Quais os principais sistemas de irrigação localizada utilizados? Quais os equipamentos utilizados?

Para entendermos mais detalhadamente o sistema de irrigação por aspersão, vamos dar continuidade ao nosso contexto de aprendizagem por meio da seguinte situação: ao continuar a visita na área, os agricultores da cooperativa lhe informaram que na segunda área, o pomar de mamoeiros está apresentando problemas com a irrigação por aspersão, de maneira que o perfil de umedecimento do solo está desuniforme, há acúmulo de água nas entrelinhas de plantio, ocorrendo excessivo aparecimento de plantas invasoras e próximo a algumas plantas acarretando umidade excessiva à zona radicular, causando apodrecimento e doenças na raiz, queda prematura e rachadura nos frutos.

Além disso, a baixa uniformidade de aplicação de água tem feito com que determinadas plantas irrigadas pelo sistema recebam mais água do que outras, inclusive plantas da extremidade da área não estão recebendo nenhuma parcela da água aplicada, resultando em um desenvolvimento desuniforme dentro da área e, conseqüentemente, a produção da área também tem sido desequilibrada, de modo que algumas plantas têm apresentado maior produtividade. Como conseqüência da falta de uniformidade, os produtores aumentaram o tempo de irrigação, o que vem gerando maior gasto com uso da energia elétrica e desperdício de água.

A perda de produtividade do plantio pode estar ligada com a lixiviação de fertilizantes, competição entre plantas daninhas e as plantas de mamão, níveis de umidade do solo na zona radicular abaixo dos ideais para a cultura. Além das perdas produtivas, vale salientar que os benefícios econômicos da irrigação aumentam em função do aumento da uniformidade de distribuição, independentemente dos custos referentes ao uso da água e de energia elétrica.

A falta de uniformidade do sistema de irrigação na área produtiva irá influenciar no manejo da irrigação adotado pelos produtores da cooperativa, o que conseqüentemente aumentará a quantidade de água aplicada de maneira que esta seja suficiente para que a lâmina mínima usada seja igual à lâmina real necessária, caracterizando um excesso de água em parte da área, ou como alternativa de manejo, aplicar uma lâmina menor, causando que parte da área seja deficientemente irrigada e provocando redução na produção.

Os emissores devem irrigar a área formando círculos de umidade na superfície do terreno, porém você identificou que eles estão tendo suas atividades prejudicadas por alguns fatores, como combinação incorreta entre pressão de operação, espaçamento dos aspersores, número e tamanho de bocais. Mas como alcançar ótimos índices de uniformidade e aplicação da lâmina de irrigação sem a disseminação de doenças e plantas daninhas? Como você poderá dimensionar um sistema de acordo com o clima local? Quais fatores que influenciam diretamente no funcionamento dos aspersores? Como identificar e lidar com esses fatores que contribuem para a ótima utilização do sistema de irrigação?

Nesta seção, estudaremos acerca do processo de irrigação por aspersão, os conceitos fundamentais, os aspectos gerais e forma de

manejo adequada para a estrutura do terreno e da planta. Vamos estudar detalhadamente, solucionar os problemas e determinar as suas respectivas soluções?

Bons estudos!

Não pode faltar

O sistema de irrigação por aspersão (Figura 3.11) consiste na aplicação de água sobre as plantas e o solo no formato de chuva que poderá ser muito ou pouco intensa, porém uniforme sobre a superfície, cujo objetivo primordial é que ela infiltre no ponto em que as gotas de água tocam o solo. Assim como os demais sistemas de irrigação, os sistemas por aspersão visam repor a demanda hídrica das culturas através de jato de água emitido ao ambiente sendo pressionado através de orifícios ou bocais que são fracionados em pequenas gotas ao se chocar com o ar, pulverizando-se e caindo em formato de chuva artificial.

Figura 3.11 | Sistemas de irrigação por aspersão



Fonte: <<http://portuguese.cri.cn/199/2007/07/12/1@70989.htm>>. Acesso em: 09 nov. 2017.



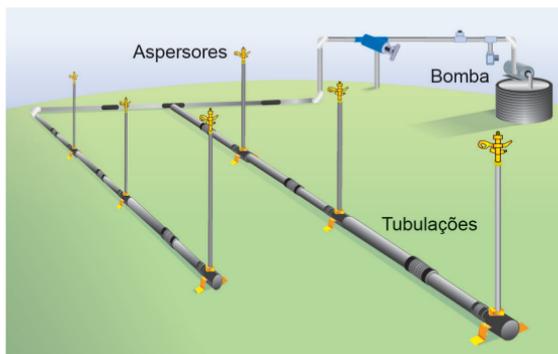
Refleta

Os métodos de irrigação por aspersão mais comumente utilizados são: convencional, convencional/fixo, autopropelido, sistema linear e pivô-central. Como pode ocorrer a escolha destes métodos? É importante pensar que pode ocorrer causado pelas características da área e o tipo de plantio que será irrigado: cultura utilizada, sistema de plantio

adotado, características topográficas, quantidade de água aplicada, velocidade e direção do vento, mão de obra e assistência técnica qualificada para implantação do projeto, investimento para automação, entre outras (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

O sistema de irrigação por aspersão convencional incide em aplicar água utilizando aspersores, acoplados às linhas laterais, que são os tubos conectados entre si que conduzem a água até chegar ao aspersor, que ao receber a lâmina a ser aplicada da linha de derivação que, por sua vez, são os tubos conectados entre si que conduzem a água até chegar às linhas laterais. O sistema de irrigação por aspersão convencional (Figura 3.12), geralmente, é composto por: conjunto motobomba, as tubulações e os acessórios que compõem as linhas principais e as linhas laterais e os aspersores.

Figura 3.12 | Esquema com os principais componentes de um sistema de irrigação por aspersão



Fonte: <<http://www.jains.com/irrigation>> Acesso em: 09 nov. 2017.



Assimile

O sistema por aspersão tem adaptabilidade à maioria das culturas, porém alguns casos devem ser observados na hora de optar pelo sistema de irrigação por aspersão, por exemplo: espécies como o tomate, altamente susceptíveis a doenças, devem ser evitadas, de modo que, através da sua peculiaridade da emissão de água, poderá acarretar o aparecimento de doenças fúngicas. Alguns cuidados devem ser tomados

principalmente no que se diz respeito ao manejo fitossanitário, visto que este sistema proporciona a retirada de produtos químicos aplicados na planta, acarretando menor eficiência, e consequente poluição do solo e do subsolo e, além do o lençol freático. É necessário programar um eficiente manejo das irrigações evitando assim estas intervenções. Outro cuidado que se deve ter é com o constante contato da água de irrigação na época de abertura das flores e aparecimento dos frutos, que poderá causar perda de produtividade a alguns plantios, não havendo o desenvolvimento adequado das flores ou até mesmo do produto final, os frutos, causando assim déficit de produtividade.

O conjunto motobomba é o componente do sistema que exerce a pressão de sucção necessária para transportar a água diretamente da captação, que pode ser rios, lagos, poços, entre outros, através do sistema de sucção, transportá-la pelas tubulações principais e secundárias até que ela chegue aos aspersores e proporcione a pressão necessária para sua ótima operação. As bombas mais empregadas na agricultura irrigada são as centrífugas de eixo horizontal que utilizam como fonte de energia a forma elétrica ou à diesel.

As tubulações são os componentes responsáveis por transportar a água do ponto de captação passando pela bomba até chegar aos aspersores. As tubulações de recalque, que também são conhecidas como linha principal, são as que conduzem a água do conjunto motobomba até o sistema de irrigação. Já os tubos que compõem a linha lateral são os elementos que conduzem a água da linha de recalque até os aspersores e são conhecidas como linhas secundárias ou linhas laterais. Na maioria dos casos, esses tubos são fabricados em PVC rígido. Apenas em grandes projetos, que demandam vazões e pressões muito altas, a linha principal do sistema pode ser composta de tubos em aço zincado ou aço galvanizado quando se necessitar de diâmetros superiores a 100 *mm*. A escolha do material a ser utilizado pode variar de acordo com as pressões a que a tubulações serão submetidas, as mais comuns são: Alumínio: Pressão < 120 *mca*; Aço zincado: Pressão < 150 *mca*; Aço galvanizado: Pressão < 200 *mca* e; PVC: Pressão < até 80 *mca* (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Os tubos utilizados na linha irrigação são padronizados em comprimentos de 6 *m*.

Para que os sistemas de irrigação sejam montados de maneira correta no campo algumas peças e acessórios são utilizados para viabilizar a execução da montagem dos sistemas, que são os elementos responsáveis pela instalação dos tubos que conduzem a água e a eleva até os aspersores, devido a possíveis irregularidades do terreno em que o sistema será instalado. Dentre os acessórios destacam-se: acoplamento rápido aspersor, o adaptador fêmea, o adaptador macho, o cap ou tampão de final de linha, as curvas de 30°, 45°, 60° e 90°, tes, redução, cotovelo, os registros de esfera que são fabricados nas formas soldável e roscável, a derivação roscável e a de saída fêmea, as curvas e a válvula de derivação, a válvula de retenção, o manômetro, tubo de subida, tripé, niple, braçadeira a junta borracha vedação, entre outros.



Vocabulário

CAP- Também conhecida como tampão de final de linha, é uma conexão utilizada para fechar a tubulação;

"TÊS"- Conexão no formato da letra T, fabricada em plástico ou em ferro, com a função de interligar as tubulações do sistema de irrigação;

Niple – peça no formato cilíndrico, composta por ranhuras externas nas duas extremidades que são instaladas entre os tubos, ou então ligando uma tubulação e uma válvula ou outro componente acessório.

Finalizando os componentes dos sistemas de irrigação por aspersão, temos os aspersores (Figura 3.13), que são considerados como o componente principal de todo o sistema, de maneira que eles são os elementos responsáveis pela aplicação e distribuição através da pulverização do jato d'água. Eles deverão garantir a distribuição correta da água precipitada usada no sistema de irrigação.

Figura 3.13 | Principais tipos de aspersores





Fonte: <<http://www.hydroredperu.com/aspersion.php>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

Os aspersores disponíveis no mercado podem ser classificados de diversas formas: Quanto ao porte, tipo de movimentação do jato, pressão de serviço, ângulo de inclinação e de cobertura do jato, número de bocais e quanto ao material de fabricação. A Tabela 3.3 apresenta os principais critérios de classificação de aspersores e suas principais características:

Tabela 3.3 | Classificação dos aspersores de acordo com os principais critérios

Critério	Classificação	Características
Quanto ao porte	Aspersor pequeno	Baixa rotação (3 a 6 <i>rpm</i>) Vazão: < 1 <i>m · h⁻¹</i> Espaçamento: < 15 <i>m</i>
	Aspersor médio	Baixa rotação < 3 <i>rpm</i> Vazão: 1 - 6 <i>m · h⁻¹</i> Espaçamento: 12 – 36 <i>m</i>
	Aspersor grande (Canhão)	Baixa rotação Vazão: > 6 <i>m · h⁻¹</i> Alcance: > 30 <i>m</i>
Movimentação do jato	Estacionário ou fixo	Difusores ou sprays
	Rotativo	Impacto, reação e engrenagens
Pressão de Serviço	Muito baixa	Ps < 10 <i>mca</i>
	Baixa	10 <i>mca</i> < Ps < 20 <i>mca</i>
	Média	20 <i>mca</i> < Ps < 40 <i>mca</i>
	Alta	Ps > 40 <i>mca</i> (Canhões)
Inclinação do jato	Normal	Entre 25° e 35°
	Subcopa	< 7°

Cobertura do jato	Círculo completo	360°
	Setorial	Ângulos < 360°
Número de bocais	Um bocal	1 bocal
	Múltiplos bocais (> 1)	> 1 de um bocal

Fonte: Testezlaf (2017, p. 56)

Além das características dos aspersores, outro ponto fundamental que deve ser levado em consideração na escolha do emissor são os fatores que interferem no ótimo funcionamento dos emissores, são eles:

Bocal e Pressão de Serviço dos aspersores: A vazão do aspersor é influenciada pela pressão de funcionamento dos emissores bem como pelo diâmetro do bocal. Tanto as altas pressões como as baixas pressões provocam distribuições desuniformes de água, e, conseqüentemente, vão aumentar a variabilidade da umidade dos solos. Isto acontece porque as pressões muito elevadas pulverizam ao extremo o jato de água, causando altas perdas por evaporação e por deriva, em contrapartida, as pressões mais baixas não são suficientes para pulverizar o jato de modo a resultar em uma aspersão de maneira adequada.

Espaçamento e Sobreposição dos aspersores: Ao projetar a distância entre os aspersores deve-se atentar para o fato de que a água é aspergida pelos emissores no formato circular, logo, torna-se imprescindível que aconteça a superposição dos jatos de água para as áreas entre os emissores não recebam água corretamente. O catálogo dos fabricantes traz algumas indicações dos espaçamentos mais adequados bem como porcentagem da sobreposição é influenciada pelo tipo de aspersor que foi selecionado no dimensionamento.



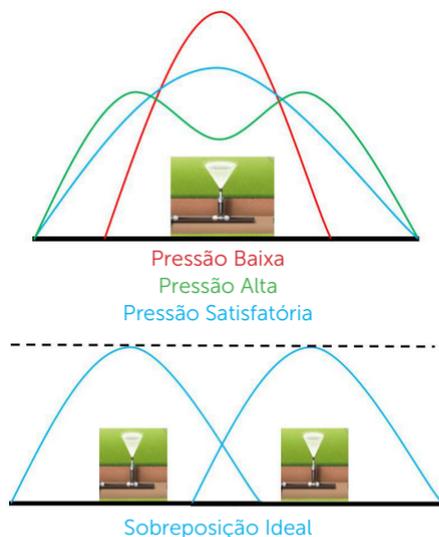
Exemplificando

Pressão excessiva: causa a redução excessiva das gotas e que conseqüentemente concentraram a aplicação de água mais próxima aos emissores.

Pressão baixa: também causa inadequada formação das gotas, e conseqüentemente maior aplicação de água mais distante dos emissores.

Para que se tenha uma ótima uniformidade durante a aplicação de água os emissores deverão obedecer espaçamentos que proporcionem a sobreposição dos jatos (12x12, 12x18, 18x18, 18x24, 30x30).

Figura 3.14 | Influência da pressão e do espaçamento no funcionamento de aspersores



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

A velocidade dos ventos provoca a mudança de direção dos jatos emitidos e tem influência direta na uniformidade de aplicação de água, provocando alteração da distribuição da lâmina aspergida. Altas velocidades do vento e gotas com pequenos diâmetros, o vento provoca maior interferência e conseqüentemente menor uniformidade de aplicação de água. As principais recomendações para melhorar a uniformidade de distribuição de água em locais de ventos intensos são: menor distância entre os emissores; utilizar aspersores que possuam pressão de serviço baixa; a instalação das linhas laterais deverão respeitar a direção dos ventos devendo estar localizadas perpendiculares à direção dos ventos e; utilizar quebra-ventos como barreiras naturais.

A memória de cálculo para dimensionar os sistemas de irrigação do tipo aspersão deverão respeitar a seguinte seqüência:

$$DTA = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \times \rho$$

$$CTA = DTA \times Z$$

$$CRA = CTA \times f$$

$$\text{Sem chuva: IRN} = CRA$$

$$\text{Com chuva: IRN} = CRA - Pe$$

$$TR = \frac{CRA}{ET_c}$$

$$ITN = \frac{IRN}{Ea}$$

A intensidade com que a água é aplicada é um fator importante para que o produtor possa galgar êxito ao implantar um sistema de irrigação. Ele interfere diretamente na escolha do aspersor, onde o critério adotado será sempre o de intensidade de aplicação < VIB, a intensidade de aplicação é calculada pela equação:

$$Ia(mm \cdot h^{-1}) = \frac{Q(L \cdot s^{-1}) \times 3600}{Ea \cdot Ell}, \text{ onde: } Q \text{ - vazão do aspersor; } Ea \text{ -}$$

espaçamento entre aspersores e; Ell – espaçamento entre linhas laterais.

$$\text{Tempo por posição: } Ti = \frac{ITN(mm)}{Ia(mm \cdot h^{-1})}$$

Tempo de funcionamento do sistema em horas por dia (NH), também conhecido como jornada de trabalho. E quanto maior o número de horas escolhido haverá menos tempo de inatividade do sistema. Recomenda-se quando possível utilizar um intervalo de 18 a 20 horas.

$$\text{Número de posições por dia (Np): } Np = \frac{NH}{Ti}$$

O número total de posições de linhas laterais (N) vai depender do comprimento vertical e horizontal da área, além do espaçamento entre aspersores e a distância das linhas laterais. E será calculado através da equação: $N = \frac{\text{Comprimento}(m)}{\text{Espaçamento}(m)}$.

$$\text{Número de posições irrigadas por dia (ND): } ND = \frac{N}{Pi}, \text{ onde: } Pi$$

-Período de irrigação.

$$\text{Número de linhas laterais (NL): } NL = \frac{ND}{Np}$$

$$\text{Vazão necessária (Qnec): } Qnec(L \cdot h^{-1}) = \frac{A(m^2) \times ITN(mm)}{Pi(dias) \times NH(h.dia^{-1})}$$

também pode ser calculado por:

$Q_{nec} = \text{Vazão da linha lateral} \times \text{N}^\circ \text{ de linhas laterais.}$

O dimensionamento das linhas laterais se dá semelhante ao dimensionamento nos sistemas de irrigação localizada. De modo que o comprimento, bem como o diâmetro da linha lateral deverão ser suficientes para que a maior variação de vazão na linha não seja maior que 20% da pressão de serviço recomendada pelo fabricante do emissor. A pressão do aspersor localizado na metade da linha lateral deverá ser exatamente igual à pressão de serviço de modo que no início da linha teremos a maior pressão, no final da linha será necessário uma pressão abaixo e na metade da linha teremos exatamente a pressão de serviço.

O ideal é que a linha lateral seja instalada em nível, porém nem sempre será possível instalá-la dessa forma, para tanto, três situações deverão ser observadas:

Linha lateral em nível: $HF = 0,2 \times PS$ e $Pin = PS + \frac{3}{4}HF \pm 0,5\Delta Z + Aa$

, como $\Delta Z = 0$, logo $Pin = PS + \frac{3}{4}HF + Aa$.

Linha lateral em declive: $HF = 0,2 \times PS + \Delta Z$ e
 $Pin = PS + \frac{3}{4}HF - 0,5\Delta Z + Aa$

Linha lateral em aclave: $HF = 0,2 \times PS - \Delta Z$ e
 $Pin = PS + \frac{3}{4}HF + 0,5\Delta Z + Aa$

Onde:

Pin – pressão no início da linha lateral

PS – pressão de serviço do aspersor;

HF – perda de carga na linha lateral

ΔZ – desnível entre o início e o final da linha lateral;

Aa – altura do aspersor.

A perda de carga nas linhas laterais será calculada através: $HF = HF' \times F$ onde: *HF* – perda de carga em tubulações com múltiplas saídas; *HF'* - perda de carga se não existisse saída intermediária; *F* – fator de múltiplas saídas.

O fator de múltiplas saídas pode ser calculado por:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6 \cdot N^2}, \text{ onde:}$$

N – número de saídas ao longo da tubulação

m – coeficiente que depende do expoente da velocidade na equação utilizada para o cálculo da perda de carga.

Com o HF determinado, determina-se o HF' através da equação:

$$HF' = \frac{0,2 \times PS}{F}$$

A vazão das linhas laterais é calculada através da equação: $Q_{LL} = n^\circ \text{ de aspersores} \times Q_{asp}$, onde: Q_{LL} – vazão da linha lateral; Q_{asp} – vazão do aspersor.

A determinação do diâmetro da linha lateral é feita através da equação de Hazen-Williams com o diâmetro em evidência:

$$HF'(mca) = 10,643 \times \frac{L(m)}{D^{4,87}} \times \left(\frac{Q(m^3 \cdot s^{-1})}{C} \right)^{1,852}, \text{ onde: HF' – perda de}$$

$$D^{4,87} = 10,643 \times \frac{L(m)}{HF'} \times \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852}$$

carga; L – comprimento do tubo; D – diâmetro do tubo; Q – vazão; C – coeficiente de HW.

Após a determinação do diâmetro, determinar perda de carga (HF) utilizando a equação de Hazen-Williams.

Para o dimensionamento da Linha Principal utiliza-se o mesmo critério de dimensionamento para Irrigação Localizada.

O último passo do dimensionamento é o cálculo da altura manométrica (Hm) total. Calculada através da equação:

$$Hm = H_s + H_R + hf_s + hf_{LP} + Pin_{LL} + hf_{Loc}, \text{ onde:}$$

H_s - Altura de Sucção (m); H_R - Altura de Recalque (m); hf_s - Perda de Carga na Sucção (mca); hf_{LP} - Perda de carga na Linha Principal (mca); Pin_{LL} - Pressão no início da Linha Lateral (mca); hf_{Loc} - Perda de Carga Localizada (mca).



