



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e
Automação



PROJETO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM DIRECIONAMENTO AUTOMÁTICO DE FLUXO DE ÁGUA

ALEXANDRE DUARTE LUÍS

Ouro Preto MG
2019

ALEXANDRE DUARTE LUÍS

PROJETO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM DIRECIONAMENTO AUTOMÁTICO DE FLUXO DE ÁGUA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo

Ouro Preto - MG
18 de julho de 2019

L968p

Luís, Alexandre Duarte.

Projeto de sistema de irrigação com direcionamento automático de fluxo de água [manuscrito] / Alexandre Duarte Luís. - 2019.

64f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Irrigação por aspersores. 2. Solos - Umidade - Medição - Higrômetro. 3. Água - Direcionamento automático. 4. Irrigação agrícola. I. Rêgo Segundo, Alan Kardek. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

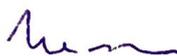
CDU: 681.5

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

Monografia defendida e aprovada, em 18 de julho de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Alan Kardek Rêgo Segundo - Orientador



Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro – Professor Convidado



Prof. Dr. Wolmar Araujo Neto – Professor Substituto Convidado

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus que me iluminou durante esta caminhada.

Aos meus pais, Francisco e Iêda, que nunca deixaram de acreditar em mim mesmo quando poucos acreditaram, e me deram forças para continuar.

Aos meus irmãos João Paulo e Iasmine, pelo apoio incondicional.

À Universidade Federal de Ouro Preto, pela estrutura, bem como aos professores, pelos conhecimentos proporcionados, em especial ao Alan Kardek, por ter me orientado neste trabalho.

À gloriosa República Skulaxu, e meus companheiros skulaxadus, que me ajudaram a entender o verdadeiro sentido de irmandade.

À todos os meus amigos, em especial ao Zeitona, Matuto, Cirilu, Claudinho, Mari, Fidu, Popo e Nabad.

À Clarice pelo amor e apoio.

À emblemática cidade de Ouro Preto, pelas experiências únicas.

Obrigado!

"Muitas das falhas da vida acontecem quando as pessoas não percebem o quão perto estão quando desistem."

Thomas Edison.

Resumo

A relevância da irrigação na agricultura tem aumentado diante da necessidade de ampliar a produção de alimentos, devido ao crescimento populacional. Considera-se também que o mercado competitivo demanda de novas tecnologias para aproveitar melhor os recursos naturais com o menor custo possível. Sendo assim, buscou-se, no presente trabalho, desenvolver um projeto de implantação de um sistema de irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água, em uma propriedade rural de pequeno porte. O intuito do trabalho foi usar os conhecimentos abordados no curso de engenharia de controle e automação para projetar um sistema que forneça a quantidade de água necessária para as plantas, sem desperdício, por meio de sensores que possam medir a umidade do solo para realizar o controle de fluxo de água. Para tanto, realizou-se uma pesquisa de natureza qualitativa-quantitativa, de objetivo exploratório, com a técnica de pesquisa bibliográfica para coleta de dados, em um estudo de caso único, em que os dados foram analisados pela técnica de análise de estudo. Durante a revisão bibliográfica, levaram-se em consideração os conceitos relacionados à irrigação por aspersão, com o uso de válvulas solenoides para o direcionamento automático do fluxo de água e de sensores de umidade aplicada à cultura do milho. Desenvolveu-se o projeto para a implementação do sistema na propriedade Fazenda Flor da Colina, situada no município de Jequitibá, MG, dentro da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

Palavras-chave: irrigação por aspersão, sensor de umidade do solo, direcionamento automático do fluxo de água.

Abstract

The importance of irrigation in agriculture has increased due to the need to expand food production due to population growth. It is also considered that the competitive market demands new technologies to make better use of natural resources at the lowest possible cost. Therefore, in the present work, we have developed a project to implement a sprinkler irrigation system with automatic water flow direction, in a small rural property. The aim of the study was to use the knowledge covered in the control and automation engineering course to design a system that provides the amount of water necessary for the plants, without wastage, by means of sensors that can measure soil moisture to perform the control of water flow. To do so, a qualitative-quantitative research was carried out, with an exploratory objective, using the bibliographic research technique for data collection, in a single case study, in which the data were analyzed by the study analysis technique. During the literature review, the concepts related to sprinkler irrigation were taken into account, with the use of solenoid valves for automatic water flow direction and humidity sensors applied to maize. The project was developed for the implementation of the system in Fazenda Flor da Colina, located in the municipality of Jequitibá, MG, within the watershed of the Rio das Velhas.

Keywords: Irrigation by sprinkler, soil moisture sensor, automatic water flow direction.

Lista de figuras

Figura 1 – Produtividades médias brasileiras comparadas com produtividades médias de culturas irrigadas.	5
Figura 2 – Representação do solo como um reservatório.	9
Figura 3 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão convencional semiportátil, com duas laterais móveis.	17
Figura 4 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão tipo autopropelido.	18
Figura 5 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central.	19
Figura 6 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo.	20
Figura 7 – Modelos variados de aspersores.	26
Figura 8 – Tubo soldável de PVC.	27
Figura 9 – Válvula solenoide.	27
Figura 10 – Componentes de uma válvula de comando hidráulico.	28
Figura 11 – Modos de operação da válvula de comando hidráulico controlada por duas vias na configuração normalmente fechada.	29
Figura 12 – Modos de operação da válvula de comando hidráulico controlada por duas vias na configuração normalmente aberta.	29
Figura 13 – Modos de funcionamento da válvula hidráulica de três vias.	30
Figura 14 – Conjunto de válvulas solenóides.	30
Figura 15 – Válvula ventosa	31
Figura 16 – Obturador da válvula ventosa	31
Figura 17 – Válvula de retenção	32
Figura 18 – Válvula de pé com crivo	33
Figura 19 – Exemplos de conjuntos motobomba.	33
Figura 20 – Esquema de montagem	34
Figura 21 – (a) Sonda para medição do teor de água e condutividade elétrica aparente do solo; (b) Sondas para medição de temperatura, condutividade elétrica e constante dielétrica relativa.	37
Figura 22 – Instalação do sensor.	37
Figura 23 – Esquema da transmissão sem fio dos sinais de cada grupo de sensores até o painel de acionamento.	38
Figura 24 – Módulo de comunicação instalado.	39
Figura 25 – Dispositivo de acionamento de válvulas	40
Figura 26 – Programa de computador para aquisição de dados e interface com o usuário	41
Figura 27 – Ilustração do mostrador de cristal líquido	41
Figura 28 – Detalhe dos botões e dos LEDs do painel controlador.	42
Figura 29 – Página 2: ajuste do relógio do painel controlador.	42

Figura 30 – Página 3: ajuste do tempo de funcionamento dos setores.	43
Figura 31 – Detalhe do tempo restante de funcionamento de cada setor.	43
Figura 32 – Página 4: ajuste da hora de iniciar a operação do sistema.	43
Figura 33 – Página 5: ajuste dos parâmetros limite superior e limite inferior.	43
Figura 34 – Página 6: configuração de horário de exclusão de funcionamento do sistema.	44
Figura 35 – Página 7: configuração dos dias de funcionamento do sistema.	44
Figura 36 – Mapa representativo da área cultivável de 6,5ha.	50
Figura 37 – Aspersor FABRIMAR ECO A232	52
Figura 38 – Disposição da linha principal, secundária, laterais e aspersores.	53
Figura 39 – Conjunto motobomba.	58

Lista de tabelas

Tabela 1 – Texturas de solo e intervalos típicos de velocidade de infiltração básica (V_{ib}) para diferentes classes texturais.	7
Tabela 2 – Valores típicos de eficiência da irrigação, custos de aquisição/implantação, uso de energia e mão-de-obra requerida para diferentes sistemas de irrigação por aspersão.	13
Tabela 3 – Exemplos de coeficientes de cultura (K_c) utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura.	14
Tabela 4 – Texturas de solo e intervalos típicos de velocidade de infiltração básica (V_{ib}) para diferentes classes texturais.	21
Tabela 5 – Evapotranspiração da cultura para milho-doce (mm/dia) , conforme a umidade relativa (UR_m)e temperatura (T_m) média do ar e a fase de desenvolvimento. .	23
Tabela 6 – Sugestão de profundidade efetiva do sistema radicular (Z) de hortaliças, nas diferentes fases de desenvolvimento.	25
Tabela 7 – Regra geral para escolha dos aspersores	47
Tabela 8 – Tabela de desempenho ECO A232.	56
Tabela 9 – Tabela de perda de carga de tubos de PVC a cada 100m.	57
Tabela 10 – Tabela de Seleção de Bombas, página 51 do catálogo do fabricante.	59

Lista de abreviaturas e siglas

DECAT	Departamento de Engenharia Controle e Automação e Técnicas Fundamentais
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
LTD	Lâmina de água total disponível no solo para as plantas (mm)
CC	Capacidade de campo (% de peso seco)
PMP	Ponto de murcha permanente (% de peso seco)
Dg	Densidade global do solo (g/cm ³)
Z	Profundidade efetiva do sistema radicular das plantas (cm)
LRD	Lâmina de água real disponível no solo para as plantas (mm)
LTN	Lâmina de água total necessária (mm)
UI	Umidade-limite de irrigação (%1 de peso seco)
ET _c	Evapotranspiração da cultura (mm/dia)
K _c	Coefficiente de cultura (adimensional)
ET _o	Evapotranspiração do cultivo de referência (mm/dia)
TR	Turno de Rega
MG	Minas Gerais
PVC	Policloreto de polivinila
LED	Diodo emissor de luz
V _{ib}	Velocidade de infiltração básica
UR _m	Umidade relativa
T _m	Temperatura média
U _p	Porcentagem de umidade em peso
U _v	Porcentagem de umidade em volume

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Geral	2
1.2.2	Específicos	2
1.3	Justificativa	2
1.4	Método de pesquisa	2
1.5	Organização do trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Aspectos relevantes da irrigação na agricultura	4
2.2	Qualidade da água destinada a irrigação	5
2.2.1	Aspectos físicos	5
2.2.2	Aspectos químicos	6
2.2.3	Aspectos sanitários	6
2.3	Relação entre água, solo, cultura e clima	6
2.3.1	Textura do solo	7
2.4	Disponibilidade de água no solo	7
2.4.1	Interpretação de solo como um reservatório	7
2.4.2	Capacidade de Campo	9
2.4.3	Ponto de Murcha Permanente	9
2.4.4	Lâmina de água total disponível no solo para as plantas	10
2.4.5	Lâmina de água real disponível no solo para as plantas	11
2.4.6	Evapotranspiração	11
2.4.7	Turno de Rega	12
2.4.8	Eficiência de irrigação	12
2.4.9	Necessidade de água das plantas	13
2.5	Métodos de irrigação por aspersão	16
2.5.1	Sistemas de irrigação por aspersão convencionais	16
2.5.1.1	Portátil	16
2.5.1.2	Semiportátil	16
2.5.1.3	Autopropelido	17
2.5.1.4	Pivô central	18
2.5.1.5	Fixo	19
2.6	Sistema por aspersão convencional	20

2.6.1	Escolha do aspersor	20
2.6.2	Vazão e raio de alcance do aspersor	21
2.6.3	Espaçamento entre aspersores	21
2.6.4	Intensidade de aplicação de água	22
2.7	Manejo prático	22
2.7.1	Evapotranspiração e fases da cultura	22
2.7.2	Capacidade de armazenamento de água no solo	24
2.7.3	Profundidade efetiva do sistema radicular	24
2.7.4	Adequação do tempo de irrigação	25
2.8	Componentes do sistema de irrigação por aspersão fixa	26
2.8.0.1	Aspersores	26
2.8.0.2	Tubulação	26
2.8.0.3	Válvulas solenoides	27
2.8.0.4	Válvulas de comando hidráulico	28
2.8.0.5	Válvula ventosa	31
2.8.0.6	Válvulas de retenção	32
2.8.0.7	Válvula de pé com crivo	32
2.8.0.8	Conjunto moto-bomba	33
2.9	Irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água	35
2.9.1	IrrigoSystem	35
2.9.1.1	Componentes do sistema	36
2.9.2	Operação do painel controlador	41
3	METODOLOGIA	45
3.1	Levantamento dos requisitos para o dimensionamento de um sistema de irrigação	45
3.2	Dimensionamento do modelo de irrigação	46
3.2.1	Escolha do modelo de irrigação	46
3.2.2	Escolha dos componentes do sistema de irrigação por aspersão fixa	46
3.3	Coleta de dados sobre as características específicas da área, cultura e do solo da propriedade	48
3.4	Análise de estudo e dimensionamento do sistema	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Descrição da área	50
4.2	Descrição da cultura	50
4.3	Dos requisitos para o dimensionamento do sistema de irrigação	51
4.3.1	Quanto a análise da água para irrigação	51
4.3.2	Quanto a análise da relação Solo-água-planta-clima	51
4.4	Dimensionamento do modelo de irrigação	51

4.4.1	Escolha do Aspersor	51
4.4.2	Escolha da tubulação	52
4.4.3	Disposição dos aspersores e da tubulação na área	52
4.4.4	Quanto à evapotranspiração e o turno de rega	53
4.4.5	Cálculo da vazão para atender à lâmina desejada	55
4.4.6	Seleção do diâmetro dos tubos	56
4.4.7	Cálculo da altura manométrica a ser vencida pela motobomba	57
4.4.8	Seleção do conjunto motobomba	58
4.4.9	Componentes responsáveis pela automatização do sistema	60
4.4.9.1	Sensores de umidade	60
4.4.9.2	Módulo de comunicação sem-fio	60
4.4.9.3	Controlador	60
4.4.10	Operação do equipamento	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	Referências	63

1 Introdução

1.1 Formulação do Problema

Segundo [Fernandes \(2001\)](#), a irrigação é uma atividade que tem contribuído de forma significativa para o aumento da produtividade das principais culturas no Brasil. Em algumas regiões, a sua utilização tem apresentado incrementos superiores a 200% nos níveis de produtividade do milho. Conseqüentemente, a irrigação torna-se um fator atenuante dos riscos advindos das oscilações climáticas inerentes à agricultura. Entretanto, os altos investimentos requeridos para implantação de um sistema de irrigação do tipo Pivô Central e os altos custos com a sua operacionalização, por exemplo, tornam a produção do milho irrigado passível aos riscos financeiros, caso não haja um bom dimensionamento do sistema de irrigação. O mau dimensionamento do sistema de irrigação pode causar desperdício de água, bem como energia elétrica, além de acarretar problemas na lavoura referente a pragas e a lixiviação dos nutrientes.

De acordo com [Cunha et al. \(2009\)](#), a irrigação é a maior usuária dos recursos hídricos e, no final do século passado, foi duramente criticada e responsabilizada pela escassez de água e de energia elétrica em algumas regiões do Brasil. Porém a irrigação é fundamental para que o Brasil continue a aumentar sua produção e produtividade e gerar empregos e excedentes exportáveis.

Com o intuito de otimizar os sistemas de irrigação, foi desenvolvido por [Rêgo Segundo \(2010\)](#) um sensor do teor de água do solo e um sistema de controle e automação em malha fechada para uso em irrigação, que fornece dados a um sistema integrado, permitindo o monitoramento, bem como o controle automático da umidade do solo, que garante o fornecimento de água para a lavoura, sem desperdícios.

Julga-se de suma importância melhorar as tecnologias de irrigação, tendo em vista o impacto social que isso pode acarretar, que além de diminuir o custo de produção, tornando os alimentos mais baratos, preserva recursos naturais e viabiliza produções, aumentando a fonte de renda de produtores que, por sua vez, criam empregos, alimentando a economia.

Portanto, buscou-se no presente trabalho, desenvolver um projeto de implantação do modelo de irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água, em uma propriedade rural de pequeno porte, a fim de diminuir os custos inerentes ao uso de recursos hídricos e energia elétrica, bem como diminuir os desperdícios e evitar uma eventual elevação do lençol freático, lixiviação de nutrientes e salinização do solo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

- Desenvolver um projeto de irrigação com direcionamento automático de fluxo de água a fim de economizar recursos hídricos e energéticos e aumentar a produtividade da cultura.

1.2.2 Específicos

- Propor melhorias no processo de cultivo irrigado, aumentando sua eficiência.
- Apresentar uma solução alternativa aos processos de cultivo irrigado, frente aos processos tradicionais.
- Oferecer uma alternativa viável de irrigação, para diminuir custos operacionais e, consequentemente, tornar o cultivo mais competitivo, aumentando os lucros e impactando de forma positiva no desenvolvimento social das populações instaladas em áreas rurais.
- Comparar o sistema de irrigação convencional com o sistema de irrigação automatizado apresentado por [Rêgo Segundo et al. \(2015\)](#), denominado IrrigoSystem.

1.3 Justificativa

O presente trabalho tem como motivação o aprendizado na montagem de um sistema de irrigação automático, visto que os moldes tradicionais ainda desperdiçam muitos recursos naturais, e demandam de constante manejo operacional, o que aumenta os custos das lavouras. Buscou-se desenvolver técnicas que possam ser implantadas, buscando melhorias, tanto na ecologia, quanto no desenvolvimento econômico, principalmente nas regiões onde os recursos hídricos são escassos, coincidentemente, onde se situam importantes mazelas da população.

1.4 Método de pesquisa

- Apanhado bibliográfico de publicações referentes ao assunto por meio de livros, artigos e manuais técnicos.
- Leitura do material para a utilização.
- Estudo da área e da disposição dos elementos.
- Levantamento dos equipamentos a serem utilizados.
- Implantação da tecnologia de direcionamento automático de fluxo de água.

1.5 Organização do trabalho

O texto da dissertação está organizado da seguinte forma. No Capítulo 1 é apresentada a introdução, que consiste na formulação do problema, objetivos e justificativa deste trabalho. Na formulação do problema é relatada a importância da irrigação e do desenvolvimento de novas técnicas que visam economia de recursos. Os objetivos apresentados envolvem apresentar um projeto de irrigação com direcionamento automático de fluxo de água e causar uma economia de recursos, tanto hídricos como econômicos. A justificativa aborda a busca por melhorias nas técnicas utilizadas usualmente na irrigação.