Pesquise mais

Prezado aluno, como citado várias vezes durante o texto, os catálogos de aspersores são fundamentais para o dimensionamento do sistema de irrigação por aspersão. Para tanto, não só os aspersores, como também as tubulações e as bombas apresentam catálogos que

auxiliam nas escolhas desses componentes. Portanto, para que você possa ter contato com esses documentos que vão lhe auxiliar no dimensionamento dos sistemas, apresenta-se a você um exemplo de catálogo de fabricantes:

Catálogo de aspersores: RAIN BIRD CORPORATION (Califórnia). Catálogo de Produtos de Irrigação: O Uso Inteligente da Água. Azusa: Rain Bird Corporation, 2016. 190 p. Disponível em: <https://www.rainbird.com.br/upload/catalogofinal_virtual.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017.

Além dos sistemas de irrigação por aspersão convencional, há também os sistemas de irrigação por aspersão com linhas laterais mecanizadas, dentre os quais se destacam os Pivôs-Centrais (Figura 3.15).

Figura 3.15 | Sistema de Pivô-Central



Fonte: <<http://www.hidrosistemas.com/irrigacao-agricola/pivo-central-lindsay/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

Á água é captada e é conduzida através de uma tubulação de recalque que geralmente é instalada enterrada e que conduz água até a tubulação suspensa. A velocidade que as torres se movimentam e que as linhas laterais de distribuição funcionam é proporcionada pela velocidade da torre principal, e é regulada por uma caixa de controle localizada na torre principal (Figura 3.16a). Assim, o giro do pivô tem seu início na ultima torre, e vai se propagando ao longo das demais torres até chegar a primeira.

Esse sistema opera em círculos, de maneira que os emissores estão acoplados sobre uma grande haste que está ancorada

em torres que se movimentam pela área auxiliadas por rodas pneumáticas acionadas por unidades propulsoras, que na maioria dos casos são motores de 1 cv (Figura 3.16b). As torres se movem em forma de círculos, de modo que a área a ser irrigada vai depender do comprimento, raio, da haste principal elevada ao quadrado. O custo de implantação dos sistemas de irrigação por pivô-central é inversamente proporcional ao comprimento do pivô, logo, é comum trabalhar com pivôs de maiores comprimentos.

Figura 3.16 | Detalhe da Caixa de controle (a) e do conjunto de motorredução (b)



Fonte: Testezlaf (2017, p. 68)

Para o dimensionamento de um Pivô-central é necessário determinar o tempo de revolução, que consiste no tempo total para que o pivô complete um giro em torno do seu raio. Para o cálculo do tempo de revolução não deverá ser superior ao tempo necessário para efetuar dois momentos de irrigação que são consecutivos, de modo que a velocidade do giro é inversamente proporcional à lâmina que será aplicada. Tempo máximo de revolução (T_{max}) é calculado pela equação a seguir:

$$T_{max} = \frac{24 \times h_{max}}{ET_c} = \frac{2 \times \pi \times Ru}{V_{min}}, \text{ onde: } T_{max} - \text{ horas; } ET_c -$$

necessidade de água da cultura ($mm \cdot dia^{-1}$); h_{max} – lâmina máxima de água (mm); Ru – raio até a última torre (m); V_{min} – velocidade mínima de deslocamento ($m \cdot h^{-1}$).

O tempo máximo de revolução (T_{min}) é calculado pela equação a seguir: $T_{min} = \frac{2 \times \pi \times Ru}{V_{max}}$, onde: T_{min} – horas; V_{max} – maior

velocidade de deslocamento e é fornecida pelo fabricante ($m \cdot h^{-1}$).

A lâmina aplicada pelo Pivô em cada volta é determinada por:

$$L \text{ mina} = \frac{\text{Vazão} \times \text{Tempo}}{\text{área}}, \text{ onde: } Q - \text{vazão; } h - \text{tempo para}$$
$$L \text{ mina}(\text{mm}) = 0,36 \frac{Q(\text{l.s}^{-1}) \times h(\text{horas})}{A(\text{ha})}$$

um giro do Pivô-Central e; A – área irrigada.

A área irrigada pelo Pivô-Central é calculada pela equação:

$$A = \frac{\pi \times R_e^2}{10000}, \text{ onde } R_e - \text{Raio efetivamente irrigado (m)}$$

Além dos Pivôs-centrais, outro tipo de sistema de irrigação mecanizado é muito utilizado, que é o sistema de irrigação por aspersão com aspersor canhão, ou autopropelido (Figura 3.17). O sistema autopropelido consiste em um aspersor do tipo canhão, acoplado a um pequeno caminhão dotado de rodas. É puxado por uma espécie de trator, a uma determinada distância, após o uso é recolhido através de um carretel enrolador que é controlado por um mecanismo hidráulico. A movimentação acontece devido a movimentação hidrodinâmica de um carretel. Esses sistemas são equipamentos que irrigam trechos longos e estreitos e que preferencialmente devem se deslocar sobre o solo seco, de modo que a linha percorrida pelo autopropelido não é molhada, possuindo grande alcance, assim consegue-se irrigar distâncias superiores a 30 m .

Figura 3.17 | Sistema de Autopropelido



Fonte: <<http://www.agronegociogaicho.com.br/pecuaria>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

A velocidade de avanço do autopropelido pode ser calculada através da equação: $V_a = \frac{q}{h \times L}$, onde: V_a – velocidade de avanço ($m \cdot h^{-1}$); q – vazão do aspersor ($L \cdot h^{-1}$); h – lâmina (mm); L – largura da faixa (m).

Assim a lâmina pode ser calculada por: $h = \frac{q}{V_a \times L}$.

Sem medo de errar

Caro aluno, de acordo com a situação-problema do pomar dos mamoeiros, percebemos que existe uma desuniformidade na aplicação do sistema. O dimensionamento é necessário para determinar a vazão e a sua variação, este critério permite uma ótima distribuição de água ao longo da linha, evitando o acúmulo de água.

A uniformidade e a eficiência da irrigação emitida pelos aspersores são dependentes especialmente da pressão da água e do tamanho dos seus bocais. No caso da nossa situação-problema, a pressão de operação dos sistemas de irrigação não deve estar adequada para a pressão em que o aspersor está funcionando. Nas situações em que ocorrem pressões excessivas, poderão acarretar algumas danificações aos mecanismos do aspersor, além de acontecer excessiva quebra dos jatos de água, o que ocasionaria em menores alcances. Pressões muito elevadas descaracterizam a pulverização da água, ocasionando menor raio de alcance e conseqüentemente haverá excesso de aplicação de água na precipitação próxima aos aspersores. Pressões excessivamente baixas também resultarão em uma inadequada aplicação de água, de modo que o perfil de distribuição será bastante irregular. Para baixas menores, haverá conseqüentemente menor velocidade na saída de água, sendo o contato com o ar não suficiente para pulverizar o jato em gotas menores, e conseqüentemente gerar raios de alcance um pouco maiores, sendo a parte intermediária da área mais prejudicada devido precipitação insuficiente.

Aspersores trabalhando com pressão inadequada não conseguem realizar a correta pulverização, o que resulta nas gotas de água muito grandes, favorecendo a proliferação de ervas daninhas e resultando maiores umidades, chegando até a acarretar umidades excessiva nas extremidades da área irrigada. Em todos os casos citados,

ocorre a situação-problema, gerando uma desuniformidade e baixa eficiência da aplicação de água.

Para auxiliar os produtores é primordial que seja realizada a determinação da pressão de funcionamento ideal do aspersor, havendo assim melhor distribuição de água ao longo do perfil do solo. Quando os aspersores trabalham dentro das pressões sugeridas, a água será emitida em altas velocidades, e haverá maior resistência do ar para realizar a dispersão, e conseqüentemente a aplicação será dentro do espaçamento ótimo entre os emissores, fornecendo assim maior uniformidade de distribuição de água.

Avançando na prática

Escolha do Sistema de Bombeamento

Descrição da situação-problema

Um agricultor irriga seu pomar de videiras utilizando sistema de irrigação por aspersão convencional com 50 linhas laterais. Durante um momento de irrigação, o produtor percebeu que os aspersores das últimas seis linhas laterais não estavam com pressão suficiente para ótima operação. Durante uma avaliação do sistema de Irrigação, o produtor percebeu que o nível do poço havia variado. Quando dimensionou o sistema, o nível era 2 **metros** e nesta avaliação o nível passou a ser 10 **metros** havendo uma alteração na altura geométrica de sucção. A tubulação de sucção também tem 10 **metros** de comprimento. Os manômetros instalados no início das respectivas linhas laterais também mostraram que houve uma alteração na pressão no início das linhas, de modo que passou de 35,25 **mca** para 32,50 **m**. Os dados para dimensionamento do sistema eram:

Diâmetro da sucção = 150 **milímetros** ; Comprimento da sucção = 10 **metros** ; Vazão = 140 $m^3 \cdot h^{-1}$; Altura geométrica de sucção = 2 **metros** ; Pressão no início da linha lateral = 35,25 **mca** ; Perda de carga na linha principal = 12,04 **mca** ; Perda de Carga na sucção = 0,28 **mca** ; Altura geométrica de recalque = 15 **metros** ; Perda de carga localizada – 5% do total; Altura manométrica sem as perdas localizadas = 64,57 **mca** ; Altura manométrica com as perdas localizadas = 67,8 **mca** ; Bomba escolhida: altura manométrica de 70,0 **mca** e uma vazão de 140 $m^3 \cdot h^{-1}$.

Sabendo dos problemas encontrados, o produtor procurou você para ajudá-lo a resolvê-los. Você, enquanto técnico capacitado, deverá responder aos questionamentos: quais as consequências da alteração do nível de água do poço? A tubulação que até então era de 10 **metros**, precisará ser alterada? Qual será a nova perda de carga na linha de sucção? A bomba que estava abastecendo o sistema ainda será útil com essas alterações?

Resolução da situação-problema

Com a alteração do nível do poço houve uma variação da altura geométrica de sucção e, conseqüentemente, uma mudança na altura manométrica total. Outra consequência importante que deve ser ressaltada é que com essa alteração o comprimento da tubulação de sucção também deverá ser alterado para atender à nova altura geométrica de sucção, para tanto uma nova perda de carga será determinada. Para tanto, adota-se uma tubulação de 20 **metros** para evitar novos problemas caso haja pequenas alterações do nível de água do poço. A mudança na pressão do início da linha lateral é consequência da mudança da altura manométrica total, de maneira que a bomba está com dificuldade para operar, gerando alteração de pressão no sistema, causando assim o mau funcionamento dos aspersores das seis ultimas linhas laterais. Sendo assim, a nova perda de carga será:

$$HF = 10,643 \times \frac{L}{D^{4,87}} \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} = 10,643 \times \frac{20}{0,15^{4,87}} \times \left(\frac{0,038}{140}\right)^{1,852} = 0,56mca$$

A nova altura manométrica será:

$$Hm(\text{sem } HF_{Loc}) = H_s + H_R + hf_s + hf_{LP} + Pin_{LL} = 10 + 15 + 0,56 + 12,04 + 32,50 = 70,1mca$$

$$HF_{Loc} = 70,1 \times 0,05 = 3,50mca$$

$$Hm(\text{com } HF_{Loc}) = 71,85 + 3,50 = 75,35mca$$

Assim, a bomba que estava sendo utilizada não estava mais sendo compatível com a situação. Dessa forma, o produtor deverá trocar a bomba. Ele deverá procurar nos catálogos dos fabricantes uma bomba que forneça aproximadamente uma altura manométrica de **75,35mca** e uma vazão de $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Faça valer a pena

1. Um agricultor pretende instalar um sistema de irrigação por aspersão convencional na sua fazenda. Durante os levantamentos preliminares ele fez um teste de infiltração de água no solo para determinar qual aspensor ele irá utilizar. Com base no teste de infiltração de água no solo, a velocidade de infiltração básica do solo determinada foi $9,00 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. Ao observar o catálogo de fabricantes, o produtor escolheu um aspensor com espaçamento de $18 \times 24 \text{ m}$ e vazão de $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Com base nas informações do texto-base, assinale a alternativa correta.

- a) A intensidade de aplicação de água do aspensor será $9,1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ e a água irá infiltrar totalmente.
- b) A intensidade de aplicação de água do aspensor será $8,1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ e a água não irá infiltrar totalmente.
- c) A intensidade de aplicação de água do aspensor será $8,00 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ e a água irá infiltrar totalmente.
- d) A intensidade de aplicação de água do aspensor será $9,00 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ e a água não irá infiltrar totalmente.
- e) A intensidade de aplicação de água do aspensor será $8,1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ e a água irá infiltrar totalmente.

2. Um sistema de irrigação por aspersão com aspensor canhão autopropelido irriga uma fazenda de produção de gramas para gramados esportivos e ornamentais e possui as seguintes características: $95,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de vazão e com 102 m de largura da faixa e velocidade de avanço igual a $50 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

Com base nas informações, assinale a alternativa que representa a lâmina de água aplicada durante um momento de irrigação.

- a) $20,7 \text{ mm}$.
- b) $16,7 \text{ mm}$.
- c) $18,7 \text{ mm}$.
- d) $19,7 \text{ mm}$.
- e) $17,7 \text{ mm}$.

3. Uma empresa que realiza projetos de irrigação lhe contratou como técnico para realizar projetos de irrigação por aspersão mecanizada do tipo Pivô-central. No seu primeiro projeto você recebeu uma tabela (Tabela 3.4) que será utilizada para o manejo da irrigação, com o Pivô-central que utiliza uma vazão de $130 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, raio até a última torre de $386,93 \text{ m}$ e raio da área efetivamente irrigada igual a 396 m .

Tabela 3.4 | Tabela de manejo da irrigação com o Pivô-central

VELOCIDADE		TEMPO DE REVOLUÇÃO	LÂMINA BRUTA
V %	$V(m^3 \cdot h^{-1})$	(h)	(mm)
100	177,0	13,7	
90	159,3	15,3	
80	141,6	17,2	
70	123,9	19,6	
60	106,2	22,9	
50	88,5	27,5	
47	83,2	29,2	

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Assinale a alternativa verdadeira correspondente à coluna das lâminas de irrigação.

- a) Quando V for igual a 100% a lâmina bruta aplicada será 3,6 mm .
- b) Quando V for igual a 123,9 $m^3 \cdot h^{-1}$ a lâmina bruta aplicada será 7,7 mm .
- c) Quando V for igual a 80% a lâmina bruta aplicada será 4,0 mm .
- d) Quando V for igual a 83,2 $m^3 \cdot h^{-1}$ a lâmina bruta aplicada será 7,3 mm .
- e) Quando V for igual a 50% a lâmina bruta aplicada será 3,6 mm .

Seção 3.3

Irrigação e Drenagem

Diálogo aberto

Para finalizar os assuntos referentes à terceira unidade, iremos estudar o sistema de irrigação por superfície. Trata-se do mais antigo sistema de irrigação que se conhece e que até hoje ainda é muito utilizado, por se tratar de um sistema que apresenta baixo custo de implantação, porém, apesar de ser um dos métodos mais utilizados, os projetos de irrigação por superfície geralmente operam com baixa eficiência de aplicação de água. Para entendermos melhor como funcionam os sistemas de irrigação superficial, daremos continuidade tratando do assunto na nossa última situação-problema: você é um técnico capacitado para trabalhar com diferentes sistemas de irrigação e, após contribuir com a cooperativa de produtores agrícolas ajudando-os a resolver os problemas encontrados nos sistemas de irrigação localizada e aspersão, os produtores lhe apresentaram o plantio de bananeiras, que está sendo irrigado através do sistema de irrigação por sulcos, e você se deparou com os seguintes problemas: o pomar de bananeiras está apresentando acúmulo de água próximo às plantas do início da linha de plantio, esta umidade excessiva está favorecendo o aparecimento de doenças, enquanto que as plantas do final da linha de plantio estão apresentando baixa produtividade por falta de água, que chega em pequenas quantidades.

De acordo com o que você aprendeu na seção anterior, será importante lembrar alguns conceitos e aplicações importantes, como taxa de infiltração, sabendo que a entrada de água no solo decresce com o tempo, dependendo do umedecimento do perfil, e assume um valor constante, denominado velocidade de infiltração básica, e de que maneira o tipo de solo, declividade do terreno e do sulco, irão influenciar no dimensionamento e no manejo de sistemas de irrigação por superfície. A escolha da declividade depende do tipo de solo e processo de precipitações. Mas como saber a declividade adequada? Como determinar o tamanho do

sulco? A sistematização do solo é fundamental para o sistema de irrigação por superfície?

Afinal, dependemos desses dados para uniformizar a infiltração ao longo de toda a linha do plantio. Nesta seção iremos estudar detalhadamente a irrigação superficial e determinaremos as soluções para tais questionamentos.

Vamos lá? Bom estudo!

Não pode faltar

A irrigação superficial provavelmente é o método mais antigo de irrigação de que se tem registros históricos no mundo. É também conhecida como irrigação por gravidade, devido à forma que a água é aplicada, de maneira que os agricultores deixam a água escoar sobre o solo, recobrando-o parcial ou totalmente, utilizando dois princípios básicos e que são fundamentais para a execução, que são: a ação da gravidade e a infiltração de água no solo durante essa movimentação e após o seu acúmulo no solo.

Apesar de ser um dos métodos mais utilizados, os projetos de irrigação por superfície geralmente operam com baixa eficiência de aplicação. No Brasil, estudos realizados em Pernambuco e Bahia concluíram que a eficiência de aplicação média está em torno de 33% (MELLO; SILVA, 2007).

As razões que podem justificar a baixa eficiência de aplicação (Ea) dos sistemas de irrigação por superfície são:

- Baixa combinação das variáveis comprimento da área, declividade da superfície do terreno, vazão aplicada e tempo de aplicação;
- Manejo da irrigação deficiente;
- O tempo de aplicação não é adotado corretamente, causando excesso e acúmulo de aplicação de água.

A irrigação por superfície tende a ter uma eficiência menor em função das diferentes lâminas aplicadas. No início dos sulcos há maior contato do solo com a água durante um tempo maior do que no final do sulco. No final, aplica-se a lâmina necessária, portanto, o maior tempo de aplicação no início implica em perda de água.



Quando são realizadas avaliações após a execução do projeto de irrigação, os erros intrínsecos ao manejo são facilmente detectados (MELLO; SILVA, 2007). O que você poderá fazer em casos como este?

Você, enquanto profissional capacitado para dimensionar sistemas de irrigação por superfície, deverá se questionar e refletir sobre as razões citadas acima, os erros intrínsecos ao manejo para que o sistema de irrigação possa ser otimizado e forneça com maior precisão e eficiência as necessidades da cultura! Uma das possíveis soluções é, em alguns casos, redimensionamento do sistema.

Segundo o conceito fundamental de irrigação superficial, a característica básica está relacionada à forma como a água é fornecida ao plantio, de modo que a água é aplicada e distribuída sobre a superfície do solo, partindo de um ponto extremo da área de plantio e ocupando-a de maneira gradativa (MELLO; SILVA, 2007, p. 2, Cap. IX). Esta técnica de irrigação pode ser classificada em: irrigação por inundação e irrigação por sulcos, cujos conceitos básicos são:

Sistemas de irrigação por inundação: a aplicação de água se dá em toda a área cultivada e fica acumulada nas camadas superficiais da área de plantio. Ela é realizada através de bacias ou tabuleiros. Nesse sistema a água poderá infiltrar durante a movimentação na área, ou ficará disponível para as plantas na superfície de forma estável, maior exemplo de utilização é a irrigação na cultura do arroz. Já para os cultivos que não toleram umidade demasiada na região radicular, o acúmulo de água se dará de maneira provisória (Figura 3.18). A dimensão dos tabuleiros poderá variar desde 1 m^2 até 5 ha .

Figura 3.18 | Irrigação superficial por inundação



Fonte: <<https://www.irrigacao.net/irrigacao/a-producao-do-arroz-irrigado>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Sistemas de irrigação por sulcos: este sistema de irrigação tem como característica a aplicação parcialmente de água através da inundação, apenas dos canais instalados na área de cultivo a ser irrigada. A água escoar por sulcos ou então por esses pequenos canais que são instalados no solo no mesmo sentido das linhas de cultivo. O princípio básico desse sistema é a infiltração da água durante movimentação e no decorrer do tempo em que ela deverá permanecer acumulada na superfície do solo após atingir o final do sulco. Este tipo de irrigação adapta-se muito bem a culturas anuais e permanentes (Figura 3.19).

Figura 3.19 | Irrigação superficial por sulcos



Fonte: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0jdxdz02wx5ok0liq1mq926zwu.html>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Assim como os sistemas de irrigação localizada e por aspersão, o sistema de irrigação por superfície apresenta vantagens e desvantagens. As principais vantagens são: baixos valores de investimento de implantação e simplicidade na sua operação; pouca necessidade de equipamentos de alta tecnologia, já que o sistema pode funcionar muito bem com equipamentos simples; quando comparado aos sistemas de aspersão, apresenta-se mais vantajoso por não sofrer com os efeitos do vento; possibilita economia no consumo de energia; possibilita a utilização de água com sólidos em suspensão.

Quanto às desvantagens, citam-se: em áreas com elevadas declividades é necessária a sistematização do terreno; para seu correto dimensionamento fazem-se necessários ensaios de campo e avaliações periódicas; devido à sua baixa eficiência é fundamental que um bom planejamento de distribuição de água durante a aplicação seja realizado.