No Capítulo 2 são apresentadas as referências bibliográficas da dissertação. Um apanhado de literaturas que utilizam conceitos que embasam o trabalho a ser apresentado. Aborda as técnicas de desenvolvimento de um projeto de irrigação, desde a qualidade da água e solo, até a cultura a ser escolhida. Foi dada ênfase na irrigação por aspersão fixa, que é o método de irrigação utilizado e desenvolvido no presente trabalho.

Um roteiro baseado nas referências bibliográficas é apresentado no Capítulo 3, denominada de metodologia. Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento de uma implantação do sistema de irrigação de forma genérica.

O desenvolvimento da aplicação do sistema propriamente dito é abordado no Capítulo 4, sendo os resultados e discussões. Nesta parte do trabalho é apresentado o projeto de uma aplicação prática do sistema, aplicado a uma área de uma propriedade rural de pequeno porte situada em Jequitibá, MG, na bacia do Rio das Velhas.

Sendo o último, o Capítulo 5, é a conclusão, com um apanhado de observações feitas a partir do trabalho desenvolvido, contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo se destina a apresentar os fundamentos teóricos básicos necessários para se compreender o funcionamento dos equipamentos utilizados na elaboração de um projeto de irrigação. Brevemente, discute-se os tipos de irrigação, dimensionamento de equipamentos e técnicas utilizadas no desenvolvimento de um projeto de irrigação por aspersão fixa direcionado à propriedade em questão.

2.1 Aspectos relevantes da irrigação na agricultura

Segundo [Fernandes \(2001\)](#), a agricultura é a atividade econômica que mais consome água em seu processo produtivo. O uso da água na agricultura representa cerca de 70% de toda a água utilizada de rios, lagos e mananciais, enquanto a indústria consome 23% e os 7% restantes vão para o consumo humano. Estima-se que o volume global de água utilizado anualmente é da ordem de 3000 a 3.500 km², dos quais cerca de 2.500 km² são usados na irrigação, 500 km² na indústria e 200 km² em outros usos, dentre eles o doméstico.

Irrigação é a aplicação artificial, uniforme e oportuna de água, distribuída pontualmente na zona efetiva das raízes ou na área total, visando repor a água consumida pelas plantas, perdida por evaporação, transpiração e por infiltração profunda, de forma a garantir condições ideais ao bom desenvolvimento das plantas ([PEREIRA, 2014](#)).

Essencialmente, manejo da água de irrigação significa definir quando e quanto irrigar, tendo como objetivo incrementar a produtividade e a qualidade das hortaliças e, ao mesmo tempo, maximizar a eficiência do uso de água e energia e minimizar a incidência de doenças e insetos pragas e os impactos ambientais ([MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008](#)).

A presença constante da água nas raízes das plantas fornecida pela irrigação deixa o solo em uma umidade ótima de desenvolvimento, não permitindo a ocorrência do estresse hídrico na cultura, proporcionando o aumento de produtividade de forma significativa. A irrigação, realizada no momento correto e com a aplicação da quantidade certa de água, permite a obtenção de índices de produtividade acima das médias das culturas que são cultivadas na condição de sequeiro, ou seja, quando utiliza somente com a água da chuva ([TESTEZLAF, 2017](#)).

A seguir, na Figura 1, pode-se observar um gráfico comparativo entre diversas culturas brasileiras na condição de cultivo irrigado, comparadas com a produtividade média brasileira. ([TESTEZLAF, 2017](#) apud [IBGE, 2006](#)).

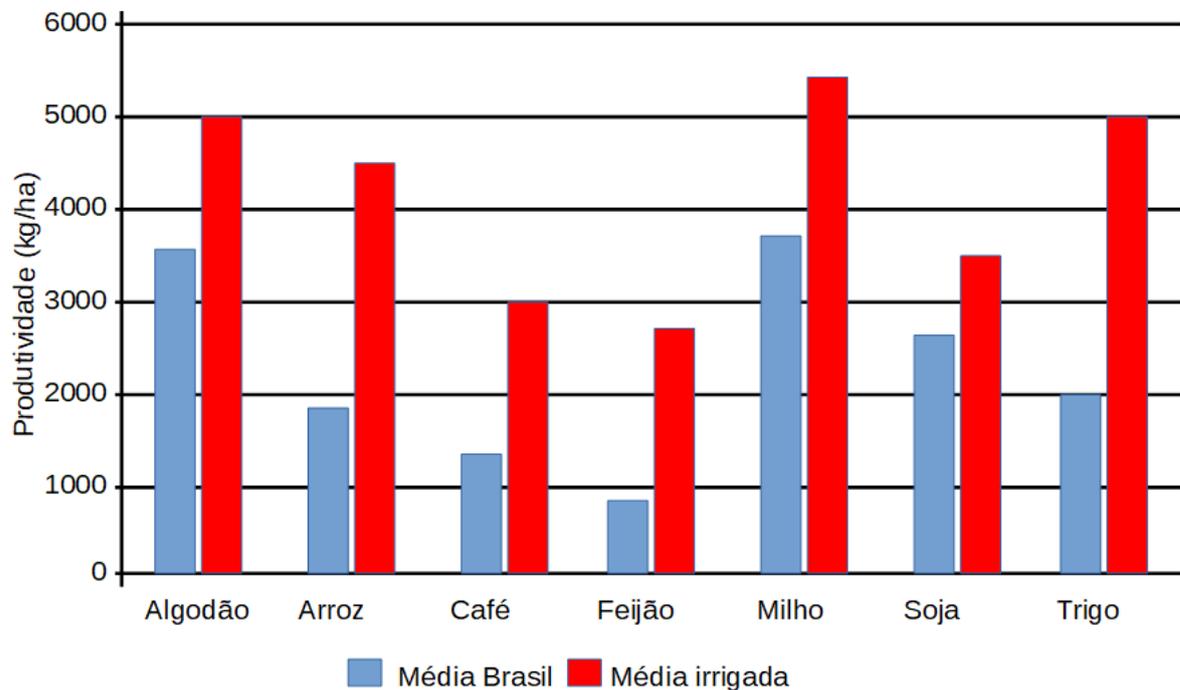


Figura 1 – Produtividades médias brasileiras comparadas com produtividades médias de culturas irrigadas.

Fonte: Adaptado de (TESTEZLAF, 2017 apud IBGE, 2006)

2.2 Qualidade da água destinada a irrigação

Para a utilização da água, deve-se levar em conta três aspectos, apresentados nas subseções a seguir:

2.2.1 Aspectos físicos

Partículas em suspensão podem restringir o uso da água para irrigação, requerendo tratamento que possam ser utilizadas. O funcionamento de aspersores pode ser prejudicado quando a água utilizada apresentar grande quantidade de detritos, algas ou material orgânico em suspensão. Tubulações e, principalmente, bombas hidráulicas podem ter vida útil reduzida quando a água apresentar quantidades excessivas de material mineral e vegetal em suspensão. Esses materiais, em especial a areia, atuam de forma abrasiva, danificando as partes internas dos equipamentos de irrigação, tais como bombas, tubulações e aspersores (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.2.2 Aspectos químicos

A concentração de sais dissolvidos na água de irrigação não é, geralmente, suficiente para prejudicar a produção das principais culturas. Os danos são devidos, quase sempre, aos sais que vão acumulando no solo e salinizando-o pouco a pouco. No Brasil, os problemas de qualidade química de água são mais comuns na Região Nordeste, onde a irrigação é muitas vezes realizada com águas salinas e a precipitação pluvial é insuficiente para a lixiviação dos sais solúveis que vão se acumulando no solo (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.2.3 Aspectos sanitários

Água contaminada com agentes patogênicos pode prejudicar o cultivo de certas culturas, principalmente aquelas que são destinadas ao consumo humano, podendo os alimentos carregarem consigo doenças. Por isso, deve-se levar amostras da água captada ao laboratório, antes de destinar a água ao uso da irrigação (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.3 Relação entre água, solo, cultura e clima

O solo, além de servir de sustentação física, atua como reservatório, de capacidade limitada, de nutrientes e de água para as plantas. Uma vez cheio, por meio de chuva ou irrigação, a água, retida no reservatório, começa gradualmente a ser consumida por meio da transpiração das plantas e da evaporação do solo. Quando a quantidade de água no solo atinge um nível crítico de segurança, abaixo do qual o rendimento das plantas diminui rapidamente, água deve ser reaplicada para restabelecer a capacidade do reservatório. A capacidade de armazenamento de água pelo solo e a taxa de consumo de água pelas plantas são dependentes de parâmetros relacionados tanto ao próprio solo, quanto às plantas e/ou ao clima (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

É necessário avaliar se existe algum impedimento físico ou químico para a formação e crescimento das raízes, para que seja corrigido antes da implantação do sistema de irrigação. É muito comum a existência de camadas compactadas (pé de arado) abaixo da camada arável, ocasionada, por exemplo, pelo preparo do solo, trânsito de máquinas, pastoreio de animais etc. Nesses casos normalmente o uso do subsolador elimina a camada compactada permitindo o desenvolvimento das raízes e melhorando a permeabilidade do solo, garantindo a infiltração da água para camadas mais profundas. Já em solos pedregosos, pouco se pode fazer, a não ser escolher culturas com raízes pouco profundas, desde que exista uma camada de solo suficiente para o desenvolvimento das raízes. O mesmo ocorre quando se observa a presença de camadas impermeáveis profundas, nas camadas subsuperficiais que são impossíveis de serem descompactadas. Outra situação indesejável é a presença de camadas arenosas com baixa retenção de água e nutrientes, dificultando o desenvolvimento do sistema radicular. Nesses casos a irrigação

é dimensionada considerando essas situações e em alguns casos torna-se inviável a implantação da irrigação (PEREIRA, 2014).

É necessário fazer amostragem do solo para se avaliar a sua fertilidade antes do preparo do solo. É interessante analisar as camadas superficiais e subsuperficiais, para se avaliar melhor as correções necessárias, com base nos resultados da análise do solo. Por meio das análises químicas pode se avaliar e monitorar a ocorrência de salinidade no solo, que pode vir a ser agravada com a irrigação realizada incorretamente (PEREIRA, 2014).

2.3.1 Textura do solo

Outra prática importante é se conhecer a textura do solo que poderá ser determinada em laboratório junto com a análise química, o que é mais recomendável, ou determinada no campo pelo método descrito a seguir. O conhecimento da textura do solo será importante na escolha e posição do emissor e no manejo da irrigação (PEREIRA, 2014).

A textura do solo influencia no projeto do sistema de irrigação, uma vez que, sabendo sua textura, pode-se indicar a velocidade de infiltração básica (V_{ib}) do solo, que consiste na velocidade em que a água infiltra no solo, não estando mais disponível para o sistema radicular das plantas. Na Tabela 1 pode-se ter como base a velocidade de infiltração básica para diferentes classes texturais (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Tabela 1 – Texturas de solo e intervalos típicos de velocidade de infiltração básica (V_{ib}) para diferentes classes texturais.

Textura	V_{ib} (mm/h) ⁽¹⁾	Classe textural
Grossa	40–150	Areia, areia franca, franco arenoso
Média	15–40	Franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso, silte
Fina	1–15	Franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila, muito argiloso

Obs.: solos de Cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito de cálculos de irrigação, como de textura média.

⁽¹⁾ Presença de camada compactada reduz substancialmente a V_{ib} do solo.

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008)

2.4 Disponibilidade de água no solo

2.4.1 Interpretação de solo como um reservatório

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006) solo é constituído de partículas sólidas, líquidas e gasosas. O volume de sólidos pode ser considerado praticamente fixo, enquanto os gases e a solução dividem o espaço poroso do solo. Se a quantidade de solução ou a umidade do

solo aumentam, a quantidade de gases diminui. Na realidade, o solo pode ser considerado um grande reservatório, cuja quantidade de água armazenada varia com a umidade.

Também de acordo com [Bernardo, Soares e Mantovani \(2006\)](#), a umidade do solo é definida como a razão entre a massa de água e a massa de solo seco, denominada umidade em peso (U_p). A umidade em peso é dada em porcentagem (% de peso seco), e é definida em laboratório. No processo, pega-se uma amostra de massa definida do solo, úmido, na profundidade que se deseja saber a umidade e em laboratório coloca-se em um recipiente aberto, sendo este, devidamente pesado (M_1), e o mesmo é colocado em uma estufa a cerca de 105-110 °C. Após 24 horas, retira-se o solo seco da estufa, pesando novamente (M_2). Sendo (M_3) o peso do recipiente, a porcentagem de umidade em peso será dada pela Equação 2.1:

$$U_p = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Em que:

U_p = Porcentagem de peso seco (%);

M_1 = Massa de solo úmido (gramas);

M_2 = Massa de solo seco (gramas);

M_3 = Massa do recipiente (gramas).

Para determinar diretamente a umidade em volume, faz-se necessário saber o volume da amostra de solo, e pode-se determiná-la indiretamente, conhecendo a densidade global do solo (D_g), respectivamente, pelas Equações 2.2 e 2.3 .

$$U_v = \frac{M_1 - M_2}{V_{amostra}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Em que:

U_v = Porcentagem de umidade em volume (%);

M_1 = Massa de solo úmido (gramas);

M_2 = Massa de solo seco (gramas);

$V_{amostra}$ = Volume da amostra (cm³).

$$U_v = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \cdot D_g \cdot 100 = U_p \cdot D_g \quad (2.3)$$

Em que:

U_v = Porcentagem de umidade em volume (%);

U_p = Porcentagem de peso seco (%);

M_1 = Massa de solo úmido (gramas);

M_2 = Massa de solo seco (gramas);

M_3 = Massa do recipiente (gramas);

D_g = densidade global do solo (g/cm^3).

A Figura 2 é uma representação do solo como um reservatório, onde contém gases, uma solução de água e componentes solúveis e sólidos.

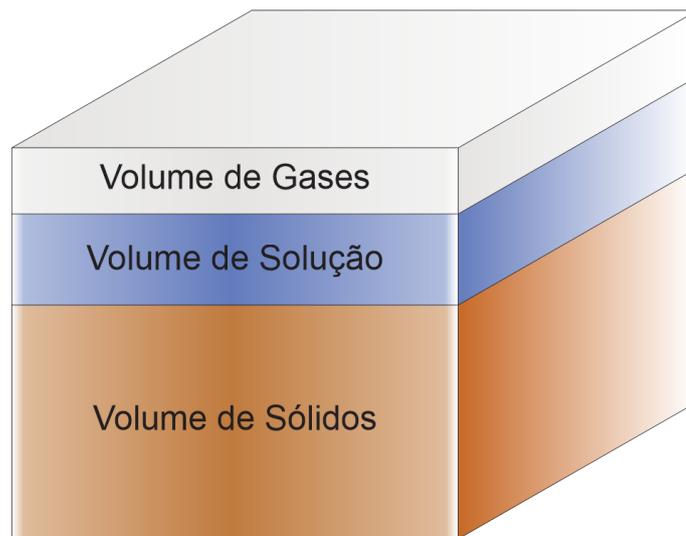


Figura 2 – Representação do solo como um reservatório.

Fonte: Adaptado de (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

2.4.2 Capacidade de Campo

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), considerando que o solo esteja saturado numa condição de lençol freático profundo, a água terá um movimento vertical para baixo, que somente diminuirá significativamente quando o teor de umidade de solo for tal que a sua condutividade hidráulica se torne muito pequena. Quando isso acontece, diz-se que o solo está em condição de capacidade de campo.

A capacidade de campo não pode ser determinada precisamente, uma vez que o seu conceito envolve uma decisão mais ou menos arbitrária no que diz respeito ao tempo em que a intensidade de drenagem se torna tão lenta, podendo ser considerada desprezível.

2.4.3 Ponto de Murcha Permanente

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), ponto de murcha permanente, ou ponto de murchamento, é aquele em que a planta que murcha durante a tarde não recupera a sua turgidez durante a noite, permanecendo murcha na manhã seguinte. Somente recuperará sua turgidez

após uma irrigação ou chuva. O ponto de murchamento representa o teor de umidade no solo abaixo do qual a planta não conseguirá retirar água na mesma intensidade com que ela transpira. Isso aumenta a cada instante a deficiência de água na planta, o que a levará à morte, caso não seja irrigada. Sendo assim, é o limite mínimo da água armazenada no solo que será usada pelos vegetais. Este conceito é muito útil, mas convém ressaltar que o seu valor depende do tipo de solo e que diferentes plantas tem a capacidade de extrair água até diferentes limites.

2.4.4 Lâmina de água total disponível no solo para as plantas

Quanto à capacidade de armazenamento de água, é sabido que nem toda a água retida pelo solo está disponível às plantas. Para sua quantificação, parâmetros como capacidade de campo e ponto de murcha permanente são importantes e precisam ser definidos para cada tipo de solo. A quantidade da água no solo é dada em Lâmina, medida em milímetros, caracterizada pela Equação 2.4 (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008):

$$L = \frac{V}{A} \quad (2.4)$$

Em que:

L = lâmina de água, dada em milímetros;

V = volume de água;

A = área.

A capacidade de campo representa a quantidade de água retida pelo solo (devido a forças matriciais e capilares) depois que o excesso é drenado livremente pela ação da gravidade.

O conceito de ponto de murcha permanente representa o limite mínimo de umidade existente no solo, abaixo da qual uma planta em crescimento ativo apresenta perda de turgescência das folhas, da qual não se recupera mesmo quando colocada em atmosfera saturada durante a noite.

A água total disponível para as plantas que pode ser armazenada pelo solo é aquela entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Assim, a lâmina de água total disponível na camada de solo correspondente à profundidade explorada pelo sistema radicular da cultura é calculada pela Equação 2.5 (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008):

$$LTD = \frac{CC - PMP}{10} \cdot D_g \cdot Z \quad (2.5)$$

Em que:

LTD = lâmina de água total disponível no solo para as plantas (mm);

CC = capacidade de campo (% de peso seco);

PMP = ponto de murcha permanente (% de peso seco);

D_g = densidade global do solo (g/cm^3);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular das plantas (cm).

2.4.5 Lâmina de água real disponível no solo para as plantas

Normalmente, existe para cada cultura um valor limite de umidade abaixo do qual a produtividade é seriamente afetada. A umidade-limite do solo que se deve promover a irrigação é obtida experimentalmente, sendo em função o da espécie cultivada, clima, tipo de solo e até mesmo da cultivar, estando associada à "força" com que a água é retida pela matriz do solo. Uma vez que esse valor é conhecido, torna-se fácil determinar a quantidade de água que deve ser aplicada ao solo para restaurar sua capacidade de armazenamento, ou seja, a lâmina de água no solo facilmente disponível às plantas, utilizando a Equação 2.6 (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008):

$$LRD = \frac{CC - UI}{10} \cdot D_g \cdot Z \quad (2.6)$$

Em que:

LRD = lâmina de água real disponível no solo para as plantas (mm);

UI = umidade limite de irrigação (% de peso seco)

CC = capacidade de campo (% de peso seco);

D_g = densidade global do solo (g/cm^3);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular das plantas (cm).

2.4.6 Evapotranspiração

A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície como vegetal, durante determinado período. Isto inclui a evaporação da água do solo, a evapotranspiração da água depositada pela irrigação, chuva ou orvalho na superfície das folhas, e a transpiração vegetal. A evapotranspiração pode ser expressa em valores totais, médios ou diários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado. O processo de evapotranspiração necessita de energia para a evaporação de água e, sendo assim, ele depende principalmente da quantidade de energia solar recebida (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

2.4.7 Turno de Rega

Sendo o propósito básico da irrigação abastecer de água as plantas, de acordo com a necessidade destas, de modo que se obtenha ótima produção em quantidade e qualidade, deve-se irrigar antes que a razão entre a quantidade de água no solo e a quantidade de demanda pela evapotranspiração diminua muito, fazendo com que a deficiência de água venha a influenciar a produção, em quantidade e, ou, qualidade. A quantidade de água requerida por uma cultura e a resposta da cultura à irrigação variam com o tipo de solo, tipo de cultura, estádios de crescimento e as condições climáticas da região, sendo então impossível determinar um turno de rega fixo para cada cultura, em todo globo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

2.4.8 Eficiência de irrigação

De acordo com Marouelli, Silva e Silva (2008), a eficiência de irrigação na aspersão engloba a desuniformidade com que a água é distribuída pelo sistema sobre a superfície do solo e das plantas e as perdas de água por evaporação e por arrastamento pelo vento, ou seja, é função da uniformidade de distribuição e da eficiência de aplicação de água pelo sistema. Depende de fatores como sistema de irrigação, dimensionamento hidráulico, manutenção do sistema e condições climáticas. Valores aceitáveis de eficiência de irrigação para sistemas convencionais estão entre 70 % e 80 %, para autopropelido entre 65 % e 75 % e para pivô central entre 80 % e 90 %. Além de ser um dos principais parâmetros para avaliação do sistema de irrigação, a eficiência de irrigação é utilizada para o cálculo da lâmina total de água a ser aplicada por irrigação, para suprir às necessidades hídricas das plantas. Existem no mercado empresas especializadas que prestam serviço para avaliação da uniformidade de distribuição de água, especialmente para sistemas pivô central, e que realizam serviços de manutenção e correções para solucionar possíveis problemas de baixa eficiência. A Tabela 2 mostra valores de eficiência da irrigação, custos de aquisição/implantação, uso de energia e mão-de-obra requerida para a elaboração de um projeto de irrigação. Apesar dos valores desatualizados pode-se ter uma ideia da proporção dos custos de implantação entre os diferentes modelos.

Tabela 2 – Valores típicos de eficiência da irrigação, custos de aquisição/implementação, uso de energia e mão-de-obra requerida para diferentes sistemas de irrigação por aspersão.

Sistema	Eficiência de irrigação (%)	Investimento inicial ⁽¹⁾ (R\$/ha)	Uso de energia ⁽²⁾ (kWh/mm/ha)	Mão-de-obra ⁽³⁾ (h/ha/irrig.)
Convencional portátil	50–75	2.000–3.500	3,0–6,0	1,5–3,5
Convencional semiportátil	60–80	2.500–5.000	3,0–6,0	0,7–2,5
Convencional fixo	70–85	4.500–10.000	3,0–6,0	0,2–0,5
Autopropelido	65–80	3.500–5.500	6,0–9,0	0,5–1,0
Pivô central	75–90	4.000–7.500	2,0–6,0	0,1–0,7

⁽¹⁾ Depende da qualidade de equipamento, tamanho da área, dentre outros.

⁽²⁾ Estimado para uma altura de recalque entre 0 m e 50 m. Dividir kWh/mm/ha por 3,2 para estimar litros de diesel/mm/ha.

⁽³⁾ Depende do projeto, eficiência gerencial, qualidade de mão-de-obra, dentre outros.

Fonte: Adaptado de Marouelli e Silva (1998b).

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.4.9 Necessidade de água das plantas

Praticamente toda a água para suprir as necessidades das plantas é obtida do solo, em sua forma líquida, por meio das partes terminais do sistema radicular ou dos pelos radiculares. A transpiração é vital para as plantas, haja vista que essa faz com que a planta absorva do solo os nutrientes essenciais juntamente com a água. Da água absorvida, a planta retém cerca de 1 %, sendo o restante transferido para a atmosfera, em forma de vapor, pela transpiração. A água também se perde diretamente para a atmosfera por meio da evaporação do solo e da superfície vegetal molhada. A esse processo de perda conjunta de água do solo e da planta para a atmosfera dá-se o nome de evapotranspiração.

Em termos gerais, a evapotranspiração da cultura é máxima quando a umidade do solo é mantida próxima à capacidade de campo. À medida que o solo seca, há uma redução das perdas de água por evaporação. Quanto à transpiração das plantas, essa geralmente permanece no seu nível máximo na faixa entre a capacidade de campo e a umidade-limite de irrigação, reduzindo-se a partir do momento em que o solo seca além da umidade-limite, até ser anulada quando a umidade atinge o ponto de murcha permanente (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

De acordo com o estágio fenológico das plantas sabe-se a capacidade de evapotranspiração para cada fase da cultura. A seguir, pode-se ver alguns exemplos de coeficiente de cultura para cada fase de desenvolvimento de algumas hortaliças. Pode-se verificar exemplos de coeficiente de cultura (K_c) utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura na Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplos de coeficientes de cultura (K_c) utilizados para o cálculo da evapotranspiração da cultura.

Hortaliça	Fase de desenvolvimento			
	1 (inicial)	2 (vegetativa)	3 (produção)	4 (maturação)
Abóbora-seca	0,50	0,75	1,00	0,80
Abobrinha	0,50	0,75	1,00	0,80
Acelga	0,70	0,85	1,05	0,95
Aipo	0,70	0,85	1,05	0,95
Alcachofra	0,45	0,80	1,10	1,00
Alface	0,70	0,85	1,05	0,95
Alho	0,70	0,85	1,05	0,75
Alho-porro	0,70	0,85	1,05	0,95
Aspargo	0,45	0,75	0,95	0,35
Batata	0,45	0,75	1,15	0,75
Batata-doce	0,55	0,80	1,15	0,70
Berinjela	0,60	0,85	1,15	0,80
Beterraba	0,55	0,85	1,10	0,95
Brócolos	0,70	0,85	1,10	0,95
Cebola	0,70	0,85	1,05	0,75
Cebolinha	0,70	0,85	1,05	0,95
Cenoura	0,70	0,85	1,10	0,95
Couve-flor	0,70	0,85	1,10	0,95
Ervilha-seca	0,45	0,75	0,95	0,35
Ervilha-verde	0,45	0,80	1,10	1,00
Espinafre	0,70	0,85	1,05	0,95
Feijão-vagem	0,55	0,80	1,10	0,90
Grão-de-bico	0,45	0,75	0,95	0,35
Jiló	0,60	0,85	1,15	0,80
Lentilha	0,45	0,75	0,95	0,35
Mandioquinha-salsa	0,50	0,75	1,00	0,80
Melancia	0,45	0,75	1,05	0,75
Melão	0,50	0,80	1,05	0,75
Milho-doce	0,40	0,80	1,15	1,05
Morango	0,45	0,70	0,90	0,80
Pepino	0,60	0,80	1,05	0,80
Pimentão	0,55	0,80	1,10	0,90
Quiabo	0,50	0,75	1,00	0,80
Rabanete	0,70	0,80	0,95	0,85
Repolho	0,70	0,85	1,10	0,95
Rúcula	0,70	0,85	1,05	0,95
Soja-verde	0,45	0,80	1,10	1,00
Tomate industrial	0,50	0,65	0,95	0,60
Tomate de mesa	0,60	0,90	1,15	0,90

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

O método mais comum utilizado, que parte de dados empíricos, fornece a chamada evapotranspiração de referência, obtida pela Equação 2.7, obtida em (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (2.7)$$

Em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

K_c = coeficiente de cultura (adimensional);

ET_o = evapotranspiração do cultivo de referência (mm/dia);

Deve-se calcular também, a disponibilidade total de água no solo, que se dá por meio da Equação 2.8:

$$DTA = \frac{CC - PMP}{10} \cdot D_a \quad (2.8)$$

Em que:

DTA = disponibilidade total de água no solo (mm/cm);

CC = Capacidade de campo (% de peso seco);

PMP = Ponto de murcha permanente (% de peso seco);

D_a = densidade do solo (adimensional).

Outro aspecto importante para a irrigação convencional é o turno de rega, que segundo Marouelli, Silva e Silva (2008), é dado pela Equação 2.9:

$$TR = \frac{DTA}{ET_c} \cdot f \cdot Z \quad (2.9)$$

Em que:

TR = turno de rega (dia);

DTA = disponibilidade total de água no solo (mm/cm);

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

f = fração real de água disponível para a cultura (decimal);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Assim, pode-se calcular a lâmina d'água real necessária para suprir as necessidades hídricas das plantas, determinada pela Equação 2.10:

$$LRN = TR \cdot ET_c \quad (2.10)$$

Em que:

LRN = lâmina de água real necessária (mm).

Como nenhum sistema de irrigação é capaz de irrigar com 100 % de eficiência, é necessário que seja aplicada uma lâmina de água maior que LRN . Assim, a lâmina de água total necessária por irrigação é calculada a partir de LRN levando se em conta a eficiência do sistema de irrigação, dada pela Equação 2.11 (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

$$LTN = \frac{100 \cdot LRN}{Ei} \quad (2.11)$$

Em que:

LTN = lâmina de água total necessária (mm);

Ei = eficiência de irrigação (%).

2.5 Métodos de irrigação por aspersão

Existem diferentes métodos de irrigação disponíveis. Dentre eles, o mais comum é o de irrigação por aspersão, que consiste em regar a área por via aérea, simulando a chuva. Dentro das técnicas de irrigação por aspersão, destacam-se os sistemas convencionais (portátil, semiportátil e fixo), o autopropelido e o pivô central.

2.5.1 Sistemas de irrigação por aspersão convencionais

2.5.1.1 Portátil

No sistema convencional portátil, os componentes são deslocados manualmente, ao longo da área a ser irrigada. O custo inicial de aquisição é relativamente baixo, mas requer grande quantidade de mão-de-obra para as mudanças de posição dentro da área (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.5.1.2 Semiportátil

No sistema semiportátil, as linhas laterais e 05 aspersores são deslocados dentro da área, enquanto os demais componentes do sistema permanecem fixos (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008). Segue o esquema na Figura 3.

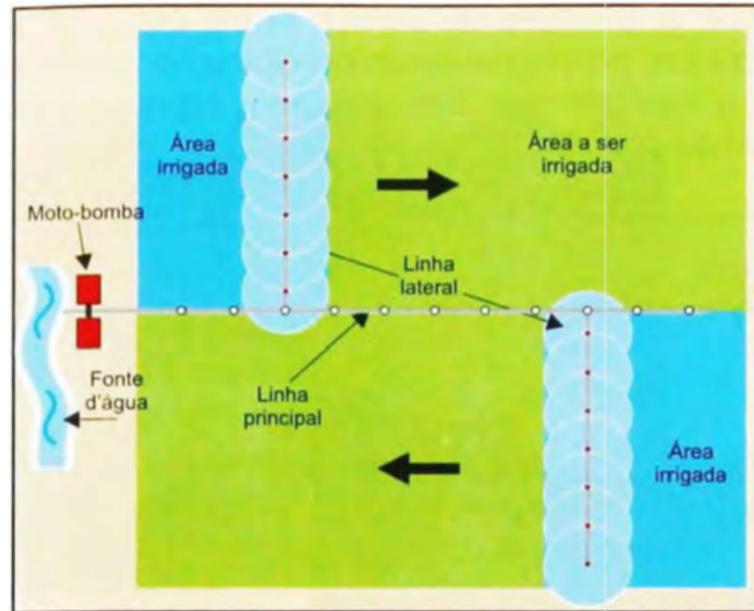


Figura 3 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão convencional semiportátil, com duas laterais móveis.

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008)

2.5.1.3 Autopropelido

Segundo Marouelli, Silva e Silva (2008) o autopropelido é um sistema mecanizado que irriga áreas de diferentes formatos e declividades, com baixa exigência de mão-de-obra. O equipamento é composto de uma tubulação de sucção, um conjunto motobomba, uma linha principal, um carretel enrolador e um carro irrigador, contendo um aspersor do tipo canhão ou uma barra irrigadora. O carretel enrolado é formado pelo conjunto motriz e carretel com mangueira de polietileno, montados sobre chassi com duas a seis rodas e acoplamento à barra de tração do trator. Segue esquema na Figura 4.

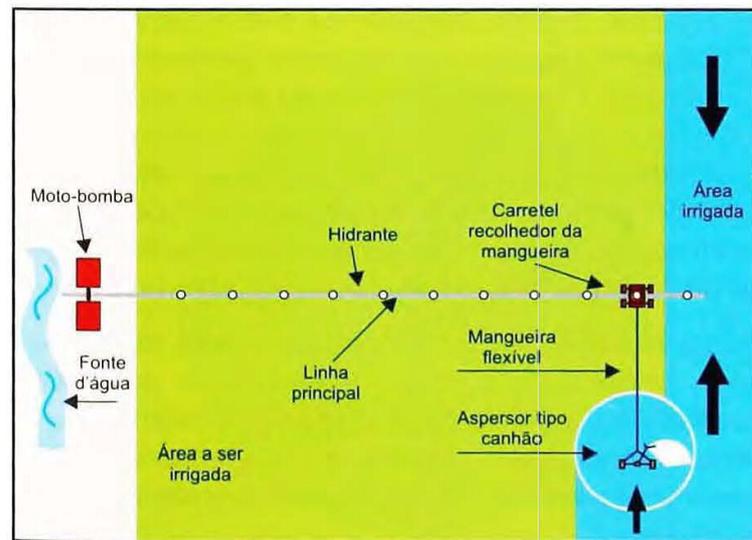


Figura 4 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão tipo autopropelido.

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.5.1.4 Pivô central

Segundo Marouelli, Silva e Silva (2008) o pivô central é um sistema mecanizado que irriga áreas circulares, operando a uma velocidade constante pré-estabelecida, para aplicar a lâmina de água desejada. Consiste de uma linha lateral de aspersores montada sobre torres com rodas, tendo uma extremidade ancorada no centro da área, por onde a água é fornecida, por meio de uma adutora ou poço profundo, e a outra girando em torno desse ponto (Figura 5). O comprimento da lateral varia de 100 m a 600 m, e a movimentação por meio de motores elétricos posicionados em cada torre. O pivô central apresenta como vantagens o uso reduzido de mão-de-obra, a maior uniformidade de distribuição de água e o menor uso de energia em relação a outros sistemas por aspersão convencional e autopropelido. Segue esquema na Figura 5.

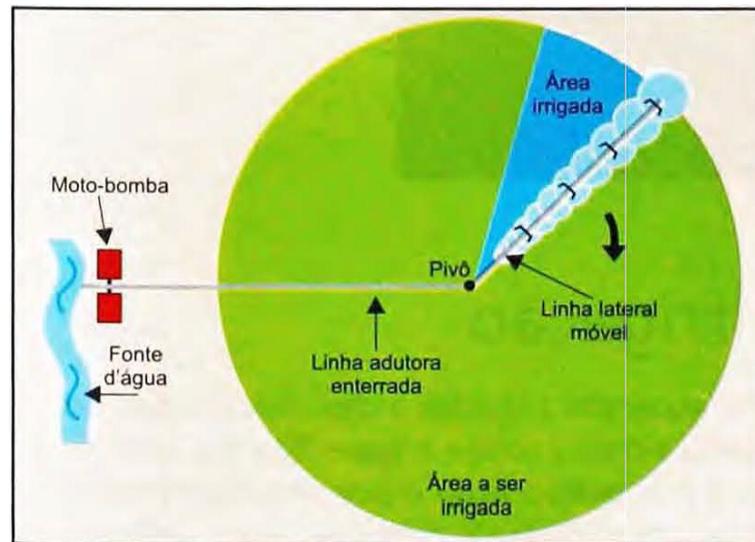


Figura 5 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central.

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.5.1.5 Fixo

No sistema fixo, todos os componentes são fixos, o que aumenta o custo do sistema, mas reduz expressivamente o uso de mão-de-obra e permite automatizar a irrigação (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Nos sistemas por aspersão convencional fixo, toda a tubulação, conjunto moto-bomba e os aspersores são fixos, sendo necessários somente a abertura e fechamento de registros. Neste sistema a mão de obra é reduzida, porém os investimentos são mais altos, pois a tubulação deverá ser instalada simultaneamente em toda área a ser irrigada (PEREIRA, 2014).