A sistematização do solo é uma técnica que consiste em cortar, transportar e aterrar o solo, ou simplesmente movê-lo e aplainá-lo, mudando as características originais do terreno, e tem como objetivo tornar sua superfície uniforme sem declividades na direção em que se pretende cultivar, podendo ser observada na Figura 3.20:

Figura 3.20 | Sistematização e nivelamento do solo com água

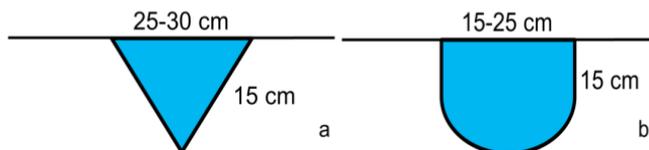


Fonte: <http://www.colheitamecanizadacana.crua.com.br/artigos3_clip_image014_0004.jpg> Acesso em: 21 de novembro de 2017.

A irrigação por canais (sulcos) se adéqua à maioria das culturas, sobretudo aquelas cultivadas em linhas de plantio. Para o dimensionamento dos sistemas de irrigação por sulcos é necessário saber que essa técnica incide no deslocamento da água por meio de pequenos canais paralelos, de maneira que o tempo de aplicação seja imprescindível para que a água infiltre ao longo do sulco e seja suficiente para umedecer o solo, dentro das necessidades da cultura a ser irrigada.

Dentre as características principais dos sistemas de irrigação por sulcos, a forma geométrica dos canais de condução de água é extremamente importante, está relacionada principalmente com a quantidade de água que a seção transversal é capaz de conduzir para que a quantidade seja suficiente para a distribuição uniforme. Dentre as formas mais comuns, apresentam-se em formato de “U” e em formato de “V” com profundidades variando de 15 a 20 cm e largura variando entre 15 a 30 cm (Figura 3.21).

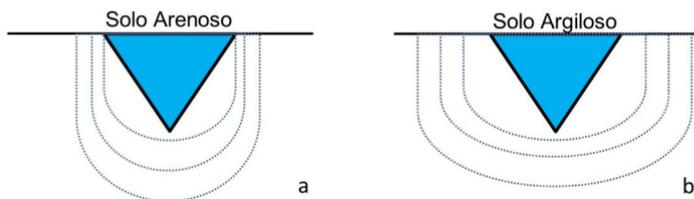
Figura 3.21 | Sulco em formato "V" (a) e Sulco em formato "U" (b)



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Na irrigação por sulcos, o processo de infiltração é fundamental para o sucesso da implantação do projeto. Sabe-se que a textura tem função primordial no processo de infiltração de água no solo, influenciando inclusive no espaçamento a ser adotado, além do tipo do solo, os tratos culturais adotados e o espaçamento recomendado para a cultura. A Figura 3.22 apresenta a forma de infiltração em solos arenosos e argilosos.

Figura 3.22 | Infiltração de água nos sulcos em solo arenoso (a) solo argiloso (b)



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Conforme a Figura 3.22, é possível observar que em solos argilosos há maior movimento lateral de água entre os sulcos, portanto em solos arenosos as recomendações de espaçamento entre os sulcos tendem a ser menores, levando sempre em consideração que sulcos adjacentes deverão sempre umedecer as zonas radiculares. Além do processo de infiltração, o espaçamento das culturas, na maioria das vezes, é o responsável pela escolha do espaçamento dos canais, porém é possível que pequenas modificações sejam adotadas para que dois fatores se adéquem bem. As recomendações são: para culturas com espaçamento de 1 m: 1 sulco por linha de plantio; para culturas com espaçamento maior que 1 m: 1 ou mais sulcos por linha de plantio; para culturas com espaçamento menor que 1 m: 1 sulco para cada duas linhas de plantio (MELLO; SILVA, 2007).

A declividade é outro critério que deve ser adotado no momento do dimensionamento do sistema. Ela deverá ser determinada durante o projeto de nivelamento do terreno e deverá ser escolhida para que o sulco possa proporcionar à água aplicada velocidade ideal sem causar erosão. A declividade ótima varia no intervalo de 0,5 e 2,0 %.

Adota-se primeiramente a vazão máxima que o sulco é capaz de transportar sem que possa ocorrer água em demasia no sulco ou erosão, é chamada de vazão máxima não erosiva. Na realidade de campo, é recomendada uma vazão não erosiva inicial, e em seguida uma vazão restringida equivalente a 50% da inicial. Esse procedimento é fundamental para que as perdas causadas por percolação e escoamento superficial, inerentes a esse sistema de irrigação, se situem em limites aceitáveis.

$$Q_{\max} = \frac{C}{S^a}, \text{ onde:}$$

$$Q_{\max} = \text{vazão máxima não erosiva } (L \cdot s^{-1});$$

$$S = \text{declividade dos sulcos } (\%);$$

$$C \text{ e } a = \text{coeficientes que dependem do tipo de solo (Tabela 3.5).}$$

Tabela 3.5 | Valores dos coeficientes C e a, em função da textura do solo

Textura	C	a
Muito Fina	0,892	0,937
Fina	0,988	0,550
Média	0,613	0,733
Grossa	0,644	0,704
Muito Grossa	0,665	0,548

Fonte: Mello e Silva (2007, p. 6, Cap. IX)

Segundo a metodologia de Criddle, que não considera o tipo de solo, o valor máximo da vazão que não causará erosão pode ser calculado por:

$$Q_{\max} = \frac{0,631}{S}$$

$$Q_{\max} = \text{vazão máxima não erosiva } (L \cdot s^{-1}) \text{ e;}$$

$$S = \text{declividade dos sulcos } (\%).$$

O dimensionamento do comprimento dos sulcos é feito baseando-se nos fatores: dimensões e geometria da área, tipo de solo, declividade dos sulcos e a vazão utilizada. Com base nesses fatores, estudos de campo devem ser realizados para que se determine o comprimento ideal dos sulcos. Através desses testes de campo é possível determinar as curvas de avanço da água nos sulcos de irrigação. Com o resultado dos estudos de campo será possível determinar também: vazão máxima não erosiva, equação de avanço, equação de infiltração da água no solo e espaçamento adequado para os sulcos.

Para a determinação das curvas de avanço deve-se escolher uma parte da área que seja representativa da área total que se deseja irrigar. Para tanto, pelo menos três sulcos de no mínimo 50 metros deverão ser construídos e diferentes vazões deverão ser aplicadas. Em cada sulco deverão ser instalados piquetes espaçados em 5 e 5 *m* ou 10 e 10 *m*. Para cada vazão aplicada marca-se o tempo em que a água atinge cada um dos piquetes que foram instalados ao longo dos sulcos de infiltração. Os dados obtidos com os ensaios deverão ser ajustados às equações:

Equação potencial: $T = a \times L^b$

Equação exponencial: $T = a \times (e^{bL} - 1)$

Equação quadrática: $T = a \times b + b \times L^2$



Exemplificando

Os testes realizados para determinação do tempo de avanço devem ser anotados conforme a Tabela 3.6, a seguir:

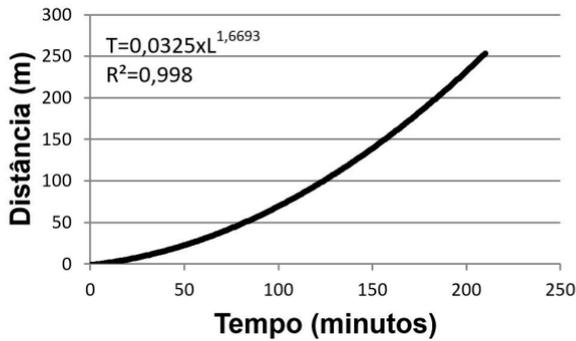
Tabela 3.6 | Dados do teste de campo para a determinação do tempo de avanço

Distância (m)	Tempo (min.)
0	0
20	10
50	29
80	57
110	92
140	143
170	195
200	250

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Em seguida, com os dados tabulados deve-se ajustá-los a uma equação, dentre as citadas a mais utilizada é a equação exponencial, conforme o gráfico que pode ser visualizado na Figura 3.23.

Figura 3.23 | Curvas de avanço da água em sulcos de infiltração



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A irrigação por sulcos é dividida em fases, que podem ser visualizadas na Figura 3.24 e podem ser definidas como:

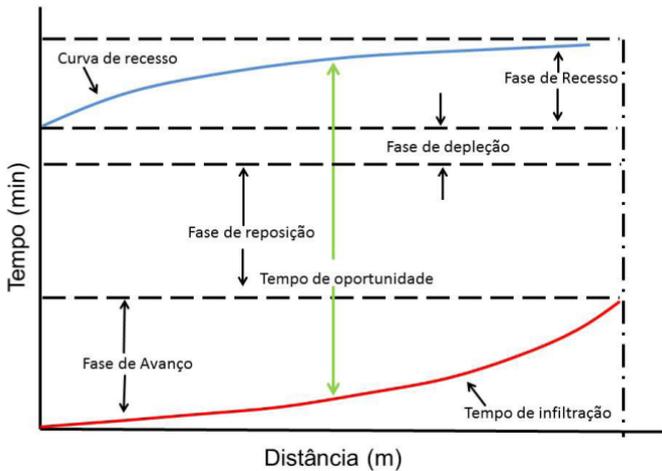
Avanço: movimentação da água até o extremo do canal;

Reposição: tempo que a lâmina de irrigação leva para infiltrar ao chegar ao final do sulco;

Recesso: tempo de permanência da água no sulco após ser finalizado o fornecimento de água e;

Tempo de oportunidade: tempo que a água leva para infiltrar em cada posição do sulco.

Figura 3.24 | Fases da irrigação por sulcos



Fonte: Frizzzone (2017, p. 2).

Como já citado anteriormente, dentre os problemas mais relevantes quando se opta por utilizar os sistemas de irrigação superficiais, dizem respeito à baixa eficiência desses sistemas, quando comparados aos sistemas de irrigação localizada e por aspersão. Esses problemas não são facilmente resolvidos, porém podem se tornar mínimos. De modo que foram desenvolvidos alguns procedimentos com o objetivo de diminuir as perdas por infiltração e percolação e auxiliando no dimensionamento desses sistemas. O projetista deverá estabelecer uma adequada combinação entre a vazão, a declividade e o comprimento, de maneira que esta convenção deva proporcionar que o tempo de avanço não cause perdas excessivas por percolação no início dos sulcos de infiltração.

Dentre os critérios utilizados com o objetivo de se obter eficiências aceitáveis na irrigação por sulcos quando não se determina o comprimento dos sulcos com base na extensão da área de plantio, o método mais utilizado para a determinação é o de Criddle. Segundo este método, o período para frente de avanço percorrer o canal deverá ser análogo a $1/4$ do total que é suficiente para que a lâmina correspondente à Irrigação Real Necessária seja aplicada.

Baseando-se neste método, o tempo de oportunidade pode ser determinado através da equação de Kostiakov-Lewis modificada, onde a IRN vai ser em função da VIB e do tempo de oportunidade.

Sendo assim, temos que:

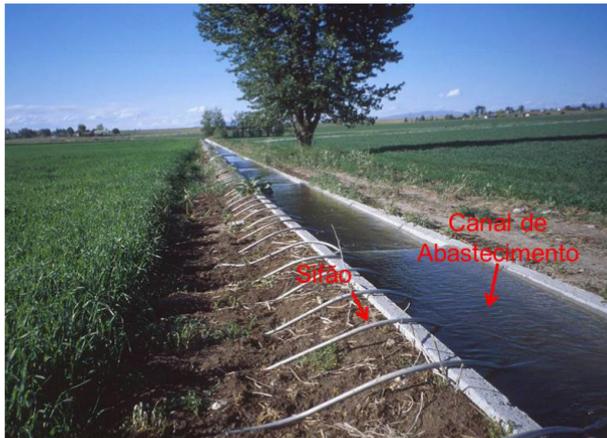
$$IRN = k \times T_o^a + Vib \times T_o$$

Após a determinação da IRN e dos fatores da equação intrínsecos ao solo da área, os coeficientes k , a e a Vib , pode-se determinar o tempo de avanço, que será **1/4** do Tempo de oportunidade. O tempo total de irrigação poderá ser determinado pela Equação:

$$T_i = T_a + T_o$$

Uma das formas mais utilizadas para distribuir a água para os sulcos acontece através de tubos plásticos ou de polietileno, que são curvos, conhecidos como sifões. A água é conduzida até a área de plantio por meio de canais, chamados de canais abastecedores. Esse processo pode ser observado na Figura 3.25, a seguir:

Figura 3.25 | Processo de abastecimento dos sulcos através de sifões com água transportada por canais de abastecimento

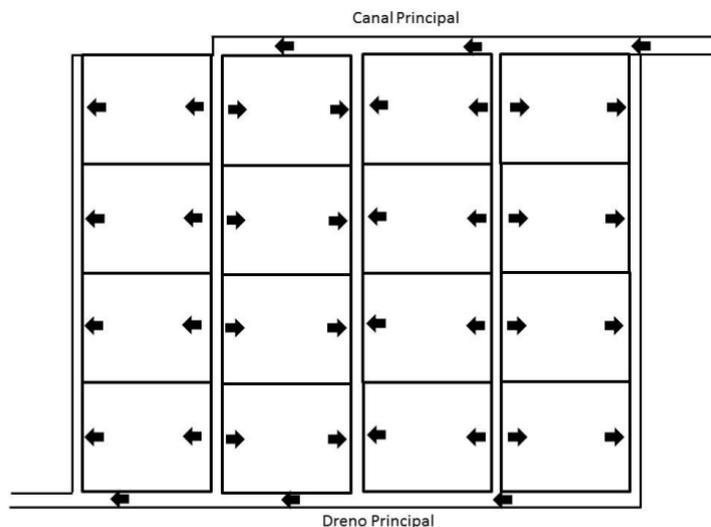


Fonte: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/77/SiphonTubes.JPG/800px-SiphonTubes.JPG>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Como estratégia de manejo da irrigação é a utilização de dois sifões por cada sulco, sendo que cada sifão irá aplicar a vazão reduzida. Durante o período de irrigação que corresponde ao tempo de avanço, usam-se os dois sifões proporcionando a utilização da vazão inicial. Já no período correspondente ao tempo de oportunidade, um dos sifões deverá ser retirado, dessa maneira será garantida a aplicação da vazão reduzida, que deverá corresponder à metade da vazão inicial.

Além da irrigação por sulcos, outro método muito utilizado na irrigação por superfície é a irrigação por inundação em faixas (Figura 3.26). Esse sistema consiste na aplicação de água através de faixas, sendo amplamente utilizado para cultivos com espaçamentos pequenos, como é o caso do arroz, do trigo e das pastagens.

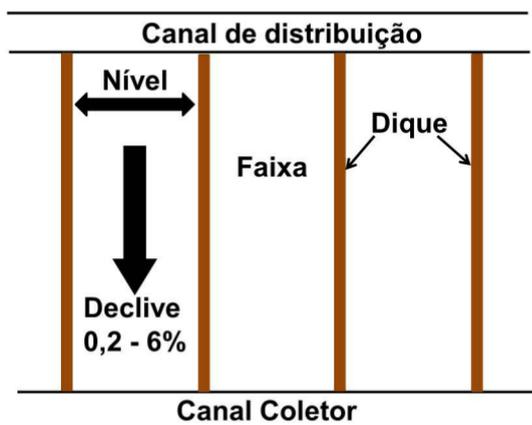
Figura 3.26 | Layout da irrigação por faixas



Fonte: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000foh49q3602wyiv8065610d5y5f5im.html>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Assim como na irrigação por sulcos, a declividade da faixa tem relação direta com o tipo de solo da área cultivada e a velocidade de escoamento da água. Os mesmos critérios de projeto da irrigação por sulcos deverão ser levados em consideração no momento em que a irrigação por faixas for dimensionada, conforme é demonstrado na Figura 3.27.

Figura 3.27 | Declividade do sistema de irrigação por faixas



Fonte: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/irriga4.html>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Para determinar o comprimento das faixas de irrigação, usa-se o critério de proporcionalidade à capacidade de infiltração, sendo que a extensão das faixas deverá ser inversamente proporcional à infiltração do solo, ou seja, quanto maior a capacidade de infiltração, menor deverá ser o comprimento das faixas, que variam entre 50 e 400 m.

A vazão de projeto adotada deverá ser tal que evite o escoamento superficial excessivo ao final da faixa. A vazão utilizada deverá ser interrompida quando a frente de avanço atingir de $2/3$ a $3/4$ do comprimento da faixa de irrigação.



Pesquise mais

Caro aluno, você viu que a irrigação por inundação, apesar de apresentar baixa eficiência, ainda é bastante utilizada, principalmente no cultivo de arroz. No texto a seguir, intitulado: "Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem", você poderá se aprimorar mais sobre os assuntos, manejo da irrigação e irrigação por superfície com foco na irrigação por inundação, além de iniciar uma leitura sobre nossa próxima unidade, que tratará sobre Drenagem agrícola.

RODRIGUES, J. F.; CASTRO, N. M. R.; SILVA, P. R. F.; SCHOENFELD, R.; MASS, M. B.; PAGLIARINI, N. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem. Irriga, v. 1, p. 274-290, 2016. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1986>. Acesso em: 25 nov. 2017.

Boa leitura!

Sem medo de errar

Caro aluno, durante o curso estudamos a infiltração de água no solo, sendo que esse é um fator primordial para a escolha do manejo de irrigação. Através dos conhecimentos até aqui aplicados, poderemos resolver a nossa situação-problema.

O pomar de bananeira apresenta problemas com acúmulo e falta de água em diferentes pontos da linha de plantio. O que poderia estar causando variação das condições de infiltração ao longo do sulco? O solo da área apresenta elevadas taxas de infiltração, sendo assim, a água demora muito para chegar ao final do sulco, pois vai infiltrando no início, ou seja, há muita perda por percolação. Lembre-se de que: entende-se por percolação toda a água que infiltrou, mas não foi armazenada pelo solo, pois este atingiu sua capacidade de campo. Esta água pode contribuir para a recarga ou para o escoamento de base dos rios. A percolação sendo máxima no início do sulco, neste ponto acontecerá o maior tempo de oportunidade de infiltração e mínima ou nula no final do sulco, apresentando baixa produtividade da cultura.

Fator primordial na irrigação por sulcos, a determinação do comprimento dos sulcos influencia diretamente na obtenção de sucesso nesse método de irrigação. Erros de dimensionamento dos sulcos geram uma série de consequências durante a aplicação de água, os quais podemos citar: o aumento da perda de água por percolação e por evaporação à medida que a água se acumula e é facilmente perdida para a atmosfera; menor uniformidade da distribuição de água nos sulcos, aumento no uso da mão de obra, o que gera consequentemente aumento nos custos de operação

do sistema e; o aumento nas perdas de áreas produtivas, o que gera menor produtividade dos plantios.

É fundamental, ao optar pelo uso de irrigação superficial, que o produtor tenha máximo cuidado e conheça bem o tipo de solo, a declividade e, conseqüentemente, a sistematização da área, a cultura que ele vai implantar. No caso da situação-problema, o excesso de umidade na raiz da bananeira ocasionou o surgimento de doenças, a forma e o tamanho da área.

Para auxiliar os produtores, você deverá redimensionar os sulcos, levando em consideração a topografia, o tipo e a taxa de infiltração do solo, a disponibilidade de água, o espaçamento entre os sulcos e o comprimento e a declividade dos sulcos.

Após auxiliar os produtores nos problemas encontrados com os três tipos de irrigação será possível que você desenvolva e aplique seus estudos dos tipos de irrigação que podem ser aplicados para uma determinada cultura considerando suas características.

Dessa maneira, você será capaz de elaborar um relatório demonstrando ao seu professor os estudos dos tipos de irrigação que podem ser aplicados para uma determinada cultura considerando suas características, de modo que as suas considerações sobre o assunto ajudem os produtores a resolver as problemáticas encontradas ao longo do nosso contexto de aprendizagem.

Avançando na prática

Importância do dimensionamento

Descrição da situação-problema

Um agricultor familiar produtor de sorgo estava enfrentando um intenso veranico e estava ameaçado de perder sua produção. Para tanto, resolveu adotar um sistema de irrigação por sulcos, por não possuir capital disponível para investir em sistemas de irrigação pressurizados. Por se tratar de uma irrigação de salvação, o produtor não tomou grandes cuidados com o dimensionamento do sistema. Porém, ele identificou que está havendo uma grande perda de solo, escoamento superficial e erosão.

Você, enquanto profissional capacitado, foi procurado pelo produtor para realizar um estudo na área para investigar possíveis causas da perda de solo. Ao realizar testes de campo, você observou que a área apresenta uma declividade de 1,5% e textura média, que são satisfatórias para adoção do método sem grande investimento em sistematização e preparo da área. A vazão aplicada pelo produtor é de $2 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, e não está havendo variação de vazão, ela é única durante todo o tempo de irrigação. Qual a importância do correto dimensionamento dos sistemas de irrigação por superfície? Era necessária a sistematização da área? Qual a vazão que deve ser aplicada pelo produtor? A erosão é decorrente da vazão ou da declividade da área?

Você deverá auxiliar o produtor a realizar a correta aplicação de água para evitar o escoamento superficial e indicar as possíveis causas da perda de solo e, conseqüentemente, a perda de produtividade enfrentada pelo produtor.

Resolução da situação-problema

O projeto de um sistema de irrigação por sulcos é feito com base numa série de dados obtidos no local a ser irrigado, e um projeto mal conduzido pode levar a resultados prejudiciais ao plantio, causando baixo rendimento da cultura e baixa eficiência de irrigação. Os níveis reduzidos de desempenho de irrigação por sulcos podem ser atribuídos ao dimensionamento incorreto e à operação e manejo insatisfatórios. As principais variáveis envolvidas no dimensionamento de sistemas de irrigação por superfície são: o comprimento do sulco, da faixa ou do tabuleiro, a vazão derivada e o tempo de aplicação de água às parcelas. Um dos cuidados que o produtor deveria ter seria o de calcular a vazão não erosiva inicial. Recomenda-se que o produtor adote, primeiramente, a vazão máxima que o sulco é capaz de conduzir sem que possa ocorrer excesso de água no sulco ou erosão, é chamada de vazão máxima não erosiva. Na prática, é recomendada uma vazão não erosiva inicial, e posteriormente uma vazão reduzida equivalente a 50% da inicial. Esse procedimento é fundamental para que as perdas causadas por percolação e escoamento superficial, inerentes a esse sistema de irrigação, se situem em limites aceitáveis. Para tanto, com as informações coletadas pelo técnico, você é capaz de calcular a vazão através da equação:

$$Q_{\max} = \frac{C}{S^a}, \text{ adotando-se como } C \text{ } 0,613 \text{ e } a \text{ } 0,733, \text{ conforme}$$

Mello e Silva (2007). Assim, a vazão não erosiva inicial será:

$$Q_{\max} = \frac{0,613}{1,5^{0,733}} = 0,45 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}, 1,45 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \text{ a menos do que está sendo}$$

aplicado pelo produtor. Logo, a vazão excessiva está causando o escoamento superficial.

Faça valer a pena

1. Um produtor de milho deseja irrigar sua plantação utilizando sistema de irrigação por sulcos. Após uma série de estudos detalhados levando em consideração a topografia, o tipo e a taxa de infiltração do solo e a disponibilidade de água. Sabendo que: Turno de rega = 10 dias; Jornada de trabalho = 8 horas / dia; Tempo de oportunidade = 104 min e; Dimensões da área: 250 x 600 m.

Assinale a alternativa que corresponde à área a ser irrigada por cada irrigação:

- a) 4.000 m² por irrigação.
- b) 5.500 m² por irrigação.
- c) 5.100 m² por irrigação.
- d) 5.000 m² por irrigação.
- e) 4.500 m² por irrigação.

2. Um agricultor possui um plantio de feijão irrigado por sulcos. Pelos cálculos de lâmina de irrigação para atender a necessidade da cultura, ele deverá aplicar uma lâmina de irrigação para atender a necessidade da cultura, ele deverá aplicar uma lâmina de 48 mm. Sabe-se que a equação de infiltração para o solo da área é: $I(\text{mm}) = 14,2708 \times T^{0,356} (\text{min})$ e que a equação para determinação do comprimento do sulco é: $L(\text{m}) = 12,4516 \times I^{0,6336}$.

Assinale a alternativa que corresponde ao comprimento do sulco utilizando o método de Criddle.

- a) $L = 43 \text{ m}$.
- b) $L = 44 \text{ m}$.
- c) $L = 42 \text{ m}$.
- d) $L = 46 \text{ m}$.
- e) $L = 45 \text{ m}$.

3. A lavoura de arroz irrigado é apontada como uma atividade que utiliza grande volume de água para manter a lâmina de irrigação. O alto volume de água usado na cultura do arroz se deve, principalmente, ao manejo da irrigação por inundação, o qual é caracterizado por manter lâmina de água sobre o solo. A manutenção de lâmina de água possibilita efeitos benéficos para a cultura do arroz irrigado, tais como o auxílio no controle de plantas daninhas e o aumento da disponibilidade de nutrientes na solução do solo a serem absorvidos pelas plantas. O manejo da irrigação na lavoura de arroz irrigado pode ser realizado pelos sistemas de inundação com lâmina de água contínua e/ou intermitente.

Assinale a alternativa que corresponde ao conceito de irrigação por inundação intermitente:

a) Aquela em que a água é aplicada à lavoura no dia do plantio e é mantida na lavoura durante o desenvolvimento da cultura até alguns dias após da colheita, gerando um encharcamento das raízes. A irrigação contínua pode ser feita com ou sem circulação de água.

b) Aquela em que a água é aplicada à lavoura por um tempo suficiente para o solo na profundidade das raízes até atingir a umidade correspondente à capacidade de campo. Será aplicada novamente quando o solo atingir a umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura.

c) Aquela em que a água é aplicada à lavoura alguns dias depois do plantio e é mantida na lavoura durante o desenvolvimento da cultura até alguns dias antes da colheita, gerando um encharcamento das raízes. A irrigação contínua pode ser feita com ou sem circulação de água.

d) Aquela em que a água é aplicada à lavoura por um tempo suficiente para o solo na profundidade das raízes até atingir a umidade correspondente ao ponto de murcha permanente. Será aplicada novamente quando o solo atingir a umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura.

e) Aquela em que a água é aplicada à lavoura por um tempo suficiente para o solo na profundidade das raízes até atingir a umidade correspondente à capacidade de campo. Será aplicada novamente quando o solo atingir a umidade correspondente ao limite hídrico máximo da cultura.

Referências

- ALBUQUERQUE, P. E. P. D.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução: R. S. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- FERREIRA, V. M. **Irrigação e drenagem**. Floriano, Pi: Secretaria de Educação a Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 126 p.
- FRIZZONE, J. A. **Capítulo 3: Fases da irrigação por superfície**. Disponível em: http://www.gpeas.ufc.br/disc/sup/fases_irr_sup.pdf. Acesso em: 25 de novembro de 2017.
- IRRIGATION DIRECT. **History of drip Irrigation**. Disponível em <<http://www.irrigationdirect.com/expert-advice/drip-irrigation-tutorials/generaloverview/history-of-drip-irrigation>> Acesso em 01 out. 2017.
- JAIN – **Irrigation Systems Ltd. Layout of Jain Sprinkler Irrigation System**. Disponível em <<http://www.jains.com/irrigation>> Acesso em 01 out. 2017.
- MANTOVANI, E. C., BERNARDO, S., PALARETTI, L. F. (2006) **Irrigação: princípios e métodos**. UFV. 318p.
- MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, v. 2, p. 17-31, 2006.
- MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Irrigação**: apostila. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2007. 180p.
- PEREIRA, L. S.; VALERO, J. A. J.; BUENDÍA, M. R. P.; MARTÍN-BENITO, J. M. T. **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madri: Mundi Prensa, 1996. 513 p.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola: FEAGRI/UNICAMP. 2017. 45p.

Drenagem agrícola

Convite ao estudo

Olá, aluno! Seja bem-vindo!

Na última unidade estudamos os sistemas de irrigação que podem ser de três tipos: irrigação localizada, irrigação por aspersão e irrigação por superfície. Dando continuidade à nossa disciplina chegamos à última unidade de ensino. Aqui veremos tudo que você precisa saber para dimensionar um sistema de drenagem. Você estudará os principais conceitos e objetivos da drenagem agrícola, aprenderá a dimensionar sistemas de drenagem, entenderá os principais inconvenientes do excesso de água no solo e aprenderá sobre drenagem subterrânea e superficial.

Vamos dar início ao nosso estudo sobre drenagem agrícola partindo da seguinte situação hipotética: um produtor agrícola da região resolveu expandir as suas áreas e comprou terras de uma fazenda vizinha, próximo ao rio que corta a cidade. Antes do período de chuvas ele realizou o preparo da área, semeou, as plantas germinaram e começaram com o seu desenvolvimento normal. O período de chuvas chegou na região e diferentemente do que imaginava, ele começou a ter problemas com sua plantação: além da excessiva quantidade de água presente no solo, que apresentava alta quantidade de sais diluídos.

Nos últimos meses ele vem enfrentando queda de rendimento na sua produção agrícola. Ele comprou a área recentemente, e por isso tem poucas informações sobre ela, porém sabe-se que a área sofre com constantes excessos de água na sua superfície. Algo que intriga o produtor é que esse excesso de água acontece mesmo em dias que não ocorrem chuvas, mas coincidentemente o umedecimento do

solo ocorre à medida que o rio está no processo de cheia. O produtor relata que algumas plantas começaram a apresentar definhamento, amarelecimento e queda de algumas folhas. E você notou ao chegar à área que já possuía um sistema de drenagem construído com drenos laterais abertos.

Na conversa com o produtor, você refletiu sobre alguns pontos, como: O excesso de umidade do solo deve-se a problemas de drenagem? O definhamento das plantas deve-se ao excesso de umidade do solo? Os sais estão causando prejuízo à produtividade agrícola? O sistema de drenagem utilizado na área é o mais recomendado para a situação? A instalação de poços de observações e piezômetros ajudarão a diagnosticar problemas de drenagem na área?

Lembre-se que raciocínio crítico e a capacidade de solução de problemas serão fundamentais para que você consiga ajudar o produtor a solucionar o problema. Em situações semelhantes a essas, reparos e manutenção do sistema de drenagem assumem fundamental importância para a produção agrícola.

Você será capaz, ao final dessa unidade, de entender todos os aspectos que cercam a drenagem agrícola, todos os processos que antecedem a fase de elaboração de um projeto de drenagem agrícola, bem como o dimensionamento de projetos de drenagem. Será possível chegar à conclusão sobre quais fatores devem ser levados em consideração para se dimensionar um sistema de drenagem e ajudar o produtor a corrigir o problema na sua área agrícola, além de aumentar o potencial produtivo daquela fazenda.

Seu trabalho na área será efetuar alguns estudos de campo e ao final elaborar um relatório para o produtor, o que possibilitará realizar possíveis reparos no sistema de drenagem e assim realizar a remoção do excesso de água do solo a uma taxa que permita uma exploração econômica das culturas e utilização por longo tempo da área agrícola.

Bons estudos!

Seção 4.1

Noções de drenagem na agricultura

Diálogo aberto

Com a crescente necessidade da expansão de áreas produtivas para a realização de atividades agrícolas, o desenvolvimento de técnicas para tornar terras improdutivas em agricultáveis é fundamental, e nesse contexto a drenagem agrícola surge como uma alternativa. A drenagem agrícola é o processo pelo qual é realizada a remoção da quantidade excessiva de água dos solos de maneira que lhes dê condições de aeração, estruturação e resistência. Os projetos de drenagem artificial surgem para suprir a drenagem natural, de forma complementar, quando esta não for satisfatória.

Para entendermos melhor como funcionam os sistemas de drenagem, daremos início a nossa Seção 4.1 tratando do assunto na nossa primeira situação-problema: você e o produtor estão na área em que os constantes excessos de água na superfície do solo estão ocorrendo. O terreno se apresenta excessivamente alagado, mesmo em dias que não ocorre precipitação. A proximidade da área com o rio favorece que o lençol freático esteja sempre nas camadas mais próximas à superfície do solo. Junto com a cheia ocorre elevação do lençol freático e, conseqüentemente, inundações na área. O sistema de drenagem dimensionado para a área é superficial com canais laterais abertos. O motivo do excesso de umidade na área é a água subsuperficial e o escoamento da água é apenas no sentido vertical. Inicialmente, você tem apenas as informações que lhe foram passadas pelo produtor, apesar de observar que o sistema de drenagem dimensionado apresenta problemas devido a origem da água. O excesso de água tem-se apresentado altamente prejudicial ao cultivo agrícola, e como consequência deste excesso o plantio alagado vem apresentando perda de produtividade, à medida que está ocorrendo definhamento das plantas.

Assim, você iniciará uma etapa de observações e anotações de tudo que analisar na área. Você deverá avaliar o sistema de drenagem que já está implantado na área, e com base nos seus

conhecimentos técnicos julgar a necessidade de dimensionar um novo sistema para que o excesso de água no solo seja drenado, resolvendo assim o problema da área. Leve em consideração as seguintes questões: a drenagem natural não tem sido suficiente para escoar a água que atinge a área? O sistema de drenagem utilizado na área está adequado ao problema ali encontrado? Os princípios básicos da drenagem agrícola estão sendo atendidos nessa situação? O definhamento das plantas é uma consequência comum do excesso de água no solo? Quais os critérios que você deverá adotar para dimensionar o sistema de drenagem da área?

As respostas para estas perguntas podem ser a etapa inicial para entendermos a situação encontrada na área e iniciarmos a ajuda ao produtor.

Vamos lá! Bom estudo!

Não pode faltar

Diversas superfícies agrícolas apresentam problema com o acúmulo de água (Figura 4.1). Em regiões úmidas ocorre elevação do lençol freático e inundações. Em áreas secas, ocorre dificuldade de infiltração, o que limita a produtividade das culturas.

Figura 4.1 | Superfície agrícolas apresentam problema com o acúmulo de água



Fonte: <<https://bordadocampo.com/arroz/cultivo-arroz/>>. Acesso em: 2 dez. 2017.

Um conceito de drenagem agrícola muito empregado atualmente versa sobre a retirada da água do solo que está excedendo os níveis ideais para o solo por meios artificiais a níveis que permitam explorar economicamente as culturas e utiliza-la por através de longos períodos, melhorando as condições do sistema solo-planta.

A drenagem agrícola pode ser conceituada como a retirada do excesso de água do solo para viabilizar o crescimento das culturas. A drenagem é considerada adequada quando o processo é feito de forma correta e necessária para manter a agricultura satisfatória e efetiva na área, considerando o aspecto econômico.

Drenagem Natural ocorre quando o solo com condições próprias tem capacidade de escoar a água que afeta a área, descendente de transbordamento de rios, infiltrações e excessos de água em geral, preservando o solo e as culturas inseridas no local de forma eficiente. Caso contrário, a área avaliada precisará de um complemento para retirada da umidade excedente, a esta técnica damos o nome de drenagem artificial do solo.



Assimile

A drenagem objetiva a conservação do solo e incorporação de novas áreas agrícolas. Em solos áridos sua finalidade é de controlar a salinidade através de lixiviação do excesso de sais, e em solos úmidos propende controlar a elevação do lençol freático, proporcionando maior aeração do solo na zona radicular, possibilitando o aumento da produtividade e controle da erosão.

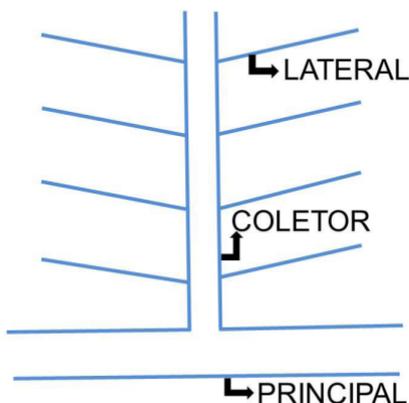
A drenagem agrícola é definida em duas classes: drenagem superficial e drenagem subterrânea. A finalidade de implantação de um sistema de drenagem superficial é possibilitar a percolação do excesso de água, naturalmente, através do escoamento consequência de precipitações com alta taxa de infiltração no solo. A drenagem subterrânea objetiva o manejo do lençol freático, conservando a profundidade apropriada para o crescimento das culturas.

Os sistemas de drenagem são definidos em sistemas abertos, subterrâneos e semiabertos/ semifechados. Os sistemas abertos são aqueles caracterizados pela presença de drenos laterais, bem como os drenos coletores, abertos. O maior benefício desse sistema é o

custo fixo baixo por não necessitar de tubulações para drenagem. Porém, a sua maior despesa é a perda de área do plantio, o alto custo de manutenção e dificuldade na passagem de máquinas e animais. O sistema subterrâneo é caracterizado pelas tubulações subterrâneas localizados nos drenos laterais e nos coletores.

No sistema semiaberto/semifechado (Figura 4.2), o coletor central é uma canaleta aberta enquanto que a tubulação é instalada subterrânea, servindo de dreno.

Figura 4.2 | Sistema de drenagem natural



Fonte: adaptada de Aguiar Netto (2011).



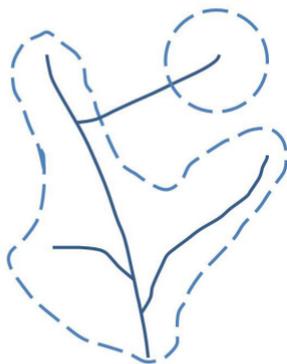
Refleta

O excesso de água pode ser altamente prejudicial aos cultivos agrícolas, e como consequência deste excesso os plantios alagados podem acarretar consequências prejudiciais como o aparecimento de algumas doenças de origem fúngica - a antracnose ou a ferrugem, e até mesmo causar a morte das raízes através do seu apodrecimento. carência de nutrientes como consequência da lavagem do perfil do solo; senescência (queda) foliar e queda das flores; definhamento das plantas; apodrecimento do caule; morte súbita; murchamento e escurecimento das folhas; pintas negras nas folhas; raízes curtas e pouco resistentes à estiagem; infestação por pragas; moscas e mosquitos no solo.

Para programar o sistema de drenagem, precisamos analisar a topografia, o tipo de solo e a condição do lençol freático. Em regra, as principais estruturas são:

Natural: utilizada em áreas que não podem ser aterradas. Limita-se a unir as depressões da área por intermédio de drenos rasos, isolando áreas úmidas (Figura 4.3).

Figura 4.3 | Sistema de drenagem natural



Fonte: adaptada de Aguiar Netto (2011).

Interseção: sistema de drenagem que acontece através da interceptação por meio de canais, onde a vital fonte de água é a corrente do lençol freático originário de declives e escoamento de água, transportando para vazão final (Figura 4.4).

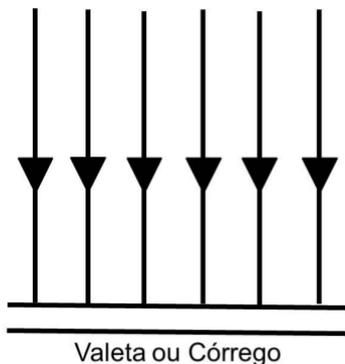
Figura 4.4 | Sistema de drenagem por interseção



Fonte: <<https://www.irrigacao.net/site/wp-content/uploads/2015/07/img-big-08.jpg>> Acesso em: 02 dez. 2017.

O sistema de drenagem em paralelo é utilizado em áreas úmidas com pouca declividade, no qual o excedente de água inicia-se na elevação do lençol freático. O coletor é situado no meio da área, e as laterais se mantêm retas a ele, podendo haver drenos laterais em um lado ou dos dois lados do coletor (Figura 4.5).

Figura 4.5 | Sistema de drenagem em paralelo



Fonte: Mello (2008, p. 96).

O sistema de drenagem do tipo espinha de peixe é utilizado em áreas que apresentam concavidades estreitas, onde os coletores serão posicionados. Os drenos laterais são lançados em ambos os lados do coletor (Figura 4.6).

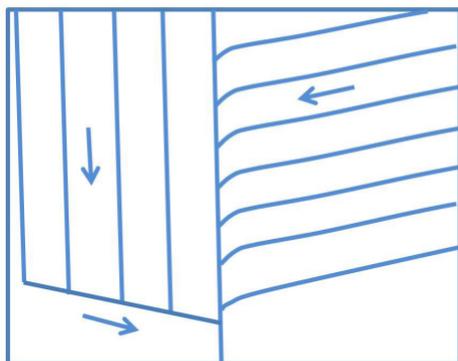
Figura 4.6 | Sistema de drenagem espinha de peixe



Fonte: <<http://gramadosmarilia.com.br/wp-content/uploads/2012/04/22.jpg>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

Outro sistema de drenagem bastante utilizado em áreas agrícolas é o do tipo grade. Este sistema adapta-se muito bem a áreas planas e tem como principal benefício o efeito de drenagem dupla. Ele é montado com um coletor principal e os coletores secundários variam devido à necessidade da área (Figura 4.7).

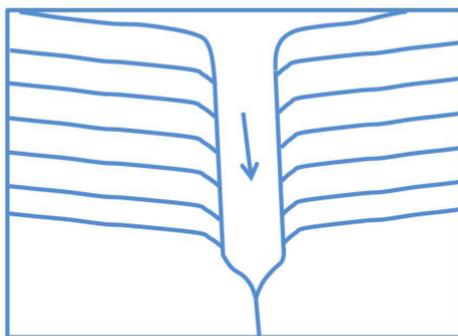
Figura 4.7 | Sistema de drenagem tipo grade



Fonte: adaptada de Aguiar Netto (2011).

O sistema de drenagem do tipo duplo principal é uma variação do sistema espinha de peixe sendo utilizado geralmente em terrenos a ser drenado apresentando uma depressão larga e excessiva (Figura 4.8).

Figura 4.8 | Sistema de drenagem tipo grade



Fonte: adaptada de Aguiar Netto (2011).

Além da escolha de apenas um sistema de drenagem, a escolha pode ser por mais de um tipo de sistema. Esse tipo é classificado como sistema por agrupamento, de modo que é a combinação dos sistemas cotados anteriormente em uma só área.