Esse sistema se harmoniza muito bem com o emprego da automação, utilizando válvulas solenoides no acionamento do conjunto de aspersores, como representado na Figura 6.

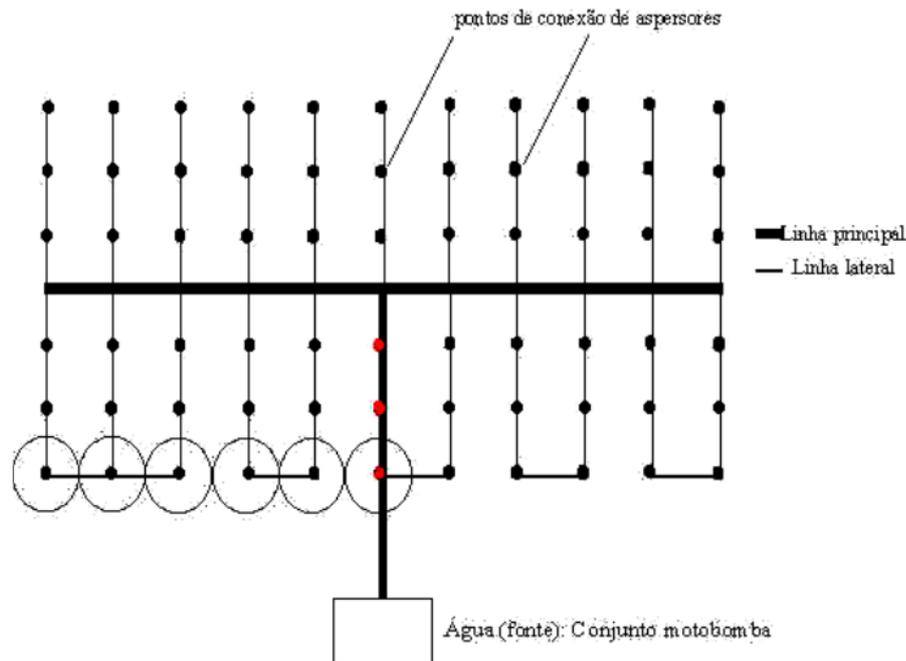


Figura 6 – Esquema de um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo.

Fonte: (PEREIRA, 2014).

2.6 Sistema por aspersão convencional

O dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação, que envolve, entre outros aspectos, a determinação dos diâmetros e dos comprimentos das tubulações e do tipo e da potência da motobomba, deve ser realizado por profissionais especializados, antes da compra e da implantação do sistema. Em sistemas mal dimensionados, a irrigação é desuniforme, o que compromete o desenvolvimento das plantas e aumenta o uso de energia e de água (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.6.1 Escolha do aspersor

A escolha do aspersor é normalmente realizada durante o dimensionamento do sistema de irrigação. Além do custo e da qualidade do equipamento, devem também ser considerados a área a ser irrigada, o raio de alcance, o número e o ângulo de inclinação dos bocais e a intensidade de aplicação de água do aspersor (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

O primeiro aspecto a ser considerado é o tamanho da área a ser irrigada. Considerando que os aspersores com maior raio de alcance requerem menor uso de mão-de-obra e possibilitam menor custo de projeto, pode ser adotado o seguinte critério geral: microaspersores (raio de alcance < 5 m) e aspersores de pequeno porte (raio de alcance entre 5 m e 15m) para as áreas pequenas (abaixo de 2 ha), aspersores médios (raio de alcance entre 15m e 25 m) para as áreas de tamanho médio (2 ha a 10 ha) e aspersores grandes (raio de alcance acima de 25 m) para as

áreas grandes (acima de 110 ha) (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Devem ser preferidos os aspersores com dois bocais, pois, de modo geral, proporcionam distribuição mais uniforme do que aqueles com bocal único, além de serem menos afetados pela ação do vento. Outro fator a ser considerado na escolha do aspersor é a intensidade de aplicação de água, a qual deve ser menor que a velocidade de infiltração básica do solo (V_{ib}). Sistemas com intensidade de aplicação maior que a V_{ib} podem provocar encharcamento e escoamento superficial de água, ou até mesmo erosão do solo. Não dispondo de dados da V_{ib} específicos para o solo a ser irrigado, pode-se usar, como guia, os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Texturas de solo e intervalos típicos de velocidade de infiltração básica (V_{ib}) para diferentes classes texturais.

Textura	V_{ib} (mm/h) ⁽¹⁾	Classe textural
Grossa	40–150	Areia, areia franca, franco arenoso
Média	15–40	Franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso, silte
Fina	1–15	Franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila, muito argiloso

Obs.: solos de Cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito de cálculos de irrigação, como de textura média.

⁽¹⁾ Presença de camada compactada reduz substancialmente a V_{ib} do solo.

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.6.2 Vazão e raio de alcance do aspersor

A vazão do aspersor, que depende da pressão de serviço e do diâmetro dos bocais, também pode ser obtida de catálogos dos fabricantes. O raio de alcance do aspersor, que é igual à metade do diâmetro molhado, pode ser obtido no catálogo do fabricante. Varia conforme a pressão de serviço e as características do aspersor (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.6.3 Espaçamento entre aspersores

A utilização do espaçamento correto entre aspersores é fundamental para que o sistema de irrigação aplique a água às plantas com uniformidade de distribuição aceitável. Como regra geral, o espaçamento deve ser tal que um aspersor seja capaz de jogar a água no "pé" do outro. Esse critério, todavia, não considera o efeito do vento sobre a eficiência de irrigação. Como o comprimento padrão de tubos de irrigação é de 6 m, os espaçamentos a serem utilizados são múltiplos de 6 m (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.6.4 Intensidade de aplicação de água

Alguns catálogos de aspersores trazem informações sobre a intensidade de aplicação de água para diferentes combinações de pressão de serviço e espaçamento entre aspersores (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Tais aspectos são encontrados em tabelas, fornecidas pelos fabricantes.

2.7 Manejo prático

2.7.1 Evapotranspiração e fases da cultura

O passo inicial para a realização do manejo é estabelecer as fases de desenvolvimento da cultura para as quais as irrigações devem ser manejadas de forma distinta. Em geral, as hortaliças apresentam quatro fases distintas de desenvolvimento com relação às necessidades hídricas. A caracterização de cada fase, para a maioria das hortaliças, pode ser definida como se mostra a seguir (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008):

- Fase 1 (inicial) - do plantio até a emergência das plântulas ou do transplante até o pegamento das mudas.
- Fase 2 (vegetativa) - do final da fase 1 até 80 % do máximo desenvolvimento vegetativo (plena floração) .
- Fase 3 (produção) - do final da fase 2 até o início da maturação ou da pré-colheita .
- Fase 4 (pré-colheita; maturação) - do final da fase 3 até a colheita .

Os valores de temperatura e umidade relativa podem ser obtidos a partir de séries históricas mensais disponíveis para a região onde será realizado o cultivo. Esses dados podem, muitas vezes, ser obtidos nos escritórios locais de extensão rural ou em prefeituras (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

A Tabela 5 mostra um exemplo de valores de evapotranspiração da cultura para milho-doce (mm/dia), conforme a umidade relativa (UR_m) e temperatura (T_m) média do ar e a fase de desenvolvimento.

Tabela 5 – Evapotranspiração da cultura para milho-doce (mm/dia) , conforme a umidade relativa (UR_m) e temperatura (T_m) média do ar e a fase de desenvolvimento.

UR _m (%)	Temperatura (°C)													
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Fase 1 (inicial)¹⁾														
40	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0
45	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6
50	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2
55	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
60	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
65	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9
70	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5
75	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
80	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7
85	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
90	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
Fase 2 (vegetativa)														
40	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,3	5,8	6,4	6,9	7,5	8,1	8,7	9,4	10,0
45	2,9	3,2	3,6	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2
50	2,6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,2	6,7	7,3	7,8	8,4
55	2,4	2,6	3,0	3,3	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5
60	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,7
65	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8
70	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0
75	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2
80	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
85	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5
90	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7
Fase 3 (formação de espiga e enchimento de grão)														
40	4,5	5,1	5,7	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,9	10,8	11,6	12,5	13,5	14,4
45	4,1	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,9	10,7	11,5	12,3	13,2
50	3,8	4,2	4,7	5,2	5,8	6,4	7,0	7,6	8,3	9,0	9,7	10,4	11,2	12,0
55	3,4	3,8	4,3	4,7	5,2	5,7	6,3	6,9	7,5	8,1	8,7	9,4	10,1	10,8
60	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,2	7,8	8,3	9,0	9,6
65	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,4
70	2,3	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,7	7,2
75	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,6	6,0
80	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8
85	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6
90	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4
Fase 4 (pré-colheita)														
40	4,1	4,6	5,2	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2
45	3,8	4,2	4,7	5,3	5,8	6,4	7,0	7,7	8,3	9,0	9,7	10,5	11,3	12,1
50	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3	5,8	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,5	10,2	11,0
55	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	5,2	5,7	6,3	6,8	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9
60	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,2	8,8
65	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,7
70	2,1	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,6
75	1,7	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5
80	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4
85	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
90	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Contudo, na prática da pequena produção rural, muitos agricultores utilizam de técnicas empíricas para o manejo, seja por falta de informação, ou falta de acesso ao suporte técnico dos órgãos responsáveis pelo fomento à agricultura. Soma-se isso às diversidades de microclimas existentes, causa-se ainda mais imprecisão no devido manejo da água para irrigação.

2.7.2 Capacidade de armazenamento de água no solo

Segundo Marouelli, Silva e Silva (2008) para fins de manejo, é necessário conhecer a capacidade de armazenamento de água do solo para, conforme a evapotranspiração da cultura, determinar o intervalo entre irrigações, em cada fase de desenvolvimento das plantas. Muitas vezes, o produtor já dispõe da análise da textura do solo a ser irrigado, considerando que é uma informação frequentemente requerida por bancos para a liberação de financiamentos agrícolas. Caso não disponha dessa informação e o irrigante não se sinta habilitado para classificar o solo, a análise textural pode ser feita em laboratórios de análise de solos.

2.7.3 Profundidade efetiva do sistema radicular

Na Tabela 6, são apresentados valores de profundidade efetiva de raízes, de acordo com a fase de desenvolvimento, para diversas hortaliças. Todavia, por ser intensamente afetada por diversos fatores, é desejável avaliar a profundidade no próprio local de cultivo, para cada fase de desenvolvimento da cultura (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

Tabela 6 – Sugestão de profundidade efetiva do sistema radicular (Z) de hortaliças, nas diferentes fases de desenvolvimento.

Hortaliça	Z (cm) ⁽¹⁾		Hortaliça	Z (cm) ⁽¹⁾	
	Fase 2	Fases 3 e 4		Fase 2	Fases 3 e 4
Abóbora-seca	20	45	Espinafre	30	50
Abobrinha	20	40	Feijão-vagem	20	40
Acelga	15	30	Grão-de-bico	30	50
Aipo	20	40	Jiló	20	40
Alcachofra	20	40	Lentilha	25	50
Alface	15	20	Mandioquinha-salsa	20	40
Alho	20	30	Melancia	30	40
Alho-porro	20	30	Melão	20	30
Aspargo	30	50	Milho-doce	30	50
Batata	20	30	Morango	15	25
Batata-doce	30	50	Pepino	20	40
Berinjela	20	40	Pimenta	25	45
Beterraba	30	40	Pimentão	25	45
Brócolos	20	30	Quiabo	30	50
Cebola	20	40	Rabanete	10	15
Cebolinha	15	30	Repolho	20	30
Cenoura	20	40	Rúcula	10	20
Couve-flor	20	30	Soja-verde	30	50
Ervilha	30	50	Tomate	25	45

⁽¹⁾ A profundidade de raízes pode variar grandemente conforme as condições de solos. Valores mais confiáveis devem ser determinados por meio de observações de campo para cada fase da cultura. Fonte: Adaptado de Marouelli et al. (1996).

Fonte: (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.7.4 Adequação do tempo de irrigação

Variações climáticas bruscas ou a ocorrência de chuvas afetam esquemas pré-definidos de irrigação. Isso ocorre principalmente durante a estação chuvosa; em regiões ou estações secas, tais problemas são mínimos e adequações no tempo de irrigação são, geralmente, desnecessárias. Caso ocorram chuvas significativas (acima de 5 mm), a próxima irrigação deve ser reprogramada. As hortaliças apresentam determinadas fases de desenvolvimento onde a deficiência de água ocasiona redução de produtividade maior do que em outras. Em geral, o período crítico ocorre na fase em que o produto ou órgão da planta a ser comercializado está se desenvolvendo. Nessas fases deve-se ter atenção especial, não permitindo que a irrigação seja realizada de forma deficitária ou ineficiente (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008).

2.8 Componentes do sistema de irrigação por aspersão fixa

2.8.0.1 Aspersores

A seleção do modelo do aspersor é de grande importância, pois ele vai garantir a lamina d'água necessária para a cultura. Na Figura 7 pode-se ver exemplos de diversos aspersores.



Figura 7 – Modelos variados de aspersores.

Fonte: (PEREIRA, 2014)

2.8.0.2 Tubulação

A escolha da tubulação utilizada deve levar em conta o custo e a durabilidade, e seu diâmetro deve ser dimensionado de acordo com a perda de carga que ela proporciona, seguindo valores razoáveis para se poder dimensionar uma bomba de potência mais baixa possível, a fim de economia de energia elétrica. No mercado pode-se encontrar tubulações de aço galvanizado, ou de PVC, sendo essa, mais durável devido à resistência a corrosão. A seguir, um exemplo de tubo soldável de PVC (Figura: 8).

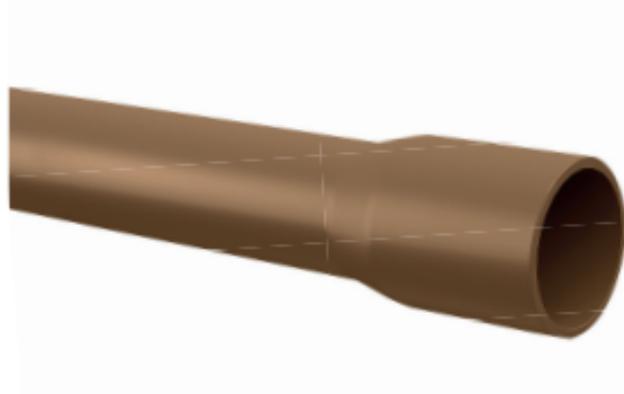


Figura 8 – Tubo soldável de PVC.

Fonte: (TIGRE S/A, 2016)

2.8.0.3 Válvulas solenoides

Para fazer a seleção da linha de aspersores a ser acionada, usa-se um conjunto de válvulas solenoides, que se abrem a partir de um comando elétrico, se abrem ou se fecham. A seguir, na Figura 9 pode-se ver um exemplo de válvula solenoide.



Figura 9 – Válvula solenoide.

Fonte: (HUNTER INDUSTRIES, 2018).

2.8.0.4 Válvulas de comando hidráulico

As válvulas de comando hidráulico utilizadas em irrigação localizada geralmente são operadas eletricamente por uma solenoide montada diretamente sobre a válvula, ou por comando hidráulico de um sistema remoto de solenoides. Em ambos os casos, diz-se que a solenoide atua como válvula piloto. De modo geral, as válvulas de comando hidráulico possuem o mesmo princípio de funcionamento. Quando a pressão hídrica a montante da rede é transferida para a câmara do diafragma, ocorre o fechamento da válvula. Por outro lado, quando a pressão da câmara é aliviada, a válvula se abre. As válvulas solenoides são responsáveis por realizar essa manobra de fluxo de água para as câmaras do diafragma das válvulas de comando hidráulico. As válvulas de comando hidráulico são uma alternativa que pode ser mais viável economicamente, e isto deve ser considerado na confecção do projeto. A Figura 10 mostra os componentes de uma válvula de controle hidráulico.

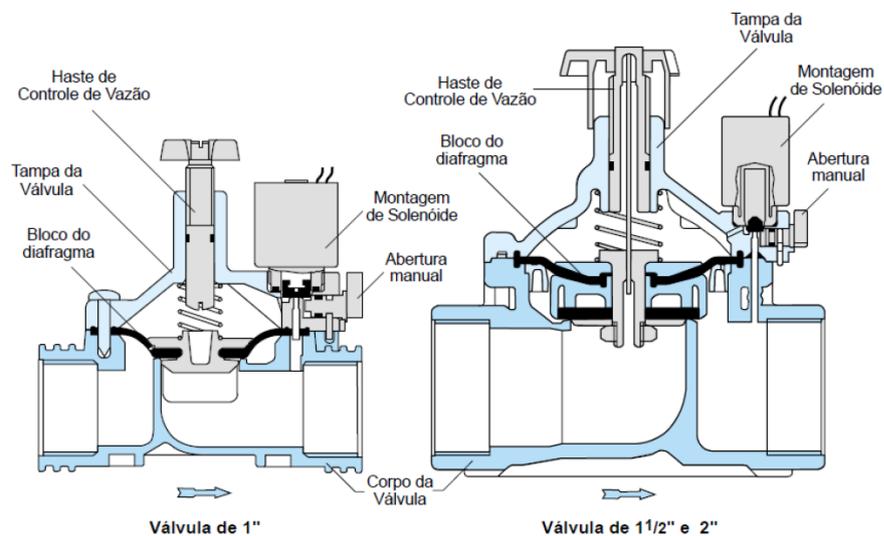


Figura 10 – Componentes de uma válvula de comando hidráulico.

Fonte: Adaptado de (BERMAD, 2000)

Existem dois modos de controle:

- controle interno por duas vias;
- controle por três vias.

Em ambos os casos, quando a solenoide está desenergizada e a válvula hidráulica está aberta, denomina-se configuração normalmente aberta. Já quando a válvula solenoide está desenergizada e a válvula hidráulica está fechada, denomina-se configuração normalmente fechada.