Para a escolha adequada do sistema de drenagem que será implantado bem como para o ótimo dimensionamento, algumas informações são necessárias para a realização do projeto de drenagem. O primeiro passo a ser tomado é o reconhecimento geral da área. Para ter o entendimento da origem de todos os problemas da área, será necessário analisar situações como o motivo do excesso de água, reconhecimento dos locais de escoamento da água, localização de possíveis construções e obstáculos que podem interferir no projeto, informações de previsão de chuvas na região. Em seguida se faz necessário a realização do levantamento topográfico. A planta precisa ser completa, em escala adequada para levar informações estáveis para localização e dimensionamento do sistema, as curvas de nível devem ser planejadas em intervalos máximos de 1 em 1m; as escalas mais comuns variam entre 1:500 e 1:2000. Ainda na fase de levantamentos de campo, outra etapa importante é o estudo detalhado do solo; m estudo dos solos é essencial para a execução de um projeto. É necessária a prescrição da profundidade do solo, assim como as características do perfil do solo. Além destes levantamentos, é fundamental a aquisição da condutividade hidráulica e a coleta da amostra para porosidade do solo. Finalizando a sequência de estudos relacionados com a drenagem agrícola, as informações relacionadas à climatologia geral e cultura, como taxa de evapotranspiração e profundidade do lençol freático, lixiviação de sais, declividade do terreno e determinação da intensidade máxima de chuva, devem ser conhecidos pelo projetista no momento do dimensionamento.

Para o dimensionamento do sistema de drenagem duas categorias podem ser utilizadas para agrupar as fórmulas: regime permanente e regime variável.

Para o dimensionamento dos sistemas de drenagem inicia-se calculando a vazão dos drenos laterais. Para as normas de escoamento permanente, a vazão é fornecida pela lâmina de água a ser suprimida continuamente por 24 horas e a área de influência do dreno onde a recarga é permanente.

$$Q = R \times L \times C$$

Em que:

Q = vazão ($m^3 \cdot dia^{-1}$).

R = lâmina de água a ser eliminada em 24h (m).

L = espaçamento dos drenos (m).

C = comprimento dos drenos (m).

Para as normas de escoamento variável, em que a recarga não é permanente, a vazão deverá ser por unidade de área superficial do solo, resultante da equação de Glover-Dumm, a seguir:

$$Q_t = \frac{2\pi \times k \times D}{L^2} \times h_t$$

Considerando a área total de influência do dreno, espaçamento e comprimento dos drenos, o valor de $h_t = h_0$, a equação torna-se:

$$Q_t = \frac{2\pi \times k \times D}{L^2} \times h_0 \times C$$

Como as unidades dos parâmetros K são dadas em $m \cdot dia^{-1}$, D , H_0 , C e L são dados em m , a vazão Q é calculada em $m^3 \cdot dia^{-1}$. Como nas fórmulas para o cálculo do diâmetro dos drenos, emprega-se os valores de vazão em $m^3 \cdot s^{-1}$. Para transformar a vazão de $m^3 \cdot dia^{-1}$ em $m^3 \cdot s^{-1}$, utiliza-se a equação:

$$Q = 0,000073 \times \frac{k \times D}{L} \times h_0 \times C$$

Com a vazão que será transportada pelo dreno calculada, deve-se realizar o cálculo do diâmetro dos drenos laterais.

Para os drenos lisos que geralmente são de PVC liso ou cerâmica, usa-se a equação:

$$d = 0,1913 \times Q^{0,368} \times I^{-0,211}$$

$$Q = 89 \times d^{2,714} \times I^{0,572}$$

Onde:

Q = vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$).

d = diâmetro interno dos drenos (m).

I = declividade dos drenos.

Enquanto que para os drenos corrugados, utiliza-se a equação:

$$d = 0,2557 \times Q^{0,357} \times I^{-0,187}$$

$$Q = 38 \times d^{2,667} \times I^{0,5}$$



Exemplificando

Quando se faz necessária a utilização de sistemas de drenagens em áreas planas, a posição em que os drenos serão instalados é regida pela topografia e, ocasionada pelas vazões máximas, a descarga poderá acontecer em função do gradiente hidráulico em vez do declive. Ao levar em consideração essas condições há menor acúmulo de sedimentos nos drenos, quando instalados a 0,10 a 0,15%. Normalmente, esses índices de declives são conseguidos através da abertura das valas adotando-se uma profundidade mínima permissível. Logo, o comprimento dos drenos fica limitado a 150–200 *m*.

O dreno coletor central precisará ser dimensionado através de todas as vazões que percorrem a área, podendo ter origem de drenagem subterrânea ou qualquer pequeno percurso d'água.

Os parâmetros essenciais para se iniciar o dimensionamento são: vazão transportada (*Q*), talude do canal, base menor (*b*), coeficiente de rugosidade (*n*) e declividade (*I*). Para conduzir o dimensionamento do coletor central calcula-se inicialmente a área de escoamento do canal através da equação:

$$A = (b \times h) + (m \times h^2)$$

Onde:

A = área de escoamento do canal (*m*²).

b = base menor do canal (*m*).

h = altura de água no canal (*m*).

m = tangente do ângulo entre a parede do canal e o plano horizontal.

Conseqüentemente o cálculo da definição do perímetro molhado (*m*) é feito utilizando-se a equação a seguir:

$$P = b + 2 \times h \times \sqrt{(m^2 + 1)}$$

Onde:

P = perímetro molhado (m);

b = base menor do canal (m);

h = carga (altura) de água no canal (m); e,

m = cotangente do ângulo entre a parede do canal e o plano horizontal.

Conseqüentemente o cálculo da definição do raio hidráulico (m) é feito utilizando-se a equação a seguir:

$$R = \frac{A}{P}$$

Onde:

R = raio hidráulico (m).

A = área ou seção de escoamento do canal (m^2).

P = perímetro molhado (m).

A definição da velocidade de escoamento no canal é calculada utilizando a Equação de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

V = velocidade de escoamento ($m^3 \cdot s^{-1}$).

n = coeficiente de rugosidade (tabelado).

I = declividade do canal.



Pesquise mais

O principal objetivo da drenagem agrícola é a criação de um ambiente agrícola que favoreça o ótimo crescimento das plantas e a preservação das propriedades físicas e químicas do solo. Com a crescente importância do uso da drenagem em terrenos agrícolas, alguns diferentes métodos de dimensionamento de sistemas de drenagem agrícola têm sido aplicados. A necessidade da utilização de sistemas de drenagem é variável através do clima e da geografia. O uso é mais recomendado para áreas de clima com predominância de altas pluviosidades, com vistas a eliminar o excesso de umidade na superfície do terreno e no perfil do

solo, enquanto que em regiões de clima seco o intuito de utilizar sistemas de drenagem é o de manter a concentração de sais na região radicular em níveis que não causem prejuízos para produtividade agrícola. Dentre os métodos desenvolvidos, tem destaque a metodologia desenvolvida por Evangelista et al., 2005, a seguir:

EVANGELISTA, A. et al. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para dimensionamento de sistemas de drenagem agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, V. 9, n. 4, p. 441–449, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v9n4/v9n4a01>>. Acesso em: 3 dez. 2017.

Dessa forma é fundamental para o técnico identificar as prováveis causas do excesso de umidade do solo, escolher o sistema de drenagem mais recomendado para aquela determinada situação, bem como atentar-se para o correto dimensionamento a fim de galgar êxito no uso de sistemas de drenagem.

Sem medo de errar

Caro aluno, durante esta seção estudamos as noções de drenagem na agricultura, sendo este assunto um fator primordial para a escolha do sistema de drenagem agrícola que melhor se adapta a cada situação que o técnico poderá se deparar no dia a dia do exercício da sua profissão. Através dos conhecimentos até aqui expostos, poderemos ajudar o produtor a resolver a nossa situação-problema. Ao percorrer a área em que os constantes excessos de água na superfície do solo estão ocorrendo, inicialmente você deverá levantar o máximo de informações que lhe foram passadas por ele. Depois iniciará uma etapa de observações e anotações de tudo que observar na área. Você precisará analisar o sistema de drenagem que já está implantado na área, e com base nos seus conhecimentos técnicos julgar se será necessário dimensionar um novo sistema para que o excesso de água no solo seja drenado, resolvendo assim o problema da área. Para a escolha adequada do sistema de drenagem que será implantado bem como para o ótimo dimensionamento, algumas informações são necessárias para a realização do projeto de drenagem. Você, enquanto técnico,

deverá realizar uma série de levantamentos na área dentre os quais o reconhecimento geral da área.

O excesso de água tem sido altamente prejudicial ao cultivo agrícola, e como consequência deste excesso o plantio alagado vem apresentando definhamento das plantas.

Para entender a origem de todos os problemas da área, será necessário que você analise o motivo do excesso de água, observação dos locais de escoamento da água, determinação da localização de possíveis construções e obstáculos que poderão interferir no projeto, além de levantar informações de previsão de chuvas na região. Posteriormente, você deverá proceder a etapa de levantamento topográfico, para a confecção da planta topográfica, em escala adequada para levar informações estáveis para localização e dimensionamento do sistema, incluindo as curvas de nível que deverão ser planejadas em intervalos máximos de 1 em 1m. Você deverá ter bastante atenção às características físicas e hídricas do solo, de maneira que um estudo detalhado do solo deverá ser realizado nesse momento.

É necessário que você determine a profundidade assim como as características do perfil do solo. Outra etapa essencial é o estudo da condutividade hidráulica, aliada à coleta de amostras para determinação da porosidade do solo, que determinará as características da movimentação de água no solo.

Finalizando a sequência de estudos relacionados com a drenagem agrícola, as informações relacionadas com a climatologia geral e cultura como taxa de evapotranspiração e profundidade do lençol freático, lixiviação de sais, declividade do terreno e determinação da intensidade máxima de chuva, devem ser conhecidos pelo projetista no momento do dimensionamento.

Com todos os dados levantados, o dreno coletor central precisará ser dimensionado através de todas as vazões que percorrem a área, podendo ter origem de drenagem subterrânea ou qualquer pequeno percurso d'água. Os parâmetros essenciais para realizar o dimensionamento serão: a vazão transportada (Q), o talude do canal, a base menor (b), o coeficiente de rugosidade (n) e a declividade (I) da área.

Vazão dos drenos laterais

Descrição da situação-problema

Um agricultor familiar possui uma pequena área de 1ha em que pretende implantar uma horta para produzir tomate. A área fica próximo ao rio que ele usará como fonte hídrica para irrigar o plantio, porém à medida que o rio enche a área fica encharcada devido a recarga do lençol freático. A cultura do tomate é extremamente sensível à umidade do solo que, em excesso, poderá causar o aparecimento de doenças. Sabendo que o preço do tomate no mercado está satisfatório e suprirá os investimentos em um sistema de drenagem, o produtor vai investir para tornar a área produtiva. Considerando que a lâmina a ser eliminada a cada evento de cheia do rio é de 2 metros, o espaçamento e o comprimento dos drenos deverão obedecer às linhas de plantio, que são de 1,2m entre as linhas e 0,2m entre as plantas, com 200 plantas por cada linha de plantio.

Dessa maneira, você enquanto técnico deverá auxiliar o produtor a levantar os dados para elaboração do projeto e a calcular a vazão dos drenos laterais que serão implantados na área.

Quais os dados que deverão ser levantados para elaboração do projeto? Quais critérios adotados? Qual o comprimento dos drenos utilizados? Qual a vazão que esses drenos deverão transportar? Qual o espaçamento dos drenos?

Resolução da situação-problema

Sabe-se que a drenagem agrícola consiste na retirada do excesso de água do solo permitindo que a área seja explorada de forma econômica e utilizada por longo tempo. Dentre os principais benefícios têm-se a inclusão de novas áreas, antes improdutivas, tirando o excesso de água no solo para torná-los agricultáveis, aumentando a produtividade agrícola, através da melhora de características do solo como aeração, melhora da atividade microbiana, maior fixação de nitrogênio e fósforo, além do aumento da profundidade efetiva das raízes. Contudo, o controle e o manejo da drenagem deverá ser bem realizado, pois áreas excessivamente

drenadas não são desejáveis, a medida que a água disponível no solo é reduzida, podendo ficar indisponível para as culturas agrícolas, além de intensificar a percolação de nutrientes fornecidos para plantas através de fertilizantes solúveis, causando assim a contaminação do lençol freático e os cursos d'água, acarretando menor rentabilidade da produção. Em algumas áreas, a água do lençol freático poderá ser utilizada para irrigar o cultivo através do controle da lâmina, para suprir a necessidade hídrica das culturas prevenindo assim o excesso de drenagem.

A quantidade de água drenada anualmente por uma área agrícola encharcada tende, inicialmente, a conservar-se estável quando comparado o volume antes e depois de cessada a drenagem. A mudança que ocorre é o acréscimo do volume drenado na estação chuvosa e a redução na estação seca.

Dessa forma, o correto cálculo da vazão deverá ser realizado utilizando a equação:

$$Q = R \times L \times C$$

Em que a vazão será determinada em $m^3 \cdot dia^{-1}$, a lâmina de água a ser eliminada em 24h já foi anteriormente determinada e corresponde à lâmina a ser eliminada a cada evento de cheia do rio, que é de 2 metros; já o espaçamento dos drenos corresponderá às linhas de plantio, que são de 1,2 m, enquanto que o comprimento dos drenos será a razão entre o espaçamento entre as plantas que é 0,2m e a quantidade de plantas por linha de plantio que é de 200, conforme pode ser visto a seguir:

$200 \times 0,2 = 40$ metros, sendo assim, substitui-se na equação da vazão do dreno lateral:

$$Q = R \times L \times C = 2 \times 1,2 \times 40 = 96 \text{ m}^3 \cdot dia^{-1}$$

Faça valer a pena

1. A drenagem consiste retirada da água do solo que está excedendo os níveis ideais para o solo por meios artificiais a níveis que permitam explorar economicamente as culturas e utilizá-la por longos períodos, melhorando as condições do sistema solo-planta.

Com base no texto guia sobre a drenagem de terras agrícolas, assinale a alternativa correta.

a) Tanto a porosidade drenável quanto a condutividade hidráulica são atributos que não devem ser levados em consideração para o dimensionamento de um sistema de drenagem.

b) A condição básica para utilização do método do trado do furo, para determinação da condutividade hidráulica, é a ausência de lençol freático próximo a superfície do solo.

c) A determinação da vazão de escoamento causada pela precipitação excessiva ou pela utilização de sistemas de irrigação superficiais não é relevante para o dimensionamento de drenos agrícolas.

d) O espaçamento e a profundidades dos drenos agrícolas não são fatores preponderantes para dimensionar um sistema de drenagem agrícola.

e) Entende-se por critérios de drenagem as condições relativas à quantidade de água que será retirada, à profundidade em que se encontra o lençol freático e a duração do rebaixamento do lençol freático.

2. A drenagem objetiva a conservação do solo e incorporação de novas áreas agrícolas. Em solos áridos, sua finalidade é a de controlar a salinidade através de lixiviação do excesso de sais, e em solos úmidos propende controlar a elevação do lençol freático, proporcionando maior aeração do solo na zona radicular, possibilitando o aumento da produtividade e controle da erosão. A drenagem agrícola apresenta como objetivo a retirada do excesso de água aplicada na irrigação ou proveniente das chuvas, isto é, controla a elevação do lençol freático, bem como possibilita a lixiviação dos sais trazidos nas águas de irrigação, evitando a salinização.

Com base no texto guia e nos conhecimentos adquiridos durante o estudo desta seção, assinale a alternativa que apresenta um benefício da drenagem agrícola:

a) Possibilita a fertirrigação.

b) Possibilita a incorporação de novas áreas à produção agrícola, principalmente nas regiões úmidas e semiúmidas – como as áreas de várzeas, para torná-las agricultáveis.

c) Permite colheita na entressafra.

d) Aumento na incidência de solos salinos e/ou alcalinos.

e) Aumento dos níveis de umidades do solo e possibilidade de produção em áreas mesmo elas estando inundadas.

3. Um produtor pretende cultivar feijão irrigado em áreas de várzea. Para tanto, contratou um técnico que realizou uma série de levantamentos na sua área e determinou alguns parâmetros que são fundamentais para o dimensionamento de sistemas de drenagem, apresentados a seguir:

$$K = 1,13 \text{ m} \cdot \text{dia}^{-1}.$$

$$D = 1,98 \text{ m} \text{ (maior valor entre época de irrigação e época de chuva).}$$

$$H_o = 0,40 \text{ m} \text{ (maior valor entre época de irrigação e época de chuva).}$$

$$C = 150 \text{ m}.$$

$$L = 40 \text{ m}.$$

Com base nas informações que foram levantadas pelo técnico, assinale a alternativa que corresponde à vazão dos drenos laterais:

a) $0,000245 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

b) $0,00245 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

c) $245 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

d) $0,245 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

e) $0,0245 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Seção 4.2

Fatores que influenciam na drenagem agrícola

Diálogo aberto

O aumento da necessidade de produção de alimentos decorrente do excessivo crescimento populacional vem cooperando sensivelmente para ampliação do uso de áreas de solos degradados por salinidade e sodicidade, causados possivelmente, pelo uso inadequado de terras marginais e do manejo inadequado da irrigação e do solo. As águas de irrigação que apresentam quantidades elevadas de sais propiciam o acúmulo desses elementos na região do solo onde se encontra o sistema radicular das culturas, causando o aumento da tensão de retenção da água no solo, o que interfere no desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, no das plantas, e isso devido a diversos fatores, dos quais destacam-se: o aumento do potencial osmótico do solo, portanto causa o aumento da eficácia necessária das plantas para realizar a absorção de água e junto com ela os demais elementos vitais ao seu desenvolvimento e produção; e através da toxidez causada por certos elementos que em concentração relativamente alta causam distúrbios fisiológicos nas plantas.

Para darmos continuidade ao estudo desta seção e iniciarmos o raciocínio sobre os fatores que influenciam na drenagem agrícola, vamos partir da seguinte situação hipotética: você, técnico em irrigação e drenagem responsável pela área, e o produtor continuam a caminhar pela área com intuito de identificar as características que podem levar você identificar possíveis problemas com a drenagem agrícola da área do produtor. Desta maneira a próxima etapa que deve ser realizada é a observação do solo e das plantas. Por meio da observação desses fatores você poderá compreender, nesse contexto de aprendizagem, os inconvenientes do excesso de água no solo.

Ao andar pela área você observa que há variação em algumas características do solo, e em pequenas distâncias há uma mudança brusca na estrutura do solo, aumento da compactação, redução

da quantidade de matéria orgânica, aparecimento de rachaduras, maior permeabilidade, e é possível sentir com o tato que o solo da área tem maior predominância de argila e silte, e o solo apresenta temperaturas mais baixas quando comparado a solos próximos.

O produtor tem um plantio diversificado com milho, feijão, soja e sorgo, e em relação à observação das plantas da área, está ocorrendo definhamento, amarelecimento e queda de algumas folhas e um alto índice de tombamento das plantas de milho e feijão. Baseado nessas informações você começa a ter dados suficientes para chegar a uma conclusão sobre os problemas na área e encontrar as possíveis soluções. Você precisa ter em mente as seguintes questões: quais as características físicas alteradas com excesso de água? É possível observar essas características e identificar possíveis problemas de drenagem? As plantas externam os sintomas de excesso de água? Todas as culturas são suscetíveis ao excesso de água e acúmulo de sais?

Vamos estudar os inconvenientes do excesso de água no solo e saber se esses fatores observados são característicos de problemas de drenagem agrícola.

Bom estudo!

Não pode faltar

Diversos terrenos agrícolas se localizam em áreas com problemas de drenagem, acarretando, assim, perdas na produção dos plantios agrícolas, sendo necessária a implantação de um sistema de drenagem artificial. Este consiste na retirada da água em demasia do solo a taxas que permitam uma exploração econômica das culturas e utilização por longo tempo da área agrícola.

A água em excesso no solo causará alterações nos atributos físicos do solo prejudicando a produtividade, e dentre os atributos do solo destacam-se: aeração, estrutura, permeabilidade, textura e temperatura.

A aeração é o procedimento em que os gases manipulados ou elaborados no interior das camadas do solo poderão ser alterados pelos elementos presentes na atmosfera externa, formando um procedimento ativo (Figura 4.9). A ocorrência espontânea dos gases no solo não significa que este solo tem aeração apropriada, ou seja, a parte constituída por gases é indispensável para haver

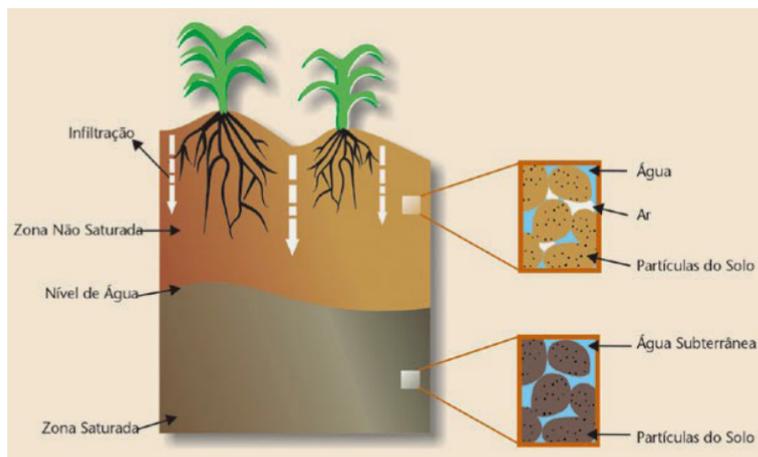
aeração, mas separadamente não é satisfatória, pois deve existir o fluxo de gases entre o interior do solo e a atmosfera livre. Essa troca gasosa existe através da difusão e fluxo de massa. Então, solos com excedente de água ocasionam intervenção no procedimento de aeração, causando uma alteração no fluxo de gases na atmosfera do solo para a atmosfera, mutualmente.