No controle interno por duas vias a válvula solenoide é instalada juntamente com a válvula hidráulica (Figura 11). Portanto, na configuração normalmente fechada, quando a válvula

solenoide está desenergizada, ocorre acúmulo de pressão dentro da câmara do diafragma, forçando o fechamento da válvula (Figura 11a). Quando a solenoide é energizada, ocorre a liberação da água retida na câmara do diafragma, o que faz a válvula abrir (Figura 11b).

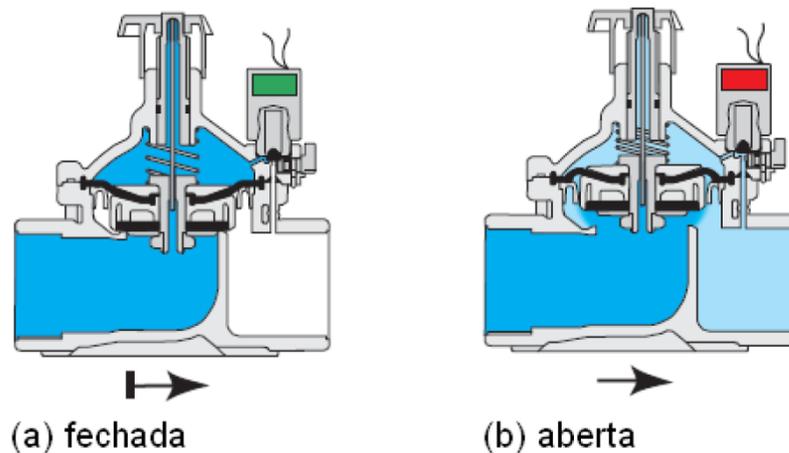


Figura 11 – Modos de operação da válvula de comando hidráulico controlada por duas vias na configuração normalmente fechada.

Fonte: Adaptado de (BERMAD, 2000)

A Figura 12 mostra uma válvula de comando hidráulico controlada por duas vias na configuração normalmente aberta. Seu princípio de funcionamento é o mesmo descrito anteriormente para a configuração normalmente fechada, mudando apenas o estado de energização da solenoide.

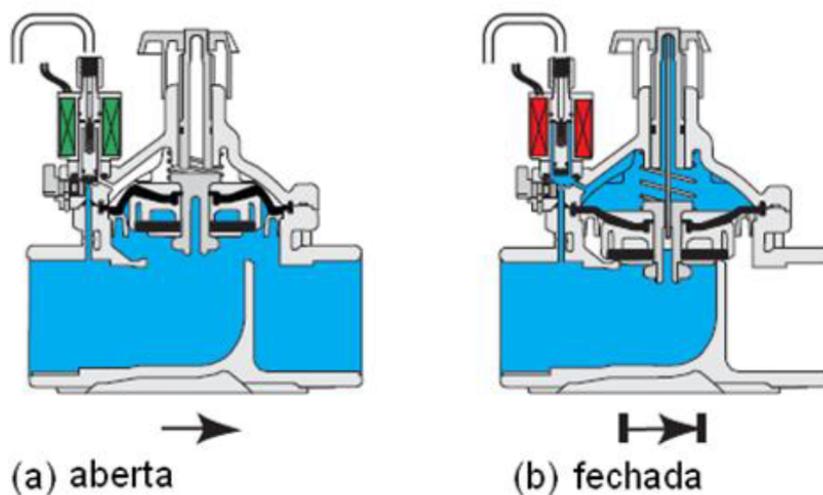


Figura 12 – Modos de operação da válvula de comando hidráulico controlada por duas vias na configuração normalmente aberta.

Fonte: Adaptado de (BERMAD, 2000)

A Figura 13 mostra as duas condições de operação de uma válvula hidráulica controlada por três vias: (a) fechada e (b) aberta. Observe que, quando a solenoide direciona o fluxo água para a câmara do diafragma, a válvula se fecha. Já quando a solenoide libera a pressão da câmara do diafragma, a válvula se abre.

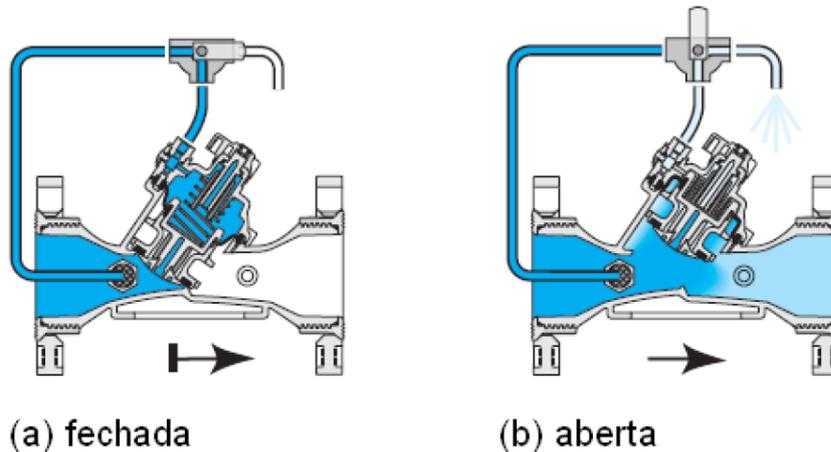


Figura 13 – Modos de funcionamento da válvula hidráulica de três vias.

Fonte: Adaptado de (BERMAD, 2000)

Neste caso, pode-se montar um conjunto de válvulas solenoides na estação para controlar as válvulas hidráulicas localizadas no campo (Figura 14). Apenas os tubos de controle vão até as válvulas hidráulicas. A vantagem dessa configuração é que as solenoides ficam mais protegidas em relação às condições adversas do campo. Além do mais, como elas são montadas em conjunto na estação, a detecção de defeitos e a realização de manutenção se tornam mais fáceis.



Figura 14 – Conjunto de válvulas solenoides.

Fonte: Adaptado de (BERMAD, 2000)

2.8.0.5 Válvula ventosa

Faz-se necessário o uso de uma válvula ventosa (Figura 15) no sistema, pois, Essa válvula serve para permitir a saída do ar que tenha ficado ou entrado na tubulação, principalmente nos pontos mais altos que tenham formato de sifão. Também serve para permitir a entrada de ar onde ocorre redução de pressão em pontos altos, facilitando o esvaziamento da tubulação, isso evita que ela se rompa caso haja formação de vácuo.



Figura 15 – Válvula ventosa

Fonte: (TIGRE S/A, 2016).

A válvula possui um obturador (Figura 16) no seu interior, é esse componente que bloqueia a saída d'água depois que o ar sai da tubulação.



Figura 16 – Obturador da válvula ventosa

Fonte: (TIGRE S/A, 2016).

2.8.0.6 Válvulas de retenção

Quando a bomba é desligada, a água que estava sendo bombeada para cima tende a descer. A válvula automaticamente segura o retorno desta água, evitando que ela cause grande impacto na bomba. A válvula de retenção é representada pela Figura 17.



Figura 17 – Válvula de retenção

Fonte: (TIGRE S/A, 2016).

2.8.0.7 Válvula de pé com crivo

A válvula de pé com crivo (Figura 18) é indicada para uso nas tubulações de sucção de água para:

- manter o tubo de sucção cheio de água, evitando que entre ar na bomba;
- evitar a entrada de resíduos que possam danificar a bomba, através do crivo.



Figura 18 – Válvula de pé com crivo

Fonte: (TIGRE S/A, 2016).

2.8.0.8 Conjunto moto-bomba

O conjunto motobomba consiste em um motor acoplado a uma bomba de sucção. A motobomba pode ser monofásica ou trifásica, dependendo da fonte de energia disponível. Pode-se selecionar também bombas monoestágio ou multiestágio. A seleção é feita através de uma tabela fornecida pelos fabricantes. A seguir, na Figura 19, exemplos de motobombas.



Figura 19 – Exemplos de conjuntos motobomba.

Fonte: (SCHNEIDER, 2016).

A Figura 20 representa a montagem dos componentes hidráulicos ao conjunto motobomba.

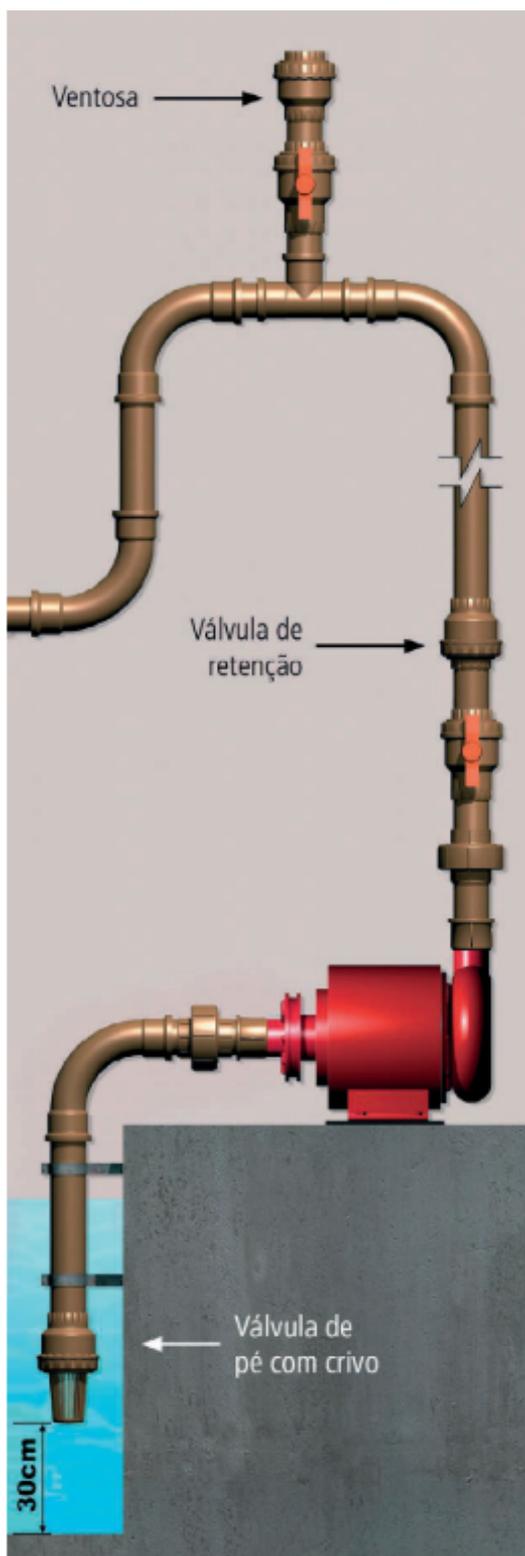


Figura 20 – Esquema de montagem

Fonte: (TIGRE S/A, 2016).

2.9 Irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água

Segundo [Rêgo Segundo \(2010\)](#), tanto o excesso quanto a falta de água são fatores que afetam a produtividade das lavouras irrigadas e, conseqüentemente, o retorno econômico desse sistema de produção. Portanto, é interessante estabelecer um ponto ótimo entre a quantidade mínima de água aplicada e a máxima produtividade da cultura.

Para tentar estabelecer um ponto ótimo entre a quantidade mínima de água aplicada e a máxima produtividade de diversas culturas, o sistema de Irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água, utiliza de sensores eletrônicos para mesurar o teor de água do solo.

Foi desenvolvido por [Rêgo Segundo \(2010\)](#), um sensor de baixo custo, com o princípio de funcionamento baseado na capacitância de um capacitor, tendo como dielétrico o material de solo entre as hastes que formam os sensores. Assim, quando houver variação na constante dielétrica do solo localizado entre as hastes, devido à presença de água, a capacitância do sensor também irá variar.

Aliado ao desenvolvimento do sensor, foi criado por [Rêgo Segundo et al. \(2015\)](#) um sistema chamado IrrigoSystem, que consiste em vários sensores distribuídos pela área de cultivo, a fim de monitorar em tempo real o teor de água do solo. Os sensores são conectados a uma pequena central de comunicação, que utiliza rádio frequência para enviar os dados a um controlador. O programa do controlador permite que o manejo da irrigação seja realizado em função do tempo de funcionamento do sistema e, ou, de acordo com a avaliação do teor de água do solo, conforme a estratégia de controle de irrigação predefinida. Com essa implementação é possível irrigar durante a noite, a fim de melhorar a distribuição de água ao longo do dia, evitando picos de consumo. Obtém-se também aumento na eficiência do sistema de irrigação, visto que, à noite, as perdas de água por evaporação e transporte pelo vento são minimizadas. Além disso, entre 21:30H e 6:00H, a tarifa de energia elétrica no meio rural é menor, segundo os artigos 107 e 108 da Resolução Normativa nº 414 da Aneel.

2.9.1 IrrigoSystem

O IrrigoSystem possibilita um conjunto de soluções para o agricultor economizar água e energia elétrica necessários aos sistemas de irrigação, além de contribuir para o aumento da produtividade das lavouras, de forma sustentável. Trata-se de um sistema de monitoramento capaz discriminar as seguintes características do solo: teor volumétrico de água do solo, condutividade elétrica e temperatura do solo, além da temperatura do próprio equipamento. Tais parâmetros podem ser utilizados para calcular de forma indireta até mesmo a necessidade precisa de fertilizantes no solo para determinada cultura pela comparação da condutividade elétrica dos componentes do

solo. O sistema é composto por três partes: as estações remotas de monitoramento da umidade do solo, um dispositivo para acionar o sistema de bombeamento e direcionamento de fluxo de água, e um programa de computador para realizar aquisição de dados e controlar o acionamento do sistema de irrigação.

2.9.1.1 Componentes do sistema

O Irrigosystem (Pedido de Patente BR 102013013220-9), é um sistema composto por três partes: as estações remotas de monitoramento da umidade do solo, um dispositivo para acionar o sistema de bombeamento e direcionamento de fluxo de água, e um programa de computador para realizar aquisição de dados e controlar o acionamento do sistema de irrigação.

1. Estações remotas de monitoramento da umidade do solo, ou seja, o quanto o solo está seco ou molhado. Dessa forma, o sistema de irrigação pode ser acionado no momento adequado e durante o tempo necessário para o melhor desenvolvimento da lavoura, proporcionando economias de água e de energia elétrica. Além disso, os sensores também medem o teor de salinidade do solo, para auxiliar no manejo, correção e fertilização do solo. As estações de monitoramento possuem autonomia de energia elétrica, devido ao uso de placas fotovoltaicas que captam a energia solar. Ou seja, não há necessidade de levar cabos de energia até o ponto de instalação e muito menos de cabos para transmissão das informações dos sensores, pois isso é realizado via rede sem fio. Além disso, os sensores do IrrigoSystem foram construídos com materiais especiais para garantir alta durabilidade, podendo ser utilizadas por vários anos, sem necessidade de manutenção.

De acordo com [Rêgo Segundo et al. \(2015\)](#) os sensores de teor de água do solo foram desenvolvidos com base na medição da impedância elétrica do material do solo localizado entre duas hastes paralelas de aço inoxidável. Para a construção das sondas foram utilizados vergalhões de aço inoxidável (comprimento = 130 mm, diâmetro = 3 mm), resina líquida de poliéster, sensor de temperatura semicondutor (LM35), cabo de cinco vias e tampas de tomadas elétricas, segundo o esquema mostrado na [Figura 21](#).

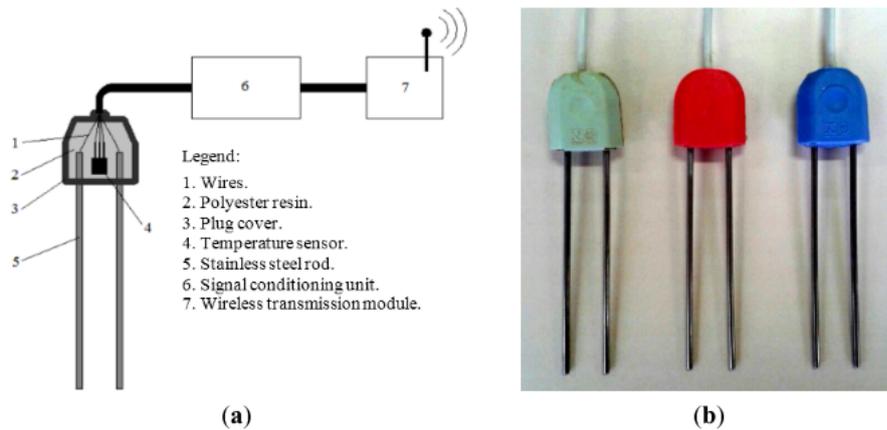


Figura 21 – (a) Sonda para medição do teor de água e condutividade elétrica aparente do solo; (b) Sondas para medição de temperatura, condutividade elétrica e constante dielétrica relativa. .

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

A seguir pode-se ver a instalação do sensor, na Figura 22.



Figura 22 – Instalação do sensor.

Fonte: (IRRIGOSYSTEM, 2018).

Diante da dificuldade de se instalar fios e cabos na área a ser cultivada, além da possibilidade

de que eles sejam danificados por equipamentos agrícolas, desenvolveu-se uma rede sem fio para realizar a transmissão dos dados de cada sensor até o painel controlador, baseada no padrão IEEE 802.15.4 (XBEE/XBEE-PRO, 2008). A transmissão sem fio dos sinais de cada sensor até o painel de acionamento é feita por meio de módulos de rádio que operam em uma frequência de 2,4 GHz, possuem taxa de transmissão de até 250 kbps e têm alcance de transmissão de mais de 1,6 km (Rêgo Segundo, 2010).

O esquema de transmissão sem fio pode ser verificado na Figura 23.

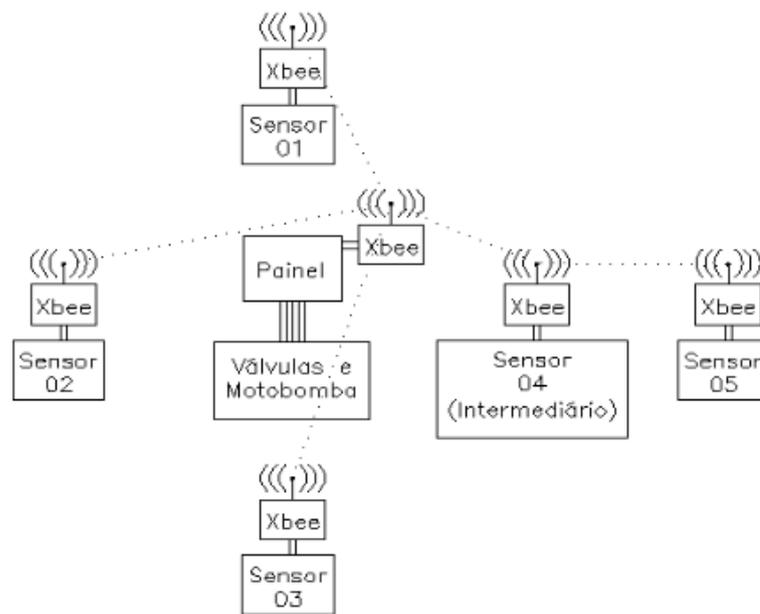


Figura 23 – Esquema da transmissão sem fio dos sinais de cada grupo de sensores até o painel de acionamento.

Fonte: (Rêgo Segundo, 2010).

Pode-se ver também o módulo de comunicação instalado, na Figura 24.



Figura 24 – Módulo de comunicação instalado.

Fonte: (IRRIGOSYSTEM, 2018).

2. Um dispositivo para acionar o sistema de bombeamento e as válvulas direcionadoras de fluxo de água, por meio de relés de estado sólido. Uma das saídas também pode ser utilizada para controlar o sistema de fertirrigação. Esse módulo se comunica tanto com os sensores quanto com o computador por meio da rede sem fio do sistema, como mostra a Figura 25.



Figura 25 – Dispositivo de acionamento de válvulas

Fonte: (IRRIGOSYSTEM, 2018).

Segundo **Rêgo Segundo (2010)**, os programas dos microcontroladores foram elaborados em linguagem de programação C. O programa do microcontrolador possui quatro modos de operação: **manual**, **timer**, **auto** e **smart**.

- **manual** - o acionamento da bomba e das válvulas é feito por meio de botões. As válvulas são acionadas sequencialmente, uma após a outra.
- **timer** - determina-se, por meio de botões, o tempo de funcionamento de cada válvula e o horário de início do acionamento diário do sistema.
- **auto** - semelhante ao modo timer; no entanto, o acionamento é condicionado pelo sinal do sensor. Se o sensor de um determinado setor realizar uma leitura superior ao parâmetro limite superior, a válvula que direciona a água para este setor é desativada. Então, aciona-se a próxima válvula, exceto se a leitura dos sensores deste outro setor também já tiver atingido este limite superior de teor de água. Determinam-se os parâmetros limite superior e limite inferior por meio de botões, visualizando-os no visor de cristal líquido.
- **smart** - determina-se o tempo de funcionamento de cada válvula e os parâmetros limite inferior e limite superior do sensor. Ao decorrer do dia, se o sinal do sensor de um setor estiver menor do que o parâmetro limite inferior a bomba e a válvula que direciona a água para este setor são acionadas até que o sinal do sensor se torne maior do que o parâmetro limite superior ou até esgotar-se todo o tempo de funcionamento da válvula. Os tempos de funcionamento das válvulas são atualizados diariamente.

Para os modos **timer**, **auto** e **smart**, é possível selecionar os dias da semana nos quais o sistema deve entrar em operação.

3. Um programa de computador para realizar aquisição de dados e controlar o acionamento do sistema de irrigação. Por meio dele você pode gerenciar o sistema, visualizar as medições dos sensores em tempo real e verificar o histórico dos dados na forma de gráficos ou planilhas, com a possibilidade de exportá-los para o Excel. Se houver disponibilidade de internet no local de operação do sistema, você poderá acessá-lo de qualquer lugar do mundo. Segue imagem da interface do programa na Figura 26.



Figura 26 – Programa de computador para aquisição de dados e interface com o usuário

Fonte: (IRRIGOSYSTEM, 2018).

2.9.2 Operação do painel controlador

Segundo Rêgo Segundo (2010), os modos de operação do painel controlador são ajustados por meio de seus botões e são visualizados no seu mostrador de cristal líquido, representado na Figura 27.



Figura 27 – Ilustração do mostrador de cristal líquido

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

Na Figura 27, o dígito “1.” indica a página atual de configuração selecionada, “14:20” indica a hora atual, “Manual” indica o programa de operação selecionado, “St1” indica que o setor 1 está selecionado e “11,7%” indica o teor de água do solo médio do setor 1.

No painel controlador, existem 5 botões (Figura 28). O botão da direita é utilizado para alterar a página de configuração atual. Os quatro botões de alteração de parâmetros (acima,

abaixo, esquerdo e direito) servem para alterar os parâmetros de configuração. Figura 17: Detalhe dos botões e dos LEDs do painel controlador.



Figura 28 – Detalhe dos botões e dos LEDs do painel controlador.

Fonte: Adaptado de (IRRIGOSYSTEM, 2018).

Na página “1”, o botão vermelho (“direita”) serve para ligar e desligar o sistema de irrigação. Os botões “acima” e “abaixo” servem para mudar de setor. O botão “esquerdo” serve para selecionar o modo de operação: “Manual”, “Timer”, “Automático” ou “Smart”.

Na página “2”, os botões “cima” e “baixo” servem para aumentar ou diminuir os valores de hora e minuto. Os botões, “esquerdo” e “direito”, servem para selecionar qual parâmetro será ajustado: hora ou minuto (Figura 29).



Figura 29 – Página 2: ajuste do relógio do painel controlador.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

Na página três é possível ajustar o tempo de funcionamento de cada setor (Figura 30).



Figura 30 – Página 3: ajuste do tempo de funcionamento dos setores.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

O tempo de funcionamento de cada setor é visualizado na página “1” quando o modo de operação selecionado for “Timer”, “Auto” ou “Smart”, indicando o tempo restante de funcionamento do setor atual, de forma decrescente (Figura 31).

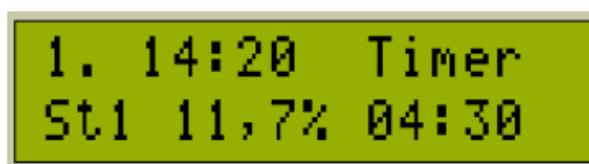


Figura 31 – Detalhe do tempo restante de funcionamento de cada setor.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

A página “4” é destinada ao ajuste da hora na qual o sistema deve iniciar sua operação (Figura 32).



Figura 32 – Página 4: ajuste da hora de iniciar a operação do sistema.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

Na página “5”, podem ser ajustados os parâmetros limite inferior e limite superior (Figura 33). Portanto, pode-se escolher, por exemplo, que o sistema de irrigação seja ligado, quando o teor de água do solo for menor do que 3,2%, e desligado quando o teor de água aumentar acima de 10,1%.



Figura 33 – Página 5: ajuste dos parâmetros limite superior e limite inferior.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

Na página “6”, pode-se definir uma faixa de horário na qual o sistema não deve entrar em funcionamento. Esse parâmetro só tem função no modo de operação “Smart” (Figura 34).



Figura 34 – Página 6: configuração de horário de exclusão de funcionamento do sistema.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

Na página “7”, podem ser definidos os dias da semana em que o sistema deve entrar em funcionamento (Figura 35).



Figura 35 – Página 7: configuração dos dias de funcionamento do sistema.

Fonte: (Rêgo Segundo et al., 2015).

3 Metodologia

Para dimensionar o sistema de irrigação automatizado proposto, realizou-se uma pesquisa de natureza qualitativa-quantitativa, de objetivo exploratório, com a técnica de pesquisa bibliográfica e entrevista para coleta de dados, em um estudo de caso único, em que os dados foram analisados pela técnica de análise de estudo.

O trabalho foi realizado em quatro etapas:

- Levantamento dos requisitos para o dimensionamento de um sistema de irrigação.
- Coleta de dados sobre as características específicas da área, cultura e do solo da propriedade.
- Análise de estudo e dados coletados.
- Dimensionamento do sistema de sistema de controle e automação para manejo de irrigação.

3.1 Levantamento dos requisitos para o dimensionamento de um sistema de irrigação

Verificou-se primeiramente, por meio da revisão da bibliografia, quais são os requisitos o dimensionamento de um sistema de irrigação aspersão. Segundo [Marouelli, Silva e Silva \(2008\)](#) as etapas são:

- Análise da qualidade da água para irrigação

A análise da qualidade da água deve levar em conta os aspectos físicos, químicos e sanitários. Tais exames devem ser feitos em laboratórios específicos, uma vez que as especificidades destes exames fogem do objeto central de estudo da pesquisa. A confirmação da qualidade da água foi fornecida pelo proprietário por meio de uma entrevista semi-estruturada.

- Análise da relação Solo-água-planta-clima

Nesta etapa do projeto deve-se pontuar os parâmetros relevantes para projetar o sistema de irrigação. Após verificar a qualidade da água, deve-se avaliar, em laboratório, a fertilidade do solo, e se necessário, fazer sua devida correção, adicionando nutrientes. Deve-se observar também, a textura, e a capacidade de campo. O ponto de murchamento também é um parâmetro relevante, porém, depende das plantas a serem cultivadas. Outra observação relevante diz respeito ao clima da região, bem como a altitude.

Após estas análises, pode-se partir para o cálculo da lâmina de água máxima a ser repostada no solo, para o posterior dimensionamento do sistema de irrigação. A partir da Equação 2.6, pode-se dimensionar a lâmina de água real disponível para as plantas, e a partir dela, saber quanto de água deve ser repostada por meio da irrigação. A lâmina real de água disponível no solo leva em conta que o limite inferior de umidade terá como referência um valor arbitrário denominado umidade limite de irrigação (UI), que deve ser maior que o ponto de murcha permanente (PMP) e menor que a capacidade de campo (CC), garantindo assim que a planta sempre tenha água disponível para manter suas funções metabólicas saudáveis.

De posse da lâmina real disponível para as plantas, deve-se calcular a evapotranspiração, que será a umidade perdida pelo solo, em forma de evaporação e transpiração das plantas. A evapotranspiração depende do estágio fenológico da planta. Pode-se estimar este valor por meio da Equação 2.7, que por sua vez, depende do valor do coeficiente de cultura (K_c) presente na Tabela 3 de acordo com a planta e o estágio fenológico da mesma. Com isto, deve-se calcular o turno de rega, por meio da Equação 2.9.

Após isto, deve-se prosseguir para o cálculo da lâmina real necessária, por meio da Equação 2.10, e então, levando em conta a Tabela 2, calcular a lâmina de água total necessária, por meio da Equação 2.11 que será a lâmina a ser repostada no intervalo do turno de rega, por meio de irrigação.

3.2 Dimensionamento do modelo de irrigação

3.2.1 Escolha do modelo de irrigação

A escolha do sistema de aspersão deve levar em conta eficiência da irrigação, investimento inicial, uso de energia e mão de obra. Pode-se consultar a Tabela 2 para saber a eficiência do sistema a ser escolhido. O sistema abordado no presente trabalho será o de aspersão fixa.

3.2.2 Escolha dos componentes do sistema de irrigação por aspersão fixa

- Aspersores:

O critério adotado para a escolha dos aspersores deve seguir os dados da Tabela 7:

Tabela 7 – Regra geral para escolha dos aspersores

Porte da área	Tipo do aspersor	Raio de alcance
abaixo de 2ha	microaspersor	abaixo de 5m
abaixo de 2ha	pequeno porte	de 5m a 15m
de 2ha a 10ha	médio porte	de 15m a 25m
acima de 10ha	grande porte	maior que 25m

Fonte: Adaptado de (MAROUELLI; SILVA; SILVA, 2008)

Tendo escolhido o tipo do aspersor, deve-se selecionar a distancia de posicionamento entre eles, levando em conta o diâmetro irrigado, a vazão total e a pressão na base, em valores tabelados pelo fabricante. Assim, com a combinação dos bocais e do ajuste do quebra-jato, pode-se chegar a um valor aceitável de pressão de serviço para o dimensionamento do conjunto moto-bomba.

A distância entre os aspersores deve atender às condições de manejo e a distribuição da lâmina de forma mais linear possível. Convenciona-se que os aspersores estejam espaçados a distancias múltiplas de 6m, dado ao comprimento dos tubos comerciais. Os valores utilizados usualmente são de 12m, 18m, e 24m.

Tendo selecionado o modelo de aspersor, deve-se fazer o calculo da vazão que atende à lâmina d'água total necessária para que se possa prosseguir com o dimensionamento dos tubos.

- Tubulação:

Encontra-se no mercado tubulações de aço e de PVC, tendo eles suas respectivas tabelas de perda de carga, de acordo com os diâmetros, fornecidas pelos fabricantes. Essas perdas de carga devem ser consideradas no momento de seleção do conjunto moto-bomba a ser utilizado.

- Válvulas solenoides:

As válvulas solenoides permitem que se controle a abertura e fechamento do fluxo de água nas linhas dos aspersores, a partir de comandos elétricos. A escolha das válvulas precisam ter o diâmetro compatível com a tubulação.

- Válvulas de comando hidráulico:

As válvulas de comando hidráulico são um opção para fazer o comando da abertura e fechamento do fluxo de água. Elas são comandadas eletricamente pelas válvulas solenoides.

- Válvulas ventosas:

As válvulas ventosas permitem a passagem de ar e restringem a passagem de água, evitando pressão de as na tubulação, bem como a formação de vácuo, que pode acarretar em danos ao sistema. Devem ser colocadas nos pontos mais altos da tubulação.

- Válvulas de retenção:

As válvulas de retenção permitem a passagem de água apenas em um sentido do fluxo, evitando que a água faça pressão nos componentes presentes nos pontos de menor altura manométrica, em especial, o conjunto moto-bomba. Devem ser colocadas ao longo da tubulação, obedecendo as especificações do fabricante.

- Válvula de pé com crivo:

Uma válvula de pé com crivo deve ser colocada na entrada de água do conjunto moto-bomba. Ela nada mais é que uma válvula de retenção que evita o esvaziamento da bomba. O crivo é uma gaiola que evita a entrada de detritos sólidos de maior dimensão na bomba, que por sua vez, podem danificá-la.

- Conjunto moto bomba:

Uma das etapas mais importantes do projeto é a seleção do conjunto moto-bomba, que por sua vez deve atender aos requisitos de vazão e pressão demandados. Sua seleção é feita a partir de tabelas fornecidas pelos fabricantes.

3.3 Coleta de dados sobre as características específicas da área, cultura e do solo da propriedade

Esta etapa consistiu de em coletar os dados para atender aos requisitos do manual para elaboração do sistema de aspersão.

- Quanto a coleta de dados referentes à qualidade da água, relação Solo-água-planta-clima. Foi utilizada a técnica de pesquisa entrevista semi-estruturada com dono da propriedade.
- Quanto a definição do modelo de irrigação e o dimensionamento do modelo de aspersão o plano de manejo do sistema de aspersão do objeto de estudo a técnica de coleta de dados utilizada foi a revisão bibliográfica.
- Uma vez que a modelagem de um sistema de irrigação automatizado, envolve múltiplas disciplinas e áreas de conhecimento como a análise da qualidade da água utilizada para irrigação que passa por complexas análises químicas, físicas e sanitárias, além do estudo

da relação água-planta-solo, e outros que não são o objeto central de estudo da pesquisa, optou-se por coletar os dados referentes à qualidade da água a utilizada no sistema de irrigação do estudo de caso, através de uma entrevista semiestruturada com o dono da propriedade no intuito apenas de confirmar se todos os requisitos foram preenchidos.

3.4 Análise de estudo e dimensionamento do sistema

Nesta etapa buscou-se confrontar as especificações técnicas do sistema IrrigoSystem com os requisitos descrito no manual assim como a realidade da propriedade, afim de conseguir o melhor dimensionamento do sistema de irrigação por aspersão. Por fim, se dimensiona o sistema utilizando os critérios já abordados anteriormente na metodologia.

4 Resultados e discussão

4.1 Descrição da área

A área utilizada para o desenvolvimento do projeto é uma porção da Fazenda Flor da Colina, situada no município de Jequitibá – MG, localizada na bacia do Rio das Velhas. A demarcação da área de cultivo possui 6,5 hectares e será destinada ao cultivo de milho, como representado na Figura 36. A área se encontra em uma altitude média de 650 metros acima do nível do mar, e possui o solo de textura média.