Assimile

A difusão é o fluxo dos gases em objeção ao gradiente de pressão parcial ou do gradiente de concentração dos gases, e fluxo de massa é o fluxo dos gases respondendo ao gradiente de pressão total dos gases.

Figura 4.9 | Aeração do solo



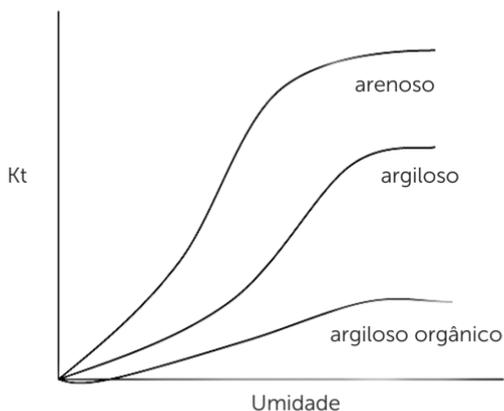
Fonte: Agência Nacional de Águas (2015).

Solos com drenagem deficiente podem ter a sua natureza alterada, por motivos de compactação provocada pelo trânsito de máquinas e animais, diminuição da massa de carbono orgânico devido à baixa densidade de raízes e salinização do solo.

Em regiões drenadas, a mudança da umidade ocasiona rupturas no solo, provocando máxima penetração do sistema radicular, favorecendo melhora da atividade microbiana e resultando na maior permeabilidade (Figura 4.10). Áreas que apresentam

problemas com drenagem natural têm maiores proporções de silte e argila, por motivo de intensa deposição destas partículas nos períodos mais chuvosos. A temperatura do solo influencia o crescimento da planta indiretamente. Uma temperatura baixa diminui a decomposição da matéria orgânica, reduzindo a massa de nutrientes que está acessível na planta.

Figura 4.10 | Condutividade térmica *versus* Umidade do solo

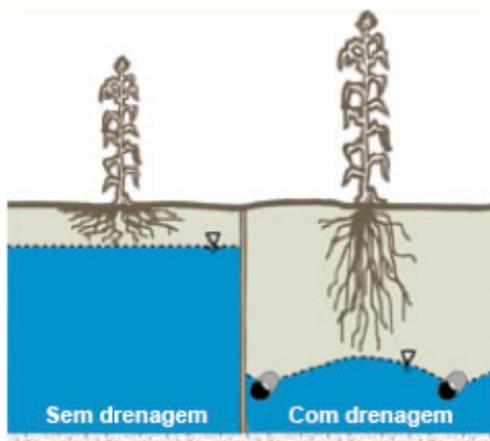


Fonte: Agência Nacional de Águas (2015).

A fase inicial do crescimento das culturas está ligada diretamente com a temperatura do solo. Há uma temperatura adequada em que o crescimento da cultura é ótimo. Porém, varia conforme a espécie vegetal por encargo dos procedimentos fisiológicos próprios. Uma das consequências positivas da drenagem não natural implantadas em áreas agrícolas é aumentar a temperatura do solo, evitando o retardamento da germinação e das colheitas.

Além dos problemas relacionados ao solo, a drenagem deficiente causa efeitos negativos no crescimento das culturas. Áreas com lençol freático elevado formam culturas com raízes curtas, tornando-as submetidas aos tombamentos. E ainda, com uma área pequena ocupada pela planta, ocorrem rápidos déficits hídricos, por causa de um pequeno verão, ocasionando um rebaixamento rápido do lençol freático (Figura 4.11).

Figura 4.11 | Comprimento da raiz em áreas com e sem drenagem



Fonte: <<http://geoanalysis.com/noticias-sobre-geofisica/agricultura-de-precisao-e-a-geofisica-3/#>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

A produção de hormônios vegetais e carbono orgânico é reduzida pelas células do sistema radicular com a deficiência da drenagem, ou seja, os hormônios não são elaborados ou são sintetizados de maneira deficiente.

O excedente de água no solo motiva pouca ventilação, diminuindo indiretamente a infiltração de água, devido à redução do comprimento das raízes. Além do mais, ocasiona diminuição da permeabilidade das raízes, diminuindo diretamente a infiltração de água. Esse fato acontece devido ao aumento do acúmulo de CO_2 em virtude da deficiência de O_2 , provocando um enrijecimento das paredes das raízes e reduzindo a permeabilidade.

A umidade disponível no solo, no limite de uma faixa ótima, estabelece um dos padrões essenciais para o crescimento da cultura, favorecendo o deslocamento de nutrientes através das raízes. Em contrapartida, o excesso de umidade no solo motiva pouca ventilação, diminuindo indiretamente a infiltração de água, devido à redução do comprimento das raízes, comprometendo o deslocamento de nutrientes através do sistema radicular, facilitando doenças em plantas e deficiência nutricional. Além do mais, ocasiona diminuição da penetração das raízes, diminuindo diretamente a infiltração de água. Esse fato acontece devido ao aumento do acúmulo de CO_2 em virtude da deficiência de

O_2 , gerando enrijecimento das paredes celulares das raízes e reduzindo a permeabilidade.

Tanto a concentração de sais no vacúolo das células da raiz como o seu deslocamento para a parte do xilema dissipam energia que é dispensada na respiração aeróbica. Por consequência, a infiltração e o deslocamento dos nutrientes tornam-se diretamente prejudicados quando a aeração do solo é deficiente. Além do mais, o maior acúmulo de CO_2 diminui a permeabilidade dos tecidos da raiz, reduzindo a absorção dos minerais.

Em terrenos que apresentam excesso de umidade é possível utilizar uma prática bastante comum relacionado ao manejo de água e solo, que é o controle da profundidade ideal do lençol freático para cada cultura. Este critério é essencial para a elaboração de projetos de drenagem agrícola, pois é através dele que é definida a profundidade em que os drenos serão instalados. O comparecimento do lençol freático nas proximidades da zona radicular das culturas diferencia duas situações:

1. Área onde partes da deficiência hídrica das culturas são saciadas, ainda que não completamente, pela elevação capilar proveniente do lençol freático.
2. Áreas que não usam água proveniente de ascensão capilar do lençol freático, mesmo aparecendo uma pequena deficiência hídrica, pois a colaboração do lençol freático seria nociva devido ao acúmulo de sais nas camadas onde se encontra o sistema radicular.

Concluindo, a melhor profundidade do lençol freático é aquela que possibilita uma conexão baixa entre custo e benefício. Porém este termo é pertinente, pois efetivamente não existe disponibilidade de dados razoáveis que autorizem a percepção da redução de produtividade das culturas ocasionadas pelos diversos níveis do lençol freático.



Exemplificando

É fundamental que se tenha a real compreensão entre a profundidade do lençol freático e o tipo de drenagem que deverá ser adotado para o projeto em áreas que sofrem com problemas de drenagem natural

deficiente. Para tanto, o Quadro 4.1 traz informações para auxiliar na tomada de decisão sobre o melhor sistema de drenagem a ser adotado.

Quadro 4.1 | Relação do lençol freático com o diagnóstico do problema de drenagem.

Situação	Drenagem	Exemplo
Lençol freático ausente	Só superficial	Campos de futebol e viveiros de muda
Lençol freático presente, mas de difícil controle	Só superficial e para culturas tolerantes	Gleissolos
Lençol freático presente, com possibilidade de controle	Superficial e subterrânea	Maioria dos solos de baixadas
Lençol freático presente e solo com infiltração muito alta	Só subterrânea	Areia quartzosa hidromórfica profunda
Controle da lâmina de água e melhoria na trafegabilidade	Só superficial	Arroz inundado

Fonte: Agência Nacional de Águas (2015).

O resultado ideal para um solo com excedente de água é a instalação de um sistema de drenagem suficiente. Em alguns contextos, as obras adequadas não podem ser inseridas dentro das práticas culturais, porém, em certas ocasiões, é necessária uma melhoria de drenagem superficial, que pode ser desempenhada pelo agricultor, como uma fissura de pequenos drenos ou reparações de desnível de terreno, entre outros.

Não sendo possível realizar esses trabalhos adequadamente, existem outras técnicas culturais que minimizam o resultado negativo da drenagem deficiente, como:

- Escolha apropriada de culturas.
- Prática de adubos nitrogenados sob a forma de NH_4^+ para equilibrar o menor rendimento de nitrogênio absorvido derivado da mineralização de matéria orgânica.

- Averiguar a possibilidade de diminuir a água de irrigação e equilibrar partes do déficit hídrico da cultura com água e elevação capilar, caso água do lençol freático não for salina.
- As técnicas culturais não devem ser realizadas com excesso de umidade no solo, pois esse excesso, além de danificar a sua estrutura, provoca grandes sulcos no terreno contribuindo para contenção de água na superfície.
- Aplicação da técnica da subsolagem, aperfeiçoando o estado de aeração e drenagem.

Outra questão comum em áreas com problemas de drenagem é o acúmulo de sais no solo, em muitos casos havendo a necessidade de aplicação de lâminas de lixiviação para controle e viabilidade de produção em solos salinos.

Figura 4.12 | Solo agrícola afetado por sais



Fonte: <<http://escolaeducacao.com.br/wp-content/uploads/2016/09/salinizacao-do-solo-660x300.jpg>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

Geralmente, um inconveniente de salinidade aparece no momento em que os sais compostos na irrigação se concentram no solo onde se localiza o sistema radicular das plantas e, com isso, a produção será afetada.

Outro motivo relevante que motiva a salinidade é a pequena profundidade do lençol freático com água salina. O transporte precedente de água e sais, começando da superfície freática e infiltrando no sistema radicular, gera retenção de sais depois do procedimento da evapotranspiração.

Os sais diluídos na água irrigada promoverão um crescimento da tensão total da água retida no solo, diminuindo a disponibilidade para

as plantas. Para impedir a aglomeração demasiada, estas necessitam ser reduzidas a quantidades semelhantes às que persistem na água irrigada, de tal maneira a conduzir uma estabilidade salina.

Para tal procedimento, deverá ser posta uma quantidade conveniente de água que conceda uma absorção através da profundidade efetiva do sistema radicular, ou seja, um processo de lixiviação. Essa técnica poderá ser guiada em cada irrigação, porém é indispensável no momento em que o acúmulo de sais no solo provocar perdas à cultura. Em algumas ocasiões, as chuvas, mesmo que aglomeradas em pequenas épocas do ano podem satisfazer essa função.

A utilidade de lixiviação é determinada pela quantidade de água que infiltra no solo além da altura efetiva do sistema radicular. Essa água de lixiviação necessitará ser suprimida pela técnica de drenagem.

Por meio da lixiviação se obtém uma estabilidade salina definitiva; a salinidade média do solo na zona radicular estará totalmente associada com a qualidade da água de irrigação que foi aplicada e da água da lixiviação.

Além de afetar os solos, há também a ocorrência de efeitos da salinidade do solo sobre o rendimento das culturas. Uma planta em fase de desenvolvimento tem uma necessidade substancial de água para a sua produtividade ótima. Essa necessidade é a evapotranspiração potencial da cultura. Para diferentes cultivos e fases de crescimento, a evapotranspiração está correlacionada com as condições atmosféricas da região locais, porém poderá ser alterada pela salinidade e, assim, pela quantidade acessível de água no solo.

A salinidade tem impacto imediato nas culturas, a disponibilidade de água no solo diminui com o aumento da salinidade, diminuição denominada como efeito osmótico. Isto é, toda a capacidade da água no solo aumenta de acordo com o crescimento da pressão osmótica.

Resumindo, a cultura terá que oferecer mais energia para infiltrar mais água de uma dissolução salina, além de superar a capacidade de água do solo em condições normais e a potencialidade osmótica correspondente aos sais. A finalidade ao definir uma técnica de cultivo para resolver um inconveniente de salinidade é aperfeiçoar a disponibilidade de água para as plantações. O produtor poderá seguir métodos para diminuir os contratempos de salinidade que poderão aparecer, se a água dispuser de condutividade elétrica alta.

Os métodos mais comuns são:

- Irrigação frequente.
- Plantação de muda com boa adaptabilidade à salinidade.
- Uso de técnicas de irrigação para obtenção de um alto controle da salinidade.
- Instalação de um sistema de drenagem artificial.
- Aplanação da área para a execução de água mais regular possível.
- Aplicação de água para complementar a carência de lixiviação de sais.



Refleta

Algumas culturas apresentam boa adaptabilidade à salinidade. A tabela a seguir mostra o limite de tolerância de algumas culturas.

Tabela 4.1 | Valores de salinidade limiar para algumas culturas

Cultura	$CE_{es} (dS \cdot m^{-1})$	Cultura	$CE_{es} (dS \cdot m^{-1})$
Abacate	1,3	Feijão Fava	1,6
Abobrinha	3,2	Laranja	1,7
Alface	1,3	Limão	1,7
Algodão	7,7	Melão	2,2
Amendoim	3,2	Milho	1,7
Arroz	3,0	Morango	1,0
Batata	1,7	Nabo	0,9
Batata doce	1,5	Pimentão	1,5
Beterraba	4,0	Rabanete	1,2
Brócolis	2,8	Repolho	1,8
Cana-de-Açúcar	1,7	Soja	5,0
Cebola	1,2	Sorgo	4,0
Cenoura	1,0	Tomate	2,5
Couve-flor	2,5	Pepino	2,5
Espinafre	2,0	Vagem	1,5
Feijão	1,0	Uva	1,5

Fonte: Ayers e Westcot (1991) apud Duarte et al. (2015).

Como avaliar a relação da cultura que melhor se adapta às condições, de maneira que o produtor possa utilizar a área agrícola para obter melhor produtividade possível?

Caso aconteça o acúmulo de sais no solo é possível executar a recuperação de solos afetados por sais. O solo transforma-se em salino através da irrigação no momento em que se apresenta o problema de drenagem interna, e encontra-se em localidade na qual condições atmosféricas são benéficas à melhoria do sistema. Para restabelecer um solo salino, é preciso construir um processo apropriado de drenagem subterrânea e limpá-lo com a irrigação, ou permitir que se desgaste espontaneamente pela limpeza ocasionada com as águas das chuvas. Ao proceder a irrigação deverá ser posta uma lâmina de água satisfatória para a deficiência da cultura, incorporada da lâmina de lixiviação.

A lâmina de lixiviação para verificação de sais desempenha a parcela da água de irrigação que deve permear as raízes. Essa parcela de água de irrigação a ser lixiviada vai operar a partir do seu padrão de salinidade e da flexibilidade das culturas cultivadas.

Pode-se determinar a parcela de lixiviação como uma relação entre a lâmina de água drenada (L_d) e a lâmina de água de irrigação aplicada (L_i), podendo ser adquirida também pela relação entre a condutividade elétrica da água de drenagem (CE_d) e a condutividade elétrica da água de irrigação (CE_i):

$$L_d \times CE_d = L_i \times CE_i$$

$$FL = \frac{L_d}{L_i} = \frac{CE_i}{CE_d} \times 100$$

Outra equação que contempla outros fatores pode ser aferida pela lâmina de lixiviação. Neste caso, a água deverá ser utilizada de maneira fracionada, contudo a lâmina de cada fração deve ser satisfatória para motivar o deslocamento dos sais, em geral no mínimo de 30 a 50 *mm*. O cálculo é feito pela fórmula:

$$L = 10 \times h \times FC \times \frac{(CE_{es} - CE_{ai})}{(CE_{des} - CE_{ai})}$$

Onde:

L - Lâmina de lixiviação (mm).

h - Espessura da camada de solo a ser recuperado (cm).

CE_{es} - Condutividade elétrica do extrato de saturação ($dS \cdot m^{-1}$).

CE_{ai} - Condutividade elétrica da água de irrigação ($dS \cdot m^{-1}$).

CE_{des} - Condutividade elétrica desejada para o extrato de saturação ($dS \cdot m^{-1}$) e

FC - o fator de correção igual a 0,1.

Caso a lâmina de lixiviação seja utilizada de uma só vez, o valor de FC deverá ser 0,4. O diferencial determinado pela aplicação da lâmina de lixiviação, fracionada ou de uma só vez, é originado do fato de que colocações fracionadas, com 24 horas entre aplicações, possibilita que os sais existentes nos microporos possam deslocar-se por difusão química e ser limpos mais naturalmente na próxima fração aplicada.



Pesquise mais

Durante esta seção estudamos como o lençol freático pode influenciar na produtividade das culturas. Para aperfeiçoar seus conhecimentos sobre o assunto, você deverá ler o artigo indicado a seguir para entender melhor a influência da condutividade hidráulica do solo saturado na altura do lençol freático, no espaçamento de drenos e na produtividade do milho:

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Influência da condutividade hidráulica na altura do lençol freático, espaçamento de drenos e na produtividade do milho. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 3, p. 35-41, set./dez. 2003. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6466/4200>>. Acesso em: 13 abr. 2018.

Manter uma produtividade satisfatória das culturas em áreas com excesso de umidade depende de uma drenagem adequada devido aos riscos acelerados de encharcamento e concentração de sais na zona radicular efetiva das culturas, quando acima dos limites tolerados. A drenagem agrícola é uma técnica que visa à otimização das condições do ambiente onde se desenvolve as culturas e dessa forma reduz os riscos de produção. Para assegurar um sistema de drenagem eficiente é importante a realização de diagnósticos

da situação do lençol freático, de modo a se elaborar projetos considerando as condições locais de solo-água-clima e planta.

Sem medo de errar

Caro aluno, com base no que foi estudado nessa seção e no que foi observado ao visitar a área, houve a percepção de variação em algumas características do solo em pequenas distâncias, uma mudança brusca na estrutura deste, com aumento da compactação, redução da quantidade de matéria orgânica, aparecimento de rachaduras, maior permeabilidade, sendo possível sentir com o tato que solo da área tem maior predominância de argila e silte e apresenta temperaturas mais baixas quando comparado a solos próximos. Verifica-se que há uma série de fatores indicadores de um problema de drenagem na área de plantio, que vem afetando as características físicas e químicas do solo.

Com relação à observação das plantas da área, o produtor tem um plantio diversificado com milho, feijão, soja e sorgo, e com relação à observação das plantas da área, está ocorrendo definhamento, amarelecimento e queda de algumas folhas, e um alto índice de tombamento das plantas de milho e feijão. Além dos problemas na estrutura física e química no solo, o excesso de água vem causando salinização do solo, o que ocasiona perdas na produtividade da área e alterações morfológicas e fisiológicas das plantas. Por se tratar de culturas menos tolerantes, os problemas ocorrem com maior severidade nas culturas do milho e feijão.

Dessa forma, após a identificação de possíveis problemas de drenagem e salinidade na área, você deverá recomendar a recuperação dos solos ao produtor, de maneira que diferentes técnicas poderão ser utilizadas para recuperar os solos afetados por sais, dentre as quais duas são consideradas fundamentais: o carreamento dos sais e a aplicação de produtos químicos como o gesso, por atuarem diretamente na redução ou correção dos problemas de salinidade e/ou sodicidade. Existem também técnicas auxiliares, como: aração profunda, subsolagem, sistematização e nivelamento, lavras superficiais, misturas com areia, inversão de perfis, aplicação de resíduos orgânicos e cultivos de elevada evapotranspiração, que exercem a função não exatamente de

recuperar, mas de atuar sobre algumas propriedades dos solos, o que torna as técnicas fundamentais de recuperação mais eficientes.

Raramente se consegue a recuperação dos solos afetados por sais utilizando-se um método isoladamente. A eficiência torna-se mais expressiva combinando-se duas ou mais técnicas simultaneamente. A técnica utilizada na recuperação desses solos preconiza a necessidade de um diagnóstico referente aos atributos químicos e físicos, uma vez que as causas da salinização e sodificação, nas áreas irrigadas, tornam-se mais agressivas em função da natureza textural e densidade dos solos. Neste sentido, o estudo da drenabilidade do solo constitui prática indispensável antes de se iniciar os trabalhos de recuperação.

Avançando na prática

Práticas agrícolas em solos mal drenados

Descrição da situação-problema

Um agricultor familiar dispõe de uma pequena área às margens de um rio, que durante o período de cheia é facilmente inundável. Como ele é um pequeno agricultor e a área da propriedade total é de 20 ha, ele pretende utilizar ao máximo a área total da sua propriedade. A primeira medida tomada pelo agricultor foi realizar uma análise da água do rio para saber sobre a qualidade da água e se seria possível utilizá-la para irrigação. Com base no resultado, foi constatado que a água apresenta grande quantidade de sais diluídos. Ele tem pouca experiência e não sabe qual cultura utilizar para essas condições.