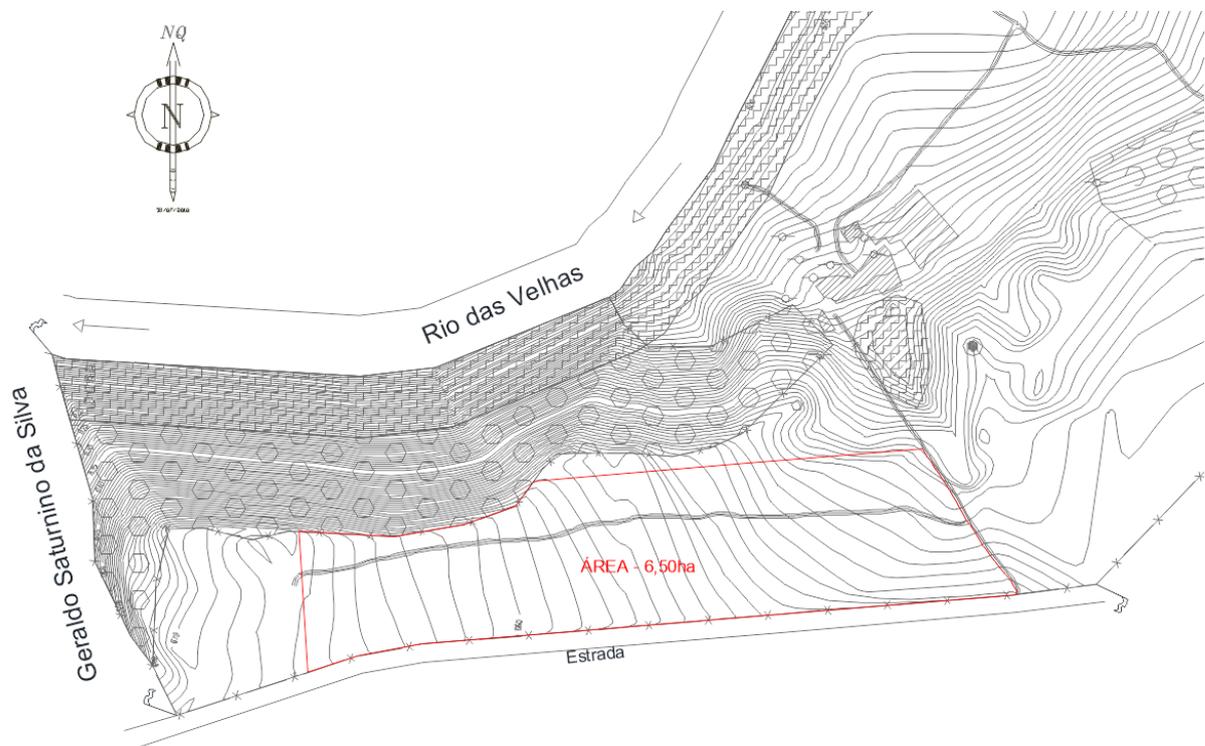


Figura 36 – Mapa representativo da área cultivável de 6,5ha.

Fonte: Adaptado de (ANCEC Agrimensura, 2010)

4.2 Descrição da cultura

Conforme entrevista feita com o proprietário da área foi informado que a cultura à qual a o cultivo será destinado é o plantio do milho-doce.

4.3 Dos requisitos para o dimensionamento do sistema de irrigação

4.3.1 Quanto a análise da água para irrigação

Uma vez não se tratando do objeto precípua de estudo do presente trabalho, optou-se pelo não aprofundamento quanto aos métodos utilizados pelo proprietário para atestar as qualidades físico-químicas e sanitárias da água. Desta forma confirmou-se a compatibilidade da qualidade da água, através de entrevista com o proprietário.

4.3.2 Quanto a análise da relação Solo-água-planta-clima

Conforme a metodologia apresentada, nesta etapa se determina a lâmina de água disponível para a planta, cujas variáveis envolvidas para o cálculo estão apresentadas na Equação 2.6. Uma vez se utilizando o modelo de irrigação automatizado do IrrigoSystem, durante a fase de manejo, a lâmina de água disponível para a planta passa a ser monitorada e controlada de forma automática, através do limite superior e inferior de umidade do solo monitorado pelo sensor instalado. O limite superior corresponde a capacidade de campo do solo, e o limite inferior determinado pela Umidade limite de irrigação. A capacidade de campo é obtida via ensaios de laboratório e a umidade limite de irrigação dada calculada de acordo com a cultura.

Contudo faz-se necessário para a fase de implementação do sistema de irrigação estipular o valor máximo de lâmina de água pois a quantidade em milímetros de água por metro quadrado de terreno, será um dado indispensável para o dimensionamento da vazão demandada de água, pelo sistema.

Uma vez estipulada a lâmina de água máxima, para o uso do IrrigoSystem, deve-se utilizar o cálculo dos limites superior e inferior de umidade em volume (U_v), com os quais, o modo Smart do equipamento, irá trabalhar para calcular automaticamente a quantidade de água a ser repostada.

4.4 Dimensionamento do modelo de irrigação

4.4.1 Escolha do Aspersor

Primeiramente foi feita a seleção do aspersor a ser utilizado, já que esta etapa é de grande importância, pois ele vai garantir a lâmina de água necessária para a cultura, no caso, a cultura do milho. As características principais que foram levadas em conta na seleção do aspersor foram versatilidade e baixo custo. Para que se possa ter a possibilidade de outras culturas, medida necessária para o cultivo rotacionado, que preserva os nutrientes do solo bem como evita o aparecimento de pragas, precisa-se de um aspersor que dê a possibilidade de ajuste do quebra-jato externo para que a distribuição da água seja adequada à necessidade de campo. Para tanto, o

aspersor comercial selecionado foi o modelo FABRIMAR ECO A232 (Figura 37). Este modelo de aspersor também tem características vantajosas, como diversos diâmetro de bocais e mancal com proteção contra elementos abrasivos, além de ser feito de material termoplástico aditivado contra radiação ultravioleta e mola em aço inox pré-ajustada, garantindo maior durabilidade.



Figura 37 – Aspersor FABRIMAR ECO A232

Fonte: (FABRIMAR, 2015).

4.4.2 Escolha da tubulação

Devido à durabilidade e resistência a ataques químicos, optou-se por utilizar a tubulação de PVC. Segundo [Alpina \(2005\)](#) o diâmetro interno utilizado para cálculo corresponde às tubulações coláveis classe 15 (que suporta pressão de serviço de até 75 mca). O diâmetro interno dos tubos depende da classe de pressão e é diferente nos tubos coláveis e roscáveis. Os valores da tabela podem ser utilizados para qualquer tipo de tubulação de PVC com pequena margem de erro.

4.4.3 Disposição dos aspersores e da tubulação na área

Sabendo o tipo de aspersor e a tubulação a ser utilizada, os equipamentos foram dispostos na área, de acordo com o croqui apresentado na Figura 38.

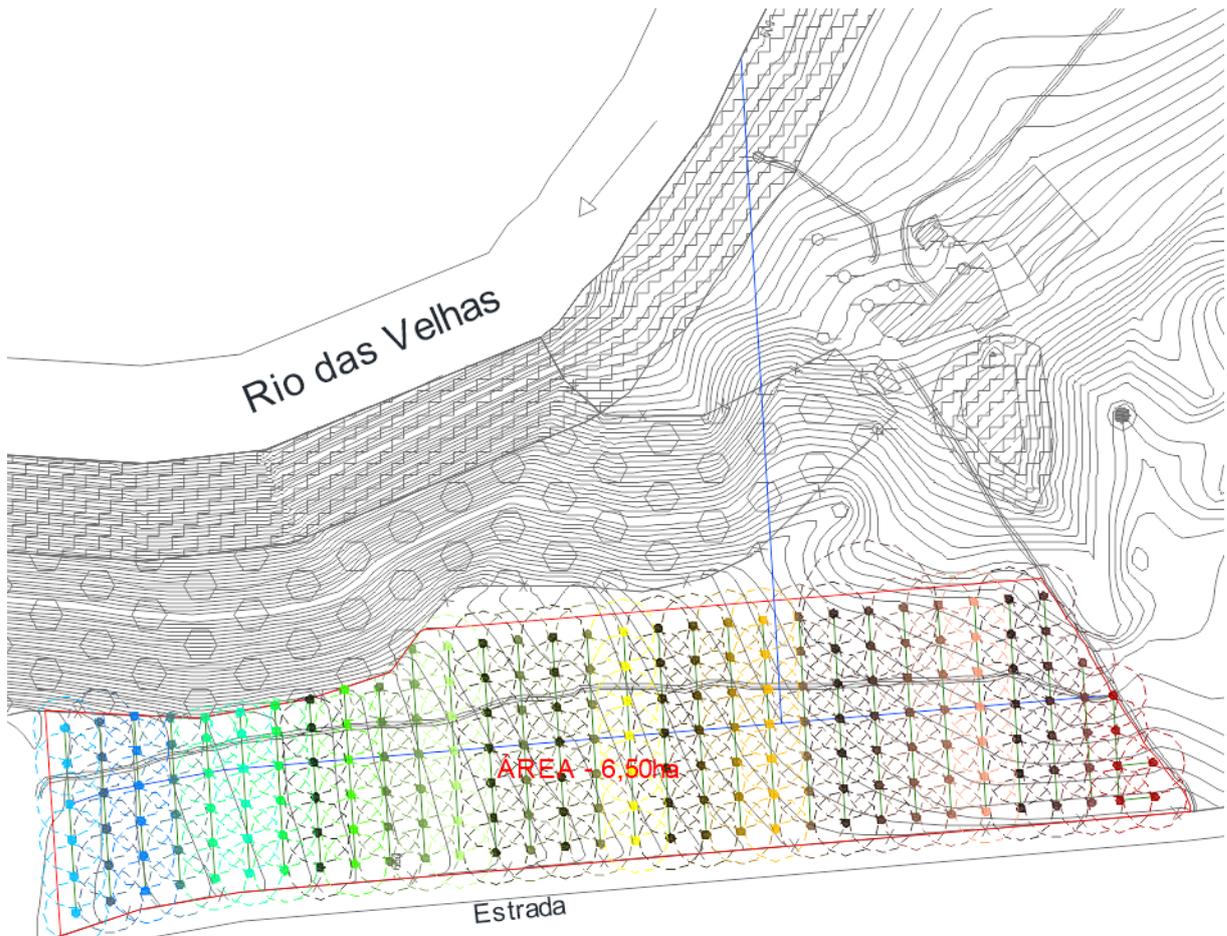


Figura 38 – Disposição da linha principal, secundária, laterais e aspersores.

Fonte: Adaptado de (ANCEC Agrimensura, 2010)

Devido às condições de manejo, optou-se por um espaçamento entre os aspersores de 18m por 18m.

4.4.4 Quanto à evapotranspiração e o turno de rega

Um passo importante no projeto do sistema de irrigação é definir os parâmetros de evapotranspiração e o turno de rega, para posteriormente fazer o cálculo da lâmina de água a ser aplicada.

Primeiramente deve-se saber o valor da evapotranspiração de referência que será usado na Equação 2.7. Para tanto, no presente trabalho, foi utilizado um artigo escrito por Lauro et al. (2015) que aborda os diferentes maneiras de cálculo da evapotranspiração de referência na região de Sete Lagoas, MG, ou seja, nas proximidades da área em questão.

O valor considerado, para efeito de cálculo, será o obtido pelo método de Penman-Monteith, que no caso, foi de 4,25 mm/dia. Outro parâmetro da Equação é o K_c , que no caso, para fim de dimensionamento do equipamento, deve-se utilizar o K_c do estado fenológico mais

exigente da planta. Sendo o milho-doce, o K_c será 1,15. Sendo assim, segue-se para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), na Equação 4.1:

$$ET_c = 1,15 \cdot 4,25 = 4,89 \text{ mm/dia} \quad (4.1)$$

Prosseguindo, deve-se calcular o turno de rega (TR) a partir da Equação 2.8 dentro da Equação 4.2:

$$TR = \frac{\frac{CC-PMP}{10} \cdot D_a}{ET_c} \cdot f \cdot Z \quad (4.2)$$

Em que:

TR = turno de rega (dia);

CC = Capacidade de campo (% de peso seco);

PMP = Ponto de murcha permanente (% de peso seco);

D_a = densidade do solo (g/cm^3).

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia);

f = fração real de água disponível para a cultura (decimal);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Substituindo valores obtidos por entrevista com o proprietário, tem-se a Equação 4.3 com o resultado:

$$TR = \frac{\frac{32-18}{10} \cdot 1,2}{4,89} \cdot 0,7 \cdot 30 = 7,2 \text{ dias} \quad (4.3)$$

Com isso, percebe-se que pode-se trabalhar com um turno de rega de até 7 dias, sem haver deficiência de umidade para as plantas. Para efeito de cálculo, será trabalhado um turno de rega de 5 dias.

Após o cálculo do turno de rega, pode-se prosseguir para o cálculo da lâmina real necessária para as plantas, por meio da Equação 2.10, substituindo os valores, tem-se a Equação 4.4:

$$LRN = 5 \text{ dias} \cdot 4,89 \text{ mm/dia} = 24,45 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Com o valor da lâmina real necessária, pode-se partir para o cálculo da lâmina total necessária, de acordo com a Equação 2.11, substituindo os valores, tem-se a Equação 4.5,

considerando a eficiência da irrigação por aspersão fixa em 70%, de acordo com a Tabela 2:

$$LTN = \frac{100 \cdot 24,45}{70} = 34,9 \text{ mm} \quad (4.5)$$

Para efeito de cálculo, o valor da lâmina será arredondado para 35 mm.

4.4.5 Cálculo da vazão para atender à lâmina desejada

O sistema será dimensionado para que funcione uma linha por vez, e ao alcançar a lâmina desejada, passar para a próxima linha, e assim, em sequência. O sistema deve conseguir alimentar uma lâmina diária que corresponde à lâmina total necessária dividido pelo número de dias do turno de rega, no caso do presente estudo, $35\text{mm}/5\text{dias}$ que é igual a 7,0 mm/dia, sendo que o máximo de horas de irrigação permitido pela legislação por dia é de 20 horas. Apesar de haverem linhas com 5, 6 e 7 aspersores, faz-se o cálculo levando em conta a linha com mais aspersores.

Sabendo que:

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L/m}^2$$

$$1 \text{ L/m}^2 \cdot 1 \text{ ha}(10000\text{m}^2) = 10000 \text{ L} = 10 \text{ m}^3$$

logo:

$$7,0 \text{ mm/ha/dia} = 70 \text{ m}^3/\text{ha/dia}$$

Sendo assim, segue o cálculo na Equação 4.6:

$$Q = \frac{70\text{m}^3/\text{ha/dia} \cdot 6,5 \text{ ha}}{20 \text{ h/dia}} = 22,75 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.6)$$

Em que:

$$Q = \text{Vazão total (m}^3/\text{h)}$$

Como são 7 aspersores por linha, a vazão por aspersor será de aproximadamente $3,25\text{m}^3/\text{h}$. Considerando uma perda causada pelo vento de aproximadamente 5%, arredonda-se o valor para $3,5\text{m}^3/\text{h}$, facilitando a consulta à Tabela 8 fornecida pelo fabricante, na qual, a regulagem utilizada está indicada. Sendo assim a vazão total considerada será de $24,5\text{m}^3/\text{h}$.

Tabela 8 – Tabela de desempenho ECO A232.

		Eco A232				
		pressão na base (mca)	vazão total (m ³ /h)	diâmetro irrigado (m)	espaçamento máx. recomendado	
					A x L (m x m)	psq (mm/h)
combinação de bocais (mm x mm)	4,0 x 2,8	20	1,29	26	12 x 18	6,0
		25	1,44	27	12 x 18	6,7
		30	1,59	27	12 x 18	7,4
		35	1,73	27	18 x 18	5,3
	4,2 x 3,0	20	1,36	27	12 x 18	6,3
		25	1,52	28	12 x 18	7,0
		30	1,69	28	12 x 18	7,8
		35	1,84	28	18 x 18	5,7
	4,4 x 3,2	20	1,59	27	12 x 18	7,4
		25	1,80	28	12 x 18	8,3
		30	1,98	30	12 x 18	9,2
		35	2,13	30	18 x 18	6,6
4,8 x 3,2	20	1,81	28	12 x 18	8,4	
	25	2,02	28	12 x 18	9,4	
	30	2,20	30	18 x 18	6,8	
	35	2,39	30	18 x 18	7,4	
5,2 x 3,2	20	2,02	28	12 x 18	9,4	
	25	2,27	29	12 x 18	10,5	
	30	2,48	30	18 x 18	7,7	
	35	2,69	30	18 x 18	8,3	
5,6 x 3,2	25	2,44	31	18 x 18	7,5	
	30	2,66	31	18 x 18	8,2	
	35	2,90	32	18 x 18	9,0	
	40	3,08	33	18 x 24	7,1	
5,8 x 3,6	25	2,72	31	18 x 18	8,4	
	30	2,95	33	18 x 18	9,1	
	35	3,23	35	18 x 24	7,5	
	40	3,45	37	24 x 24	6,0	
6,4 x 3,2	25	3,08	31	18 x 18	9,5	
	30	3,36	33	18 x 24	7,8	
	35	3,64	35	24 x 24	6,3	
	40	3,90	38	24 x 24	6,8	
combinação de bocais (mm x mm)	6,6 x 4,0	25	3,53	32	18 x 18	10,9
		30	3,86	33	18 x 24	8,9
		35	4,19	35	24 x 24	7,3
		40	4,52	38	24 x 24	7,8
	6,8 x 4,4	25	3,79	33	18 x 24	8,8
		30	4,18	33	24 x 24	7,3
		35	4,49	36	24 x 24	7,8
		40	4,83	38	24 x 24	8,4
	7,0 x 4,8	25	3,95	33	18 x 24	9,1
		30	4,38	33	24 x 24	7,6
		35	4,75	36	24 x 24	8,2
		40	5,06	38	24 x 24	8,8
7,0 x 5,6	25	4,46	33	18 x 24	10,3	
	30	4,87	33	24 x 24	8,5	
	35	5,24	36	24 x 24	9,1	
	40	5,57	38	24 x 24	9,7	
7,2 x 6,0	25	4,79	33	18 x 24	11,1	
	30	5,24	33	24 x 24	9,1	
	35	5,65	36	24 x 24	9,8	
	40	6,02	38	24 x 24	10,5	
7,6 x 6,2	25	5,04	34	24 x 24	8,8	
	30	5,49	34	24 x 24	9,5	
	35	5,95	36	24 x 24	10,3	
	40	6,33	38	24 x 24	11,0	
8,0 x 6,6	25	5,70	36	24 x 24	9,9	
	30	6,24	37	24 x 24	10,8	
	35	6,74	38	24 x 24	11,7	
	40	7,20	39	24 x 24	12,5	
8,0 x 7,4	25	6,17	36	24 x 24	10,7	
	30	6,68	37	24 x 24	11,6	
	35	7,29	38	24 x 24	12,7	
	40	7,79	39	24 x 24	13,5	

Fonte: Adaptado de (FABRIMAR, 2015).

Portanto, a configuração ideal será:

- Bocais de 6,6 mm e 4,0 mm;
- vazão por aspersor de 3,53 m³/h;
- Diâmetro irrigado de 32 m;
- Espaçamento entre aspersores de 18x18 m.