Você, enquanto profissional capacitado para realizar o planejamento de plantios, deverá recomendar ao produtor quais técnicas são as mais apropriadas para se produzir nessas condições. Dessa forma, quais plantas tolerantes à salinidade da água o produtor poderá adotar? Quais práticas o produtor poderá adotar para que não ocorra salinização do solo? Quais os efeitos da drenagem deficiente para o solo e para as plantas? Quais práticas agrícolas deverão ser adotadas no solo mal drenado? Haverá necessidade de lixiviação? Você deverá auxiliar o produtor

a responder esses questionamentos e proporcionar a melhor utilização da área da propriedade.

Resolução da situação-problema

Com base nas informações da situação problema, você enquanto profissional capacitado, deverá recomendar ao produtor a utilização de plantas que tolerem a salinidade da água e, conseqüentemente, do solo, dentre as quais: algodão, soja, beterraba, sorgo, abobrinha amendoim ou arroz. Para evitar a salinidade do solo você deverá recomendar ao produtor, para que possa alcançar resultados promissores, a implantação de um sistema apropriado de drenagem subterrânea e aplicação de lâminas de lixiviação, ou aguardar a recuperação natural dos solos pelo carreamento dos sais causado pelas águas das chuvas, de modo que a contaminação do solo na região radicular atinja níveis de salinidade do solo em níveis aceitáveis sem riscos para as culturas.

O produtor deverá adotar as seguintes práticas complementares: irrigar frequentemente; usar técnicas de irrigação que resultem em um alto controle da salinidade; aplanar a área para que a execução de água seja o mais regular possível; aplicar água para complementar a carência de lixiviação de sais. Outra medida que deverá ser adotada é a aplicação de gesso para controlar a alcalinidade do solo.

É fundamental que o produtor monitore constantemente os níveis de sais do solo. É importante, ainda, avaliar a concentração eletrolítica da solução do solo, o seu pH, os cátions e ânions solúveis, a capacidade de troca catiônica, os cátions presentes em forma trocável e a proporção do sódio em relação aos demais cátions, a fim de evitar que os altos níveis de sais solúveis na solução do solo afetem o crescimento, a expansão da superfície foliar e o metabolismo do carbono primário de muitas culturas que são afetados negativamente pelo efeito osmótico, déficit hídrico, toxicidade de íons e desequilíbrio nutricional, causando restrição severa nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas, pois limitam a produção agrícola e reduzem a produtividade das culturas a níveis antieconômicos.

Faça valer a pena

1. O processo constante de salinização dos solos é um problema crescente nas áreas agrícolas de todo mundo. Estima-se que de 1 a 5 bilhões de hectares de solos pelo mundo são afetados por sais, dentre os quais a grande maioria se encontra em solos de plantios irrigados afetados pelo excesso de sais diluídos na água de irrigação.

Através da leitura do texto-base, assinale a alternativa que corresponde a propriedades físicas do solo que são afetadas pelo excesso de sais.

- a) Estrutura do solo, maior estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração.
- b) Estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, distúrbios fisiológicos nas plantas, permeabilidade e infiltração.
- c) Aumento do teor de argila, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração.
- d) Estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração.
- e) Estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e teor de nitrogênio.

2. O excesso de umidade durante todo o ano ou no período das chuvas ocasiona redução da intensidade do processo de aeração do solo, problemas para o trânsito de máquinas e o uso de implementos não adaptados, acúmulo de sais na zona radicular devido à irrigação com água salina em regiões semiáridas. Além dessas alterações, o excesso de umidade causa alterações na estrutura física do solo.

Assinale a alternativa verdadeira que corresponde à alteração física do solo afetado pelo excesso de umidade.

- a) Permeabilidade: é o artifício utilizado pelos gases esgotados ou produzidos no interior das camadas do solo, que são trocados simultaneamente pelos gases da atmosfera externa, sendo assim um método ativo.
- b) Aeração do solo: em plantios drenados, a alteração da água no solo causa rachaduras, raízes mais profundas, assim como melhoria na atividade dos componentes microbianos do solo.
- c) Textura: solos com problemas de drenagem podem ter sua estrutura alterada em razão de salinização, compactação consequente do trânsito de máquinas e baixa densidade de raízes.

d) Temperatura do solo: é o artifício utilizado pelos gases esgotados ou produzidos no interior das camadas do solo; são trocados simultaneamente pelos gases da atmosfera externa, sendo assim um método ativo.

e) Textura: existe uma tendência de áreas com problemas de drenagem apresentarem predominância de silte e argila em razão da intensa deposição destas partículas nas estações chuvosas.

3. A prática mais adequada para um solo com umidade excessiva é a instalação de um sistema de drenagem. Na maioria das vezes, estas práticas podem não se adequar ao manejo das culturas adotado, porém em muitos casos uma adaptação ou melhora na drenagem superficial, que pode ser feita inteiramente pelo produtor, como por exemplo, a abertura de pequenos drenos, ou o nivelamento do solo retirando a depressão do terreno pode resolver a questão.

Após a leitura do texto base, assinale a alternativa que corresponde corretamente a uma prática agrícola utilizada em solos mal drenados:

a) Seleção adequada de culturas, ou seja, culturas que não toleram o excesso de umidade.

b) Para compensar a menor produção de nitrogênio assimilável procedente da mineralização de matéria orgânica utiliza-se adubos nitrogenados sob a forma de NO_3^- .

c) Redução da aplicação de água de irrigação e compensação de parte das necessidades hídricas da cultura com água de ascensão capilar, em caso de água do lençol freático não salina.

d) As práticas culturais devem ser executadas com uma umidade excessiva do solo, pois o uso de máquinas não causa deterioração da estrutura do solo.

e) Não se recomenda a utilização da prática da subsolagem, pois prejudica as condições de aeração do solo bem como a drenagem.

Seção 4.3

Drenagem subterrânea e drenagem superficial

Diálogo aberto

Para finalizar os assuntos referentes à quarta unidade da disciplina Irrigação e Drenagem, iremos estudar os sistemas de drenagem subterrânea e superficial. Os sistemas de drenagem superficiais utilizam basicamente drenos abertos, tendo por objetivo básico captar a água acumulada sobre o terreno, enquanto que a drenagem subterrânea utiliza basicamente os drenos tubulares, que têm por intuito captar a água de percolação presente no perfil do solo, sendo mais utilizada para controle da salinização.

Para ambos os sistemas, é necessário que se conheça o comportamento dos aquíferos e do lençol freático sob a área em que se pretende adotar um sistema de irrigação, a fim de otimizar a produção agrícola. Para tanto é importante entender conceitos como água freática e lençol freático e carga hidrostática, além de conhecer equipamentos e técnicas como piezômetros e poços de observação do lençol freático.

Para dar continuidade a esta seção, iniciaremos dando continuidade ao contexto de aprendizagem, através da situação-problema, partindo da seguinte situação hipotética: agora que uma série de observações foram feitas e tudo indica que haja realmente problemas de drenagem na área e você usou seu raciocínio crítico para levantar alguns dados importantes, chegou a hora de exercer sua liderança e habilidade de resolução de problemas.

Você, enquanto profissional capacitado para orientar o produtor, sabe que para galgar êxito em um projeto de drenagem do solo, deverá determinar um diagnóstico preciso do problema existente. Na maioria das vezes os problemas complexos exigem estudos mais detalhados do que apenas investigações preliminares superficiais, que já foram feitas anteriormente a fim de determinar a fonte de excesso de água. Há excesso de umidade na camada do solo onde se cresce o sistema radicular das plantas, por meio do rebaixamento do lençol freático. Apesar de haver um sistema de

drenagem na área, ele não está sendo suficiente para a alteração no regime hídrico da descarga da água subterrânea, e o sistema de drenagem não tem facilitado a saída de água que se encontra em excesso no solo. O rebaixamento que ocorre no solo vem tornando as camadas drenadas mais espessas. O movimento de água no solo, representado pela condutividade hidráulica, está prejudicado pelas alterações dos atributos físicos do solo, como textura e estrutura. O lençol freático tem-se apresentado próximo a zona radicular.

Problemas complexos exigem estudos mais detalhados, que objetivam determinar a fonte que está causando o excesso de água subterrânea, de que forma atinge a área, qual a direção predominante de seu deslocamento por meio do solo e as regiões de recarga e saída de área.

Dessa forma, quais investigações devem ser feitas a fim de caracterizar o problema existente? Como chegar a um diagnóstico do problema de drenagem? É importante estudar a hidrologia subterrânea e os parâmetros hidrodinâmicos do solo? Qual o sistema de drenagem mais recomendado para ajudar o produtor? Quais os passos que devem ser adotados para a realização de pesquisas sobre esses sistemas?

Bom estudo!

Não pode faltar

O conhecimento da água subterrânea realizado através da análise das propriedades físicas do solo, estabelece a descrição das dificuldades de drenagem. Entre os fundamentais parâmetros hidrodinâmicos do solo, com importância para o dimensionamento da técnica de drenagem, ressaltam-se a condutividade hidráulica do solo e a porosidade drenável.



Assimile

A condutividade hidráulica representa a capacidade que um determinado solo tem de conduzir água ao longo do perfil. É uma de suas propriedades físicas com maior relevância para o planejamento de projetos de drenagem, podendo ser determinada abaixo ou acima do lençol freático.

Se o espaço entre a profundidade do poço e a faixa de impedimento for superior à metade do espaço entre o nível do lençol freático e a profundidade do poço, utilizamos a fórmula:

$$K_0(m \cdot dia^{-1}) = \frac{4000 \times r^2}{(H + 20 \times r) \times \left(2 - \frac{y}{H}\right) \times y} \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Se a profundidade do poço estiver sobre a faixa de impedimento, utilizamos a fórmula:

$$K_0(m \cdot dia^{-1}) = \frac{3600 \times r^2}{(H + 10 \times r) \times \left(2 - \frac{y}{H}\right) \times y} \times \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

Onde:

K_0 - Condutividade hidráulica do solo saturado.

H - Profundidade do poço, abaixo do nível freático.

y - Distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo Δt .

r - Raio do poço.

Δy - Intervalo de altura no tempo Δt .

Δt - Intervalo de tempo entre duas leituras.



Refleta

Após a instalação de um poço de observação e o acompanhamento do perfil do lençol freático de uma área agrícola, você diagnosticou um problema de drenagem na área. Qual é o próximo passo a ser tomado? Quais são as técnicas a serem adotadas para eliminar o excesso de água na área decorrente de água do lençol freático?

O permeâmetro de carga constante é usado para avaliação da condutividade hidráulica em solos arenosos. Posiciona-se uma carga hidráulica variável por cima de uma faixa de solo, determinando o tempo e a alteração da carga. O cálculo da condutividade hidráulica é realizado por meio da fórmula:

$$K_0 = \frac{V_A \times L}{A \times (h + L)}$$

Onde:

V_A - Volume de água percolada no espaço de tempo.

A - Área da secção transversal da amostra.

L - Comprimento da amostra.

h - Carga hidráulica na extremidade da amostra.

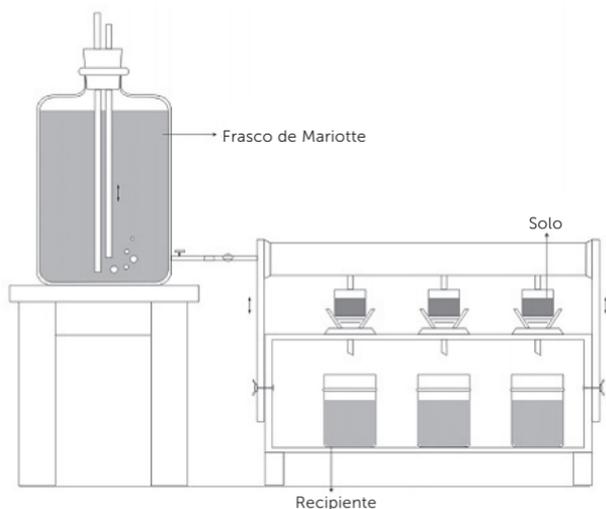


Exemplificando

A Figura 4.14 a seguir mostra o esquema de um permeâmetro de carga constante, utilizando-se um frasco de Mariotte para manter a carga hidráulica constante:

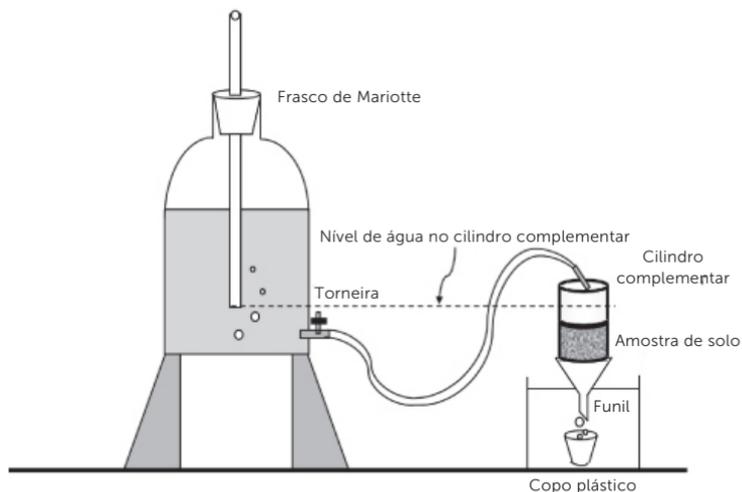
1. Cobrir uma das extremidades da amostra com uma peça circular de pano presa no local com elástico.
2. Conectar um cilindro vazio adicional na outra extremidade por meio de uma fita adesiva à prova d'água.
3. Colocar a amostra com esta parte coberta para baixo numa bandeja com água, de maneira que o nível de água na bandeja fique um pouquinho abaixo do topo da amostra.
4. Deixar assim por um período de 24 horas ou mais, até que a amostra se torne completamente saturada.
5. Colocar uma rodela de papel de filtro no topo da amostra e, vagarosamente, colocar água no cilindro superior até 3/4 de seu volume.
6. Rapidamente, transferir a amostra para um suporte e ativar o frasco de Mariotte. (COSTA, 2008, p. 27).

Figura 4.14 | Desenho esquemático do módulo do permeâmetro de carga constante utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado



Fonte: <<https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/38-2/BODY/v38n2a02.html>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

Figura 4.15 | Desenho esquemático do permeâmetro de carga constante para uma amostra utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado



Fonte: <<https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/38-2/BODY/v38n2a02.html>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

Normalmente solos arenosos têm pouca porosidade, mesmo seus poros sendo maiores. A porosidade total desempenha uma importância sobre o acúmulo de água no solo, aeração e fixação de raízes das plantas. A porosidade drenável define os poros do solo que não obtêm acúmulo de água em objeção à intensidade da gravidade. A desproporção entre a porosidade total e a porosidade ocupada totalmente com água da mesma maneira após a drenagem é calculada por meio da fórmula:

$$\mu_d = P - \theta_d$$

Onde:

μ_d – Porosidade drenável.

P – Porosidade total.

θ_d – Umidade impedida pelo solo após drenagem.

Na incapacidade de calcular a porosidade drenável, Van Beers propõe avaliar segundo a condutividade hidráulica do solo saturado, de acordo com a fórmula:

$$\mu_d(\%) = \sqrt{K_0(\text{cm. dia}^{-1})}$$

Para a formação de um projeto de drenagem são indispensáveis algumas averiguações com a finalidade de identificar as complicações presente, o que possibilita sucessivamente dimensionar e situar o processo apropriado à reabilitação e ao levantamento da área. Essa análise contém o levantamento topográfico, as propriedades físicas do solo, as análises hidrológicas quanto a precipitações excessivas e sua previsão, o escoamento superficial, a gestão dos cursos d'água, a fisiologia vegetal e a preparação do uso da terra. O êxito da drenagem artificial do solo sujeita-se à identificação correta do problema presente.

A altura do lençol freático varia frequentemente, resultante da infiltração do excedente de água precipitada e irrigada e do fluxo descendente de absorção de canais e encostas. Em áreas de clima úmido e subúmido, as superfícies de regiões baixas mostram-se saturadas no decorrer do tempo chuvoso, correspondente às constantes chuvas na região e às inundações dos rios e dos fluxos de água superficiais e subterrâneos. Em solos irrigados, o lençol freático obtém relevantes cargas de água provenientes de irrigação oriunda de infiltrações durante o desenvolvimento das plantações.

A análise da alteração da altura do lençol freático é essencial. Em áreas úmidas, esta supervisão é fundamental para identificar adversidades de aeração na zona radicular. Nas regiões semiáridas e áridas, o levantamento do lençol freático ocasiona adversidades de aeração na superfície, sendo capaz de provocar adversidades como salinização do solo na região. Para essa análise podem ser usados poços de análise, instituídos em inúmeros lugares da região para diagnóstico de problemas de drenagem na área, e a definição da conduta do lençol freático mediante as curvas de níveis, instituindo uma averiguação para a instalação do sistema de drenagem adequado.

A hidrologia analisa, identifica e classifica os cursos hídricos. Na identificação hidrológica, os pontos naturais de maior relevância são as chuvas, o fluxo de água na superfície e as normas dos cursos d'água. De toda a água da chuva ou da irrigação que cai sobre a região, parte é absorvida. Se a superfície comporta uma taxa de umidade baixa, a água absorvida é represada por uma parte da camada de solo, não liberando o remanejamento da água de uma altura maior, até que o nível de camada superior do solo alcance a capacidade de campo.

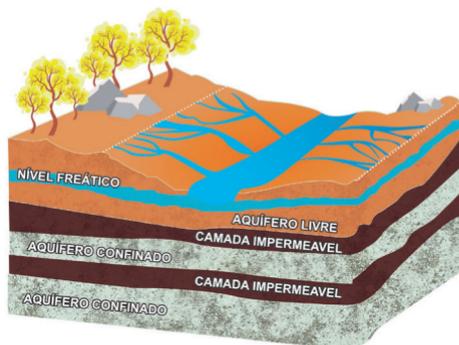
Diante disso, uns acontecimentos de resultados diferentes surgiram: com o solo úmido, minimizam-se a transpiração e a evaporação, que, ao contrário, com precipitação de chuva ou irrigação, aumentam. Se a lâmina d'água for maior que a evapotranspiração, o excedente se movimenta em uma altura maior, possibilitando equiparar o teor de umidade com a capacidade de campo. A lâmina d'água infiltrada poderá atingir uma camada impermeável ou pouco impermeável, se a aceleração da água for menor nas camadas superiores. Nessas circunstâncias, a superfície localizada acima da camada impermeável afeta a capacidade de campo e satura com novas chuvas ou irrigações. Se ocorrer sucessivamente entrada de água na superfície, a área saturada aumentará, sendo capaz de surgir na superfície do solo.

Esses estratos se compatibilizam e se formam aquíferos, que se classificam como:

- Não confinados: é a parcela saturada de um estrato permeável que se localiza abaixo de um estrato impermeável, formando o inferior de um aquífero, e o seu superior é a superfície piezométrica.

- Confinados: é o estrato permeável saturado e localizado entre dois estratos impermeáveis e se encontra abaixo do lençol freático e acima da zona saturada.
- Semiconfinado: é o estrato permeável saturado protegido pelo estrato semipermeável.

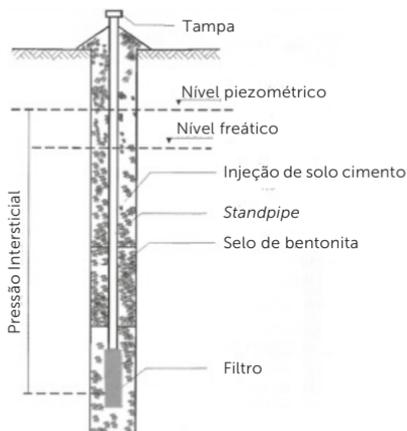
Figura 4.16 | Tipos de aquíferos



Fonte: Borghetti et al. (2004, p. 82).

A análise da altura do lençol freático é realizada através de um poço simples, com um trado. Depois do furo do poço, é essencial aguardar a fundação da água do seu interior para que seja realizada a leitura. A definição de carga hidrostática se resume à construção do piezômetro.

Figura 4.17 | Esquema de um piezômetro



Fonte: <<https://pt.linkedin.com/pulse/instrumentação-geotécnica-em-barragens-de-terra-e-santos-coelho>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

Os piezômetros são tubos normalmente de PVC com as margens perfuradas, e são recomendadas pelo seu custo baixo. São postos no solo onde a parte perfurada se encontra no estrato que se deseja medir a carga hidrostática. Após a fixação do piezômetro é aguardada a consolidação do nível de água no seu interior, no qual chamamos de carga piezométrica. Com os dados do poço de observação ou dos piezômetros, são elaborados os mapas freáticos, que são classificados como:

- Mapa de isohypsas: curvas com cargas hidrostáticas uniformes. Para executá-las, inicia-se de um plano topográfico onde localizam os piezômetros, descrevendo em cada aspecto a carga hidrostática equivalente em cada ponto que se quer analisar. Seguidamente, criam-se as curvas de nível.

Figura 4.18 | Mapa de isohypsas

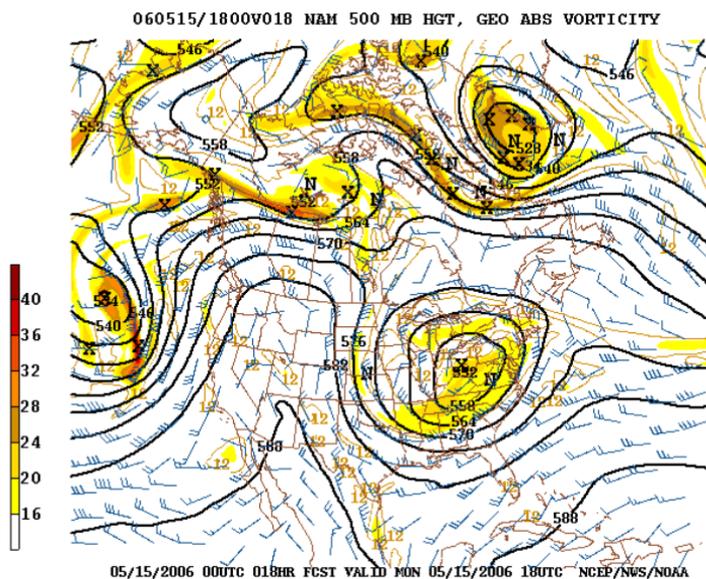
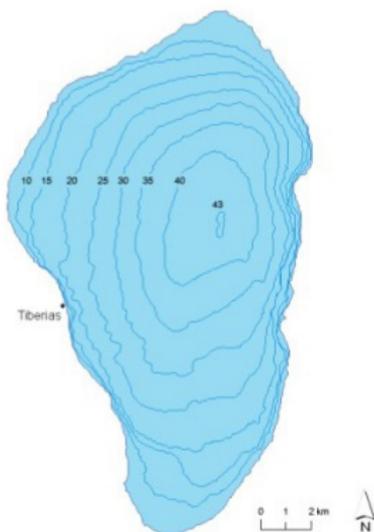


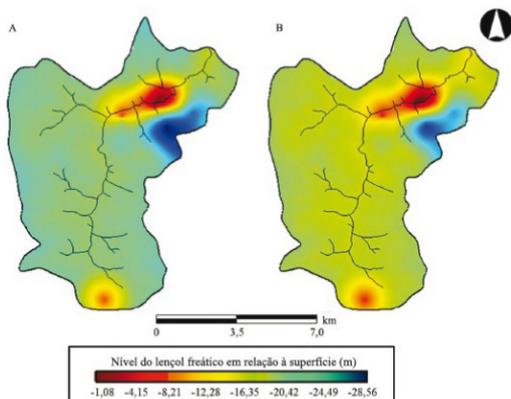
Figura 4.19 | Mapa de isóbatas



Fonte: <<http://www.wikiwand.com/es/Is%C3%B3bata>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

- Mapa de variação de nível: é elaborado através dos mapas das isohypsas ou de isóbatas. Para que isso ocorra, é necessário aplicar os mapas em duas fases divergentes. No cruzamento entre as curvas de níveis, serão descritas as alterações e, seguidamente, juntando as partes da mesma alteração através de uma curva.

Figura 4.20 | Mapa de variação de nível



Fonte: <<http://www.scielo.br/img/revistas/pab/v47n9/a22fig03.jpg>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

A drenagem subterrânea consiste na técnica que visa retirar o excesso de água do perfil do solo, rebaixando o lençol freático através da retirada de água gravitacional que fica armazenada nos macroporos do solo. O objeto principal é propiciar melhores condições para o desenvolvimento radicular das raízes das plantas cultivadas.

Os principais componentes do sistema de drenagem subterrânea são as estruturas de proteção, que podem ser drenos de cintura, que são responsáveis pela captação da água superficial e subterrânea proveniente de áreas vizinhas, e drenos de pé, que captam a água superficial e subterrânea proveniente das encostas. Dando continuidade ao sistema de drenagem subterrânea, tem-se a estrutura de saída, que é a parte responsável pela retirada da água drenada da área. Estas estruturas estão ligadas a uma rede principal composta pelos drenos coletores e principais, que têm como funções fundamentais a captação e a condução da água proveniente do dreno de campo e a captação e condução da água proveniente do dreno coletor até a estrutura de saída, respectivamente. Finalizando os componentes do sistema de drenagem subterrânea, tem-se a estrutura de campo, que é o dreno responsável pelo rebaixamento do lençol freático.

Esses drenos, citados anteriormente, podem ser classificados em fechados e abertos. A escolha do tipo de dreno varia de situação, capital, mão-de-obra disponível e necessidade. Os drenos fechados (Figura 4.21) apresentam como vantagens a economia de área, a facilidade no trânsito de máquinas e o custo de manutenção mais baixo, enquanto que o maior custo de implantação é a principal desvantagem.

Figura 4.21 | Os drenos fechados



Fonte: <https://imagens.mfrural.com.br/mfrural-produtos-us/196882-209615-1083588-tubo-dreno-corrugado_p.jpg>. Acesso em: 26 dez. 2017.

Já os drenos abertos (Figura 4.22), também chamados de valetas, possuem menor custo de implantação e realizam drenagem superficial e subterrânea, porém acarretam perda de área, dificultam o trânsito de máquinas e têm alto custo de manutenção.

Figura 4.22 | Os drenos abertos.



Fonte: <<http://www.geraldojose.com.br/ckfinder/userfiles/images/drenagemfulgencio.jpg>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

Para determinar a profundidade dos drenos (Tabela 4.2), é importante considerar alguns fatores como presença de barreiras, máquina de escavação e também a cota de saída. Geralmente, a profundidade do dreno fica entre 0,8 e 2 m, e o lençol freático deve chegar ao máximo a 30 cm das raízes.

Tabela 4.2 | Valores indicativos de profundidade e espaçamento de drenos

Tipo de solo	Condutividade hidráulica ($mm \cdot dia^{-1}$)	Espaçamento (m)	Profundidade (m)
Textura fina	<1,5	10 a 20	1,0 a 1,5
Textura média	1,5 a 5,0	15 a 25	1,0 a 1,5
	5,0 a 20,0	20 a 35	1,0 a 1,5
	20,0 a 65,0	30 a 40	1,0 a 1,5
Textura grossa	65,0 a 125,0	30 a 70	1,0 a 2,0

Fonte: Mello (2008, p. 54).

Além da drenagem subsuperficial, é possível que ela seja realizada na superfície do solo. Sabe-se que uma parcela da lâmina de irrigação ou água da chuva poderá não infiltrar no solo, causando escoamento superficial. Nesses casos é ideal que a água escoe e chegue até um canal que deverá eliminar da área de exploração agrícola. Se essa água não for eliminada, ocorrerão encharcamentos no solo, e conseqüentemente uma série de problemas relacionados com excesso de umidade do solo.

A drenagem natural da água superficial poderá ser aperfeiçoada através da adoção de práticas de manejo de água e solo como a sistematização do terreno e construção de uma rede de drenagem. Estas técnicas, que deverão se complementar, caracterizam-se de formas distintas, dependendo das características da área agrícola e se ela é ou não irrigada. Dessa maneira, duas formas de drenagem superficial poderão ser adotadas, ou seja, drenagem para retirada do excesso de água da chuva e drenagem em áreas com problemas de excesso de umidade. Dentre as áreas agrícolas, os terrenos baixos e as áreas de várzea, são principalmente o foco quando se trata de áreas com problemas de drenagem. Essas áreas, devido a suas características topográficas, sofrem a influência de várias formas de água, sendo de pequenos cursos d'águas, escoamento superficial decorrentes de áreas mais elevadas e decorrentes de inundações de rios que cercam essas áreas, valendo ressaltar que essas obras que controlam inundações causadas por águas fluviais são as que têm maior custo de implantação.

A principal forma de conter as águas provenientes de escoamento superficial de terrenos elevados, pequenas nascentes e a drenagem desses terrenos são os chamados drenos de encosta ou drenos de contornos. Já para as áreas agrícolas que estão localizadas próximas a rios de grandes vazões, que têm como característica causar a inundação durante a época de chuvas, a recomendação é a construção de diques (Figura 4.23). Porém, essas obras deverão ser analisadas criteriosamente por se tratarem de construções com custo elevado.

Figura 4.23 | Dique



Fonte: <<https://media1.britannica.com/eb-media/05/194205-050-9988334C.jpg>>. Acesso em: 26 dez. 2017.

A quantificação da vazão a ser escoada, em decorrência das chuvas em uma determinada área agrícola é muito importante para o dimensionamento dos canais coletores. Dentre as equações para a vazão, a mais utilizada é a equação racional. Esta equação estima a máxima vazão a ser escoada em uma determinada área que está sujeita a uma intensidade de precipitação fora do padrão normal de chuvas local, conhecido como evento atípico.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Q - Vazão máxima de escoamento ($m^3 \cdot s^{-1}$).

C - Coeficiente de escoamento.

A - Área de contribuição (**ha**).

i - Intensidade máxima de chuva ($m^3 \cdot h^{-1}$).



Pesquise mais

O tempo de concentração da bacia hidrográfica é utilizado para estimar as vazões máximas nos projetos hidrológicos. O conhecimento do comportamento da bacia, com relação ao tempo de concentração, auxilia na prevenção e minimização das consequências de desastres naturais. Esse fator é extremamente importante no dimensionamento de sistemas de drenagem superficial. Para complementar os seus conhecimentos sobre o assunto, recomenda-se a leitura do artigo a seguir:

ALMEIDA, I. K. et al. Estimativa de tempo de concentração em bacia hidrográfica. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271587647_estimativa_de_tempo_de_concentracao_em_bacia_hidrografica>. Acesso em: 26 dez. 2017

Sem medo de errar

Sabe-se que o sucesso da drenagem artificial do solo depende do diagnóstico correto do problema existente e que muitas vezes problemas complexos exigem estudos mais detalhados do que investigações preliminares superficiais a fim de determinar a fonte de excesso de água subterrânea, como ela atinge a área, qual a direção predominante de seu deslocamento através do solo, enfim as regiões de recarga e saída de área.

Dessa forma, quais investigações devem ser feitas a fim de caracterizar o problema existente? Como chegar a um diagnóstico do problema de drenagem? É importante estudar a hidrologia subterrânea e os parâmetros hidrodinâmicos do solo? Qual o sistema de drenagem mais recomendado para ajudar o produtor? Quais os passos que devem ser adotados para realização de pesquisas sobre esses sistemas?

Com base nas informações observadas na situação-problema, foi possível constatar que há excesso de umidade na camada do solo onde se desenvolve o sistema radicular das plantas, por meio do rebaixamento do lençol freático. Apesar de haver um sistema de drenagem na área, ele não está sendo suficiente para a alteração no regime hídrico da descarga da água subterrânea, e o sistema de drenagem não tem facilitado a saída de água que se encontra em excesso no solo. O rebaixamento que ocorre no solo vem tornando as camadas drenadas mais espessas.

O movimento de água no solo, representado pela condutividade hidráulica, está prejudicado pelas alterações dos atributos físicos do solo, como textura e estrutura. O lençol freático tem-se apresentado próximo à zona radicular. Você deverá orientar o produtor que essa área onde estão ocorrendo os problemas de drenagem natural,

devido à sua situação topográfica, recebe todas as formas de água – quer de pequenos cursos d'água que as percorrem, escoamentos superficiais procedentes de terrenos elevados, drenagem subterrânea dessas áreas – e, em casos que não são raros, recebe inundações de rios que a margeiam (MELLO, 2009). Além disso, vale ressaltar que é de extrema importância que você informe ao produtor que as obras de controle de inundações ocasionadas por rios são as que apresentam o maior custo de implantação.

Para a preparação de um projeto de drenagem são imprescindíveis certas averiguações a fim de identificar as causas existentes, o que permitirá em seguida dimensionar e adotar o sistema mais apropriado à recuperação e ao uso da área. Essas observações deverão incluir estudo topográfico, determinação dos atributos físicos do solo, previsão de eventos hidrológicos quanto a precipitações intensas, escoamento superficial, regime dos cursos d'água, fisiologia vegetal e planejamento do uso da terra. Além dessas verificações comuns em todos os projetos, há outras mais peculiares nos eventos em que há necessidade de dimensionar um sistema de drenagem subterrâneo.

Para tanto é essencial e limitante, entre outros, o conhecimento do comportamento da água subterrânea cuja caracterização é geralmente feita estudando as características da sua superfície livre no perfil do solo, conhecido como lençol freático.

O sucesso da drenagem artificial do solo dependerá da correta análise do problema existente. Em casos mais complicados, são necessários estudos mais detalhados do que simples investigações preliminares, apenas superficiais, a fim de encontrar as causas de excesso de água subterrânea e as maneiras com que ela atinge a área, em qual direção há predomínio do seu deslocamento no solo, enfim as regiões de recarga e saída de área.

O acompanhamento da mudança de níveis freáticos pode ser feito através de poços de observação, distribuídos em vários pontos da área. Um poço de observação de nível freático compreende desde um simples furo de trado aberto no perfil do solo até furos instalados para leituras permanentes da profundidade freática.

Os poços de observação do lençol freático são estruturas de pequenos diâmetros naturalmente perfuradas a mão com um trado e se aprofundam um pouco além do nível freático, podendo ter

1,0 m ou menos. Por causa dos riscos de efeitos destrutivos que os inutilizem, em solos de pouca estabilidade, podem ser revestidos, e aconselha-se que se tenham alguns cuidados, a fim de conservar a sua funcionalidade por mais tempo.

Com base nessas informações você deverá elaborar um relatório técnico de um projeto de drenagem agrícola, demonstrando ao seu professor os aspectos acerca da análise e da elaboração de projeto de drenagem agrícola e relatando as informações relacionadas com a climatologia geral e a cultura como taxa de evapotranspiração e profundidade do lençol freático, lixiviação de sais, declividade do terreno e determinação da intensidade máxima de chuva, que devem ser conhecidos pelo projetista no momento do dimensionamento. É preciso também demonstrar qual a técnica utilizada na recuperação desses solos preconizados pela necessidade de um diagnóstico realizado, referente aos atributos químicos e físicos, uma vez que as causas da salinização e da sodificação nas áreas irrigadas tornam-se mais agressivas em função da natureza textural e da densidade dos solos. Neste sentido, o estudo da drenabilidade do solo constituiu como uma prática indispensável antes de se iniciar os trabalhos de recuperação e implantação do sistema de drenagem. Ao reunir todas essas considerações sobre o assunto, você será capaz de ajudar o produtor a resolver as problemáticas encontradas ao longo do nosso contexto de aprendizagem e poderá apresentar o produto da análise e da elaboração de projeto de drenagem agrícola ao seu professor.

Avançando na prática

Vazão a eliminar

Descrição da situação-problema

Um grande produtor agrícola de grãos possui uma área de 56 ha em plena fase de produção. Nos últimos dias a região vem enfrentando chuvas intensas totalizando $134,5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$. As chuvas excessivas e prolongadas, a partir do final do enchimento dos grãos até a maturação dos grãos, contribuiu para que ocorressem danos às vagens e também aos grãos. Somando-se às dificuldades

pele excesso de umidade, impedindo ou dificultando a colheita mecânica, notou-se a incidência de sementes germinando nas vagens e a consequente abertura dessas vagens.

A qualidade da produção também está sendo comprometida pois os grãos se tornam ardidos ou apodrecidos nas vagens, diminuindo o retorno financeiro do produtor. O produtor tem observado na sua área, em dias de chuvas intensas, enxurradas arrastando as camadas superficiais do solo, ricas em fertilizantes e matéria orgânica, erodindo e empobrecendo o solo. Devido à proximidade do período de colheita, o produtor necessita dimensionar um sistema de drenagem superficial a fim de eliminar o excesso de água superficial decorrente das chuvas.

Sabendo que o coeficiente de escoamento médio da área é 0,352, você, enquanto técnico capacitado para dimensionar sistemas de drenagem, deverá calcular a vazão a eliminar. Quais aspectos se devem adotar em um sistema de drenagem superficial? Quais técnicas o produtor deverá adotar para controlar o excesso de água? Quais técnicas o produtor deverá adotar para controlar as inundações de na área agrícola? A estimativa da vazão do escoamento produzido pelas chuvas em determinada área é fundamental para o dimensionamento dos canais coletores?

Resolução da situação-problema

Parte da água de chuva ou de irrigação não é infiltrada no solo, escoando sobre a superfície até atingir um canal que a elimina da área de produção agrícola. Quando essa eliminação não é satisfatória, acontecem encharcamentos do solo, causando problemas relacionados ao excesso de umidade (MELLO, 2008).

A drenagem natural das águas superficiais pode ser otimizada por meio de obras que podem se agrupar em duas classes distintas: "a) sistematização do terreno; e b) construção de uma rede de drenagem. Estas obras, que se complementam, apresentam distintas características, dependendo de a área ser ou não irrigada, se o terreno é plano ou acidentado" (MELLO, 2008, p. 76). Dessa forma, podem-se considerar dois casos de drenagem superficial, ou seja, drenagem para eliminação das águas de chuvas e drenagem em áreas com excesso de umidade.

A estimativa da vazão do escoamento produzido pelas chuvas

em determinada área é fundamental para o dimensionamento dos canais coletores. Existem várias equações para estimar essa vazão, sendo mais conhecida a equação racional, a seguir:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} = \frac{0,352 \times 134,5 \times 56}{360} = 7,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Sendo assim, para que o produtor possa utilizar máquinas na colheita dos grãos, ele deverá drenar a água com vazão $7,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Faça valer a pena

1. Texto-base:

O monitoramento da água do lençol freático feito através da avaliação dos atributos físicos do solo compõe o aspecto principal para determinação dos problemas de drenagem. Dentre os principais parâmetros hidrodinâmicos do solo, de interesse para o dimensionamento do sistema de drenagem bem como para a pesquisa, destacam-se a _____ (K_o) e a _____ (f).

Sobre os parâmetros hidrodinâmicos do solo, assinale a alternativa que corresponde às lacunas do texto-base.

- a) Infiltração e porosidade drenável.
- b) Condutividade hidráulica do solo saturado e infiltração.
- c) Condutividade hidráulica do solo saturado e porosidade drenável.
- d) Porosidade drenável e condutividade hidráulica do solo saturado.
- e) Porosidade drenável e infiltração.

2. Extensas áreas agrícolas sofrem hoje com problemas de excesso de umidade do solo. Dentre os motivos estão irrigação mal manejada, manejo de água e solo ineficiente e problemas com a drenagem natural das áreas. Nesse caso faz-se necessário realizar o diagnóstico do problema de drenagem.

Assinale a alternativa que corresponde a uma técnica utilizada para realizar o diagnóstico do problema de drenagem.

- a) Permeâmetro de carga constante.
- b) Poços de observação do lençol freático.
- c) Porosidade drenável.
- d) Condutividade hidráulica do solo saturado.
- e) Drenos abertos ou canais de terra.

3. O espaçamento e a profundidade dos drenos são os dois principais parâmetros no dimensionamento de um sistema de drenagem. Normalmente, a profundidade é fixada, determinando-se o espaçamento adequado para os drenos. Esses dois parâmetros dependem do tipo de solo, da quantidade de água a ser drenada (recarga) e da profundidade do solo que se deseja drenar.

Em um plantio agrícola, com solo com textura média, que apresenta problemas de drenagem, assinale a alternativa que corresponde às recomendações para condutividade hidráulica ($mm \cdot dia^{-1}$), espaçamento (m) e profundidade (m).

- a) 125,0 a 250,0; 30 a 100 e; 1,0 a 2,0.
- b) 65,0 a 125,0; 30 a 70 e; 1,0 a 2,0.
- c) 5,0 a 20,0; 30 a 70 e; 1,0 a 2,0.
- d) 5,0 a 20,0; 20 a 35 e; 1,0 a 1,5.
- e) 5,0 a 20,0; 20 a 35 e; 1,0 a 2,0.

Referências

- AGUIAR NETTO, A. O. **Drenagem agrícola**: sistemas de drenagem. Out. 2011. 39 slides. Disponível em: <http://www.redeacqua.com.br/wp-content/uploads/2011/09/Irrigacao_drenagem_Aula8.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Drenagem e controle de salinidade**. [S.l.], 2015. 82 slides. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/247/1/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_ANA_DRENAGEM_2015_V1.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande. UFPB. 1991. 218p. **Estudos FAO**: Irrigação e Drenagem, 29. rev.1.
- BARRETO, A. N., SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola**: impacto ambiental versus sustentabilidade. Aracaju/Campina Grande: Embrapa Tabuleiros Costeiros/ Embrapa Algodão, 2004.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R. O.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani**: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba, 2004.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. [S.l.: s.n.], 2006.
- CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.
- DUARTE, S. N. et al. (Ed.). **Fundamentos de Drenagem Agrícola**. 356 p. Fortaleza, CE: Instituto nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015.
- EMBRAPA. **Irrigação e Drenagem na Empresa Agrícola**. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2003/livro_irrigacao.zip>. Acesso em: 2 dez. 2017.
- FERREIRA, V. M. **Irrigação e drenagem**. Florianópolis, Pi: Secretaria de Educação a Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 126 p.
- FERREIRA, P. A. Drenagem. In: **Curso de engenharia de irrigação**. Módulo XI. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 2001. 167p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. (2006) **Irrigação**: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006. 318p.
- MELLO, J. L. P. **Drenagem Agrícola**: apostila. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2008. 102p.
- MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**: bases agrônômicas. Brasília: Editerra, 1988. 306p.
- PIZARRO, F. **Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos**. Madrid: Editora Agrícola Española, 1978. 525 p.

ISBN 978-85-522-0761-0



9 788552 207610 >