4.4.6 Seleção do diâmetro dos tubos

Outra fase importante no dimensionamento do sistema é a seleção dos tubos, para se ter o valor das perdas de carga, que devem ser levadas em conta na escolha da bomba, que será feita posteriormente. A perda de carga dos tubos pode ser consultada na Tabela 9.

Tabela 9 – Tabela de perda de carga de tubos de PVC a cada 100m.

Colável Ø mm	25	32	40	50	60	75	85	110	140	160	200	250	300
Roscável	3/4"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"			
Ø Interno mm	21,4	27,8	35,2	44	53	66,6	75,6	97,8	124	142	178	222	267
Vazão (m³/h)													
1,0	4,4	1,3	0,4	0,1									
1,2	6,0	1,7	0,6	0,2									
1,4	7,9	2,3	0,7	0,3	0,1								
1,6	10,0	2,9	0,9	0,3	0,1								
1,8	12,0	3,5	1,1	0,4	0,2								
2,0	15,0	4,2	1,4	0,5	0,2								
2,5	22,0	6,3	2	0,7	0,3	0,1							
3,0	30,0	8,6	2,8	1,0	0,4	0,1							
3,5	39,0	11,0	3,7	1,3	0,5	0,2	0,1						
4,0	50,0	14,0	4,7	1,6	0,7	0,2	0,1						
4,5		18,0	5,7	2,0	0,8	0,3	0,2						
5,0		21,0	6,9	2,4	1,0	0,3	0,2						
6,0		29,0	9,5	3,3	1,4	0,5	0,3						
7,0		38,0	12	4,3	1,8	0,6	0,3	0,1					
8,0		48,0	16	5,4	2,2	0,8	0,4	0,1					
9,0			19	6,7	2,8	0,9	0,5	0,1					
10,0			23	8,0	3,3	1,1	0,6	0,2					
12,0			32	11,0	4,6	1,5	0,8	0,2					
14,0			42	14,0	6,0	2,0	1,1	0,3	0,1				
16,0				18,0	7,5	2,5	1,4	0,4	0,1				
18,0				22,0	9,3	3,1	1,7	0,5	0,2				
20,0				27,0	11,0	3,8	2,1	0,6	0,2	0,1			
25,0					16,0	5,6	3,0	0,9	0,3	0,2			
30,0					23,0	7,6	4,2	1,2	0,4	0,2			
35,0					30,0	10,0	5,5	1,6	0,5	0,3			
40,0						13,0	6,9	2,0	0,6	0,3	0,1		
45,0						16,0	8,5	2,5	0,8	0,4	0,1		
50,0						19,0	10,0	3,0	1,0	0,5	0,2		
60,0							14,0	4,1	1,3	0,7	0,2		
70,0							18,0	5,4	1,7	0,9	0,3	0,1	
80,0								6,9	2,2	1,2	0,4	0,1	
90,0								8,4	2,7	1,4	0,5	0,2	
110,0								10,0	3,2	1,7	0,6	0,2	
120,0									4,4	2,4	0,8	0,3	0,1
140,0									5,8	3,1	1,1	0,4	0,2
160,0									7,4	3,9	1,3	0,5	0,2
180,0										4,8	1,7	0,6	0,2
200,0										5,8	2,0	0,7	0,3
250,0										8,5	2,9	1,0	0,4
300,0											4,1	1,4	0,6
350,0											5,3	1,8	0,8
400,0												2,3	1,0
450,0												2,9	1,2
500,0												3,4	1,4
600,0												4,7	2,0
700,0													2,6
800,0													3,3

Fonte: Adaptado de (ALPINA, 2005).

Consultando a Tabela 9 tem-se as seguintes perdas de carga para uma vazão de 25m³/h:

- Linha primária - Tubo colável de 85 mm de diâmetro $342 \text{ m}/100 * 3,0 = 10,26 \text{ m}$;
- Linha secundária - Tubo colável de 85 mm de diâmetro $538 \text{ m}/100 * 3,0 = 16,14 \text{ m}$;
- Linha secundária - Tubo colável de 75 mm de diâmetro $108 \text{ m}/100 * 5,6 = 6,05 \text{ m}$.

4.4.7 Cálculo da altura manométrica a ser vencida pela motobomba

Após selecionado o aspersor, pode-se calcular a altura manométrica a ser vencida pela motobomba, para posteriormente, selecionar o conjunto motobomba. Sendo assim, deve-se considerar:

- Altura do aspersor: 2 mca;
- Altura manométrica no ponto mais alto: 66 mca;
- Perda de carga da linha primária: 10,26 mca;
- Perda de carga da linha secundária: 16,14 mca;
- Perda de carga da linha dos aspersores: 6,05 mca;
- Pressão de serviço dos aspersores: 2,5 mca;
- Perda de carga na sucção: 6 mca;
- Perdas localizadas: 10%.

Sendo assim, tem-se que a soma será $131,45 \text{ mca} \cdot 10\% = 144,6 \text{ mca}$.

Para fim de cálculo de dimensionamento, será considerada uma perda de carga de 145 metros de coluna de água.

4.4.8 Seleção do conjunto motobomba

Para o projeto, é importante que a motobomba seja trifásica e multiestágio, já que a demanda por potência considerável, calculada a partir do dimensionamento do sistema e selecionada de acordo com a Tabela 10 fornecida pela fabricante Schneider (2016) e ilustrada pela Figura 39. Para a seleção, deve-se considerar a vazão, que será de $25 \text{ m}^3/\text{h}$, e a altura manométrica total será 145 mca.



Figura 39 – Conjunto motobomba.

Fonte: (SCHNEIDER, 2016).

Tabela 10 – Tabela de Seleção de Bombas, página 51 do catálogo do fabricante.

MODELO (ME-3)	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	Sugção (pol)	Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	Altura máxima de sugção (m.c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																							
										Altura Manométrica Total (m.c.a.)																							
										Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.																							
34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	66	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120				
ME-32125 A15512.5	2	x	x	3	2 1/2	84	8	155	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
ME-32125 A16012.5	2	x	x	3	2 1/2	93	8	160	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
ME-32150 A16015	2	x	x	3	2 1/2	93	8	160	37.0	36.7	36.4	36.1	35.8	35.5	35.2	34.9	34.5	34.2	33.8	33.5	33.1	32.7	32.2	31.2	30.6	29.3	27.6	25.5	22.2	17.6			
ME-32150 A16715	2	x	x	3	2 1/2	104	8	167	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32125 B14612.5	2	x	x	3	2 1/2	78	8	146	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32150 B15015	2	x	x	3	2 1/2	83	8	150	45.2	44.7	44.3	43.8	43.4	43.0	42.5	41.9	41.2	40.8	39.9	39.1	38.3	37.5	36.5	34.4	33.2	30.2	26.8	22.2					
ME-32150 B15415	2	x	x	3	2 1/2	88	8	154	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32150 B15815	2	x	x	3	2 1/2	93	8	158	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32200 B16820	2	x	x	3	2 1/2	106	8	168	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33200 B14220	3	x	x	3	2 1/2	109	8	142	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33200 B15020	3	x	x	3	2 1/2	125	8	150	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32250 B18225	2	x	x	3	2 1/2	125	8	182	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32150 C14215	2	x	x	3	2 1/2	75	8	142	52.4	51.2	50.0	48.7	47.4	46.0	44.6	43.2	41.8	40.3	38.7	37.0	35.4	33.4											
ME-32150 C14715	2	x	x	3	2 1/2	82	8	147	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32200 C15420	2	x	x	3	2 1/2	92	8	154	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32250 C15725	2	x	x	3	2 1/2	96	8	157	63.0	62.4	61.7	61.0	60.3	59.6	58.8	58.0	57.2	56.3	55.4	54.5	53.5	52.3	51.1	48.4	45.5	42.3	38.7	34.6	29.8				
ME-32250 C16025	2	x	x	3	2 1/2	100	8	160	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32250 C16725	2	x	x	3	2 1/2	111	8	167	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-32300 C16730	2	x	x	3	2 1/2	111	8	167	65.3	64.9	64.6	64.2	63.8	63.4	63.1	62.6	62.2	61.8	61.3	60.8	59.8	59.2	58.0	56.4	54.2	51.6	48.8	45.7	42.4	38.6	34.3		
ME-32300 C16730	2	x	x	3	2 1/2	111	8	167	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			

MODELO (ME-3)	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	Sugção (pol)	Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	Altura máxima de sugção (m.c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																							
										Altura Manométrica Total (m.c.a.)																							
										Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.																							
100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	240	250	260				
ME-33200 A16020	3	x	x	3	2 1/2	140	8	160	32.0	30.7	29.3	27.7	25.7	23.0	19.2																		
ME-33250 A16825	3	x	x	3	2 1/2	156	8	168	33.1	32.0	30.7	29.3	27.7	25.8	23.2	19.7	14.7																
ME-34300 A16530	4	x	x	3	2 1/2	197	8	165	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34400 A17840	4	x	x	3	2 1/2	233	8	178	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33250 B16025	3	x	x	3	2 1/2	144	8	160	38.3	36.5	34.6	32.3	29.8	26.7	22.4																		
ME-33300 B17030	3	x	x	3	2 1/2	165	8	170	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34300 B15730	4	x	x	3	2 1/2	185	8	157	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33400 B18740	4	x	x	3	2 1/2	198	8	187	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34400 B17040	4	x	x	3	2 1/2	220	8	170	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34500 B18250	4	x	x	3	2 1/2	250	8	182	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34500 B18750	4	x	x	3	2 1/2	264	8	187	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33250 C15025	3	x	x	3	2 1/2	130	8	150	43.7	41.1	38.2	35.0	31.4																				
ME-33300 C15630	3	x	x	3	2 1/2	143	8	156	50.9	48.8	46.4	43.8	41.0	37.9	34.5																		
ME-34300 C14730	4	x	x	3	2 1/2	163	8	147	44.4	42.5	40.5	38.4	36.2	33.8	31.2																		
ME-33400 C16540	3	x	x	3	2 1/2	163	8	165	56.4	54.3	52.1	49.8	47.4	44.8	41.9	38.8	35.2																
ME-34400 C17040	3	x	x	3	2 1/2	175	8	170	53.3	51.0	48.6	46.1	43.4	40.5	37.2	33.2	28.3																
ME-33500 C15740	4	x	x	3	2 1/2	194	8	157	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33500 C17750	4	x	x	3	2 1/2	191	8	177	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-33500 C18250	3	x	x	3	2 1/2	204	8	182	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
ME-34500 C16750	4	x	x	3	2 1/2	224	8	167	53.4	51.1	48.6	46.0	43.3	40.4	36.9	32.9	27.8																
ME-34500 C16750	4	x	x	3	2 1/2	224	8	167	47.3	45.3	43.2	41.0	38.6	36.0	33.1																		

Fonte: Adaptado de (SCHNEIDER, 2016).

Sendo assim, a motobomba selecionada no catálogo [Schneider \(2016\)](#) foi a do modelo ME-33300 B170, de potência 30 cv, 3 estágios e trifásica. Ela consegue bombear a uma altura manométrica de 145 mca até 32,4 m³/h.

4.4.9 Componentes responsáveis pela automatização do sistema

4.4.9.1 Sensores de umidade

Um sensor de baixo custo será adicionado no centro de cada linha de aspersores, podendo-se assim, monitorar a umidade de cada linha, e dependendo do nível de umidade, acionar ou não a válvula solenoide correspondente, que por sua vez aciona a válvula hidráulica, liberando o fluxo para a devida reposição de água no solo.

4.4.9.2 Módulo de comunicação sem-fio

Cada sensor possui seu módulo de comunicação sem fio, disposto ao longo da área, podendo assim, comunicar com o controlador.

4.4.9.3 Controlador

Um controlador, alocado próximo a área, será responsável pelo acionamento das válvulas solenoides, por meio de uma comunicação sem fio.

4.4.10 Operação do equipamento

A operação do equipamento deve seguir os seguintes passos:

- ajustar a hora do equipamento;
- ajustar o tempo de funcionamento de cada setor, no caso, o turno de rega é de 5 dias, logo, sendo 31 setores, cada setor será acionado por 3 horas e 12 minutos;
- deve-se ajustar a hora na qual o setor deve iniciar a operação;
- deve-se ajustar o limite inferior e superior do teor de água do solo, sendo que o inferior corresponde umidade limite (UI), acima do ponto de murchamento (PMP), e o superior corresponde à capacidade de campo (CC) em volume. Com a ajuda da Equação 2.3, tem-se a correlação entre a porcentagem de peso e a porcentagem de volume. O cálculo é demonstrado nas Equações 4.7, para o limite inferior, e 4.8, para o limite superior:

Limite inferior:

$$U_v = U_p \cdot D_g = 20 \cdot 1,2 = 24\% \quad (4.7)$$

Limite superior:

$$U_v = U_p \cdot D_g = 32 \cdot 1,2 = 38,4\% \quad (4.8)$$

Sendo assim, tem-se que o limite inferior será de 24% e o limite superior será de 38,4%;

- pode-se definir uma faixa de horário na qual o sistema não deve entrar em funcionamento, contanto que o sistema esteja configurado no modo de operação “*Smart*”;
- podem ser definidos os dias da semana em que o sistema deve entrar em funcionamento.

5 Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um projeto de um sistema de irrigação por aspersão com direcionamento automático de fluxo de água baseado na medição da umidade do solo.

No desenvolvimento, pôde-se perceber a complexidade de um dimensionamento de um sistema de irrigação, que envolve um número elevado de variáveis e parâmetros de difícil obtenção, algumas destas, acessíveis com a ajuda de laboratórios. Tal complexidade é verificada até mesmo por experientes projetistas, o que implica muitas vezes em sistemas superdimensionados.

Simplificar a instalação e o manejo de um sistema de irrigação pode viabilizar sua utilização a mais produtores, o que causaria o aumento da produção de alimentos, bem como o desenvolvimento econômico e social, e impacto direto na vida das pessoas.

O fato do IrrigoSystem monitorar diretamente a umidade do solo, torna dispensável o monitoramento de algumas das variáveis necessárias para o dimensionamento, bem como o manejo da irrigação. Além disso, traz economia de água e energia elétrica, e aumento de produtividade, sendo necessário áreas menores, mais bem aproveitadas. Sendo assim, uma solução que vai de encontro com os valores da sustentabilidade.

O direcionamento automático do fluxo do água torna a irrigação mais confiável, e facilita a mão de obra, o que traz economia e aumento da produção, bem como a comunicação sem fio entre os sensores e o controlador facilita a instalação do sistema.

Observa-se que pode-se desenvolver em trabalhos futuros a automatização do sistema e mais alto nível, de forma que o controlador tenha as informações guardadas de várias culturas, sendo mais intuitivo e acessível ao produtor a configuração do sistema, bem como a troca de informações com uma central meteorológica, para poder prever chuvas e fenômenos climáticos que possam influir na cultura.

Pode-se prever também um teste em escala piloto do sistema antes de aplica-lo na fazenda, tornando mais clara a utilização e os desafios que serão enfrentados para a implantação e utilização.

Referências

- ALPINA, T. Tabela I Perda de carga em metros / 100 m para tubulações em PVC. p. 152–155, 2005. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABU5oAH/tabela-perda-carga>>. 52, 57
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8^a. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. ISBN 85-7269-242-8. 7, 8, 9, 11, 12
- CUNHA, F. F. da et al. Comparação de equações para cálculo da uniformidade de aplicação de água para diferentes sistemas de irrigação. *REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG*, v. 17, n. 5, p. 404–417, 2009. 1
- FABRIMAR. *Tabela de desempenho FABRIMAR ECO A232*. 2015. 232 p. Disponível em: <[http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/994/fabrimar\(994\)_manual_tabela-de-desempenho-eco.pdf](http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/994/fabrimar(994)_manual_tabela-de-desempenho-eco.pdf)>. 52, 56
- FERNANDES, L. M. *Avaliação do rendimento financeiro e risco de investimento da cultura do milho irrigado no triângulo mineiro*. Viçosa, 2001. 13 p. 1, 4
- HUNTER INDUSTRIES. *Especificações de funcionamento*. 2018. 86 p. Disponível em: <<https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/CA-Cutsheet-ICV-PT.pdf>>. 27
- IRRIGOSYSTEM. 2018. Disponível em: <<https://www.irrigosystem.ufop.br>>. 37, 39, 40, 41, 42
- LAURO, W. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Sete Lagoas, MG. n. 1, p. 1176–1179, 2015. Disponível em: <http://www.abms.org.br/cnms2016{_}trabalhos/docs/1290.> 53
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. d. C. e.; SILVA, H. F. d. *Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo*. 2^a. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1040–1045 p. ISBN 9788573834284. 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 45, 47
- PEREIRA, J. B. A. *Manual prático de irrigação*. v. 6, n. 05, p. 2016, 2014. Disponível em: <<http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/manualpraticodeirrigacao.pdf>>. 4, 7, 19, 20, 26
- Rêgo Segundo, A. K. *Desenvolvimento De Sensor De Teor De Água Do Solo E De Sistema De Controle E Automação Em Malha Fechada Para Uso Em Irrigação*. Viçosa, p. 65, 2010. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3563/textocompleto.pdf?sequence=1>>. 1, 35, 38, 40, 41
- Rêgo Segundo, A. K. et al. A novel low-cost instrumentation system for measuring the water content and apparent electrical conductivity of soils. *Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, v. 15, n. 10, p. 25546–25563, 2015. 2, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 44
- SCHNEIDER. *Tabela de seleção*. 2016. Disponível em: <<https://schneider.ind.br/media/205160/tabela-de-selecao-schneider-motobombas-2017.pdf>>. 33, 58, 59, 60

TESTEZLAF, R. *Irrigação: métodos, sistemas e aplicações*. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017. 215 p. ISBN 978-85-99678-10-7. 4, 5

TIGRE S/A. Orientações para instalação de água fria. 2016. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf>>. 27, 31, 32, 33, 34