



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**GABRIEL NUNES DO NASCIMENTO**

**MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: TRADICIONAL E AUTOMATIZADA  
ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO**

**POMBAL - PB  
2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**GABRIEL NUNES DO NASCIMENTO**

**MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: TRADICIONAL E AUTOMATIZADA  
ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, curso de Agronomia, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira**

**POMBAL - PB  
2022**

N244m Nascimento, Gabriel Nunes do.

Métodos de irrigação: tradicional e automatizada através da plataforma Arduino / Gabriel Nunes do Nascimento. – Pomba, 2022.  
62 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira.”.  
Referências.

1. Sistemas de irrigação. 2. Água. 3. Prototipagem. I. Nogueira, Virgínia de Fátima Bezerra. II. Título.

CDU 631.67 (043)

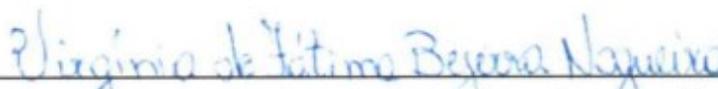
**GABRIEL NUNES DO NASCIMENTO**

**MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: TRADICIONAL E AUTOMATIZADA  
ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, curso de Agronomia, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em: 24/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**



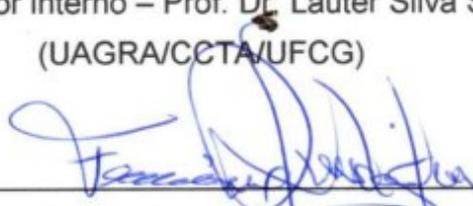
---

Orientadora – Prof<sup>ª</sup>. D. Sc. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira  
(UATA/CCTA/UFCG)



---

Examinador interno – Prof. Dr. Lauter Silva Souto  
(UAGRA/CCTA/UFCG)



---

Examinador Externo – Francisco Alves da Silva

*Dedico este trabalho ao meu pai, Rafael Batista do Nascimento, (in memorian), e a minha mãe Valdecy Nunes do Nascimento, agradeço por todo cuidado, amor e confiança, diante desta caminhada acadêmica. Muito obrigado!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre me abençoar durante toda essa caminhada.

À minha mãe, Valdecy Nunes do Nascimento, que a qual me incentivou, acreditou e custeou todos gastos durante esses 5 anos, obrigado por todo companheirismo e amor, que sempre esteve comigo nos tempos bons e ruins, te amo mãe.

Ao meu pai, Rafael Batista do Nascimento, (in memorian) que sempre esteve ao meu lado, independente de tudo, meu melhor amigo, esteve comigo em todas as decisões, me acompanhe e me abençoe de onde estiver meu “véi”. Pai, para onde quer que eu vá, te levarei sempre comigo, te amo pai.

Ao meu irmão que a vida me deu, Lucas Pereira Justino, que sempre que precisei, estava comigo, obrigado por tudo meu “mano”.

À minha namorada, Kawany Souza Morais, que nunca desistiu de mim, mesmo com a distância, obrigado por todo o amor, carinho e estar sempre ao meu lado, te amo “Peppa”.

À minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira, agradeço por todos os ensinamentos, conselhos e acolhimento na sua sala nos tempos vagos, e que brigava comigo cada vez que me via jogando Free Fire.

Às minhas irmãs que ganhei na UFCG, Josefa Juliana (“Zefinha”), e Larissa Macedo, que sempre ficávamos nervosos nas horas das provas, agradeço por todas as conversas e conselhos, obrigado por todas as resenhas e carinho.

A todos os meus professores da graduação que contribuíram para formação de um profissional com uma alta carga de informação.

E agradeço a todos os meus amigos da graduação, em especial, Karol, Wesley, Patrick, Fabrício, Everaldo, Thiago, Edyla, Larissa Ramalho, dentre tanto outros.

Obrigados a todos!!!

# SUMÁRIO

Resumo .....	ix
Abstract .....	x
Lista de Figuras .....	xi
Lista de Fluxogramas.....	xi
Lista de Tabelas.....	xi
<b>1.0. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.0. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.0. RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
3.1. BREVE HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO .....	14
3.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS DOS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO .....	16
3.2.1. Uniformidade da superfície do solo.....	16
3.2.2. Tipo do solo .....	17
3.2.3. Quantidade e qualidade de água.....	21
3.2.4. Clima.....	22
3.2.5. Cultura .....	23
3.2.6. Manejo da irrigação .....	25
3.3. IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE.....	26
3.3.1. Irrigação por inundação .....	27
3.3.2. Irrigação por sulcos.....	28
3.3.3. Irrigação por faixas .....	29
3.3.4. Vantagens e Limitações.....	30
3.4. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO.....	30
3.4.1. Aspersão convencional .....	32
3.4.2. Autopropelido .....	33
3.4.3. Pivô central .....	34
3.4.4. Deslocamento Linear .....	35
3.4.5. LEPA.....	35
3.4.6. Vantagens e Limitações.....	36
3.5. IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....	37
3.5.1. Irrigação localizada por microaspersão .....	41
3.5.2. Irrigação localizada por gotejamento .....	41
3.5.3. Vantagens e Limitações.....	42

3.6. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA OU SUBIRRIGAÇÃO.....	42
3.6.1. Subirrigação.....	42
3.6.2. Irrigação subsuperficial .....	44
3.6.3. Vantagens e Limitações.....	44
3.7. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO.....	45
3.7.1. Estrutura do Sistema Arduino .....	46
3.7.2. Arquitetura da Aplicação .....	49
3.7.3. Método de Irrigação .....	52
3.7.4. Protótipos .....	53
<b>4.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

# MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO: TRADICIONAL E AUTOMATIZADA ATRAVÉS DA PLATAFORMA ARDUINO

## RESUMO

A irrigação agrícola vem se tornando cada vez mais valorizada entre os produtores agrícolas, pelo fato dessa técnica fornecer a demanda de água para as culturas em períodos de seca, principalmente para a Região Nordeste do país, levando produtividade para culturas em época de dificuldade. Esta técnica vem sendo explorada por pesquisadores para levar mais produtividade ao campo. No presente trabalho são relatados os métodos de irrigação tradicionais junto com as vantagens e limitações de cada método e suas considerações gerais, bem com o conceito de irrigação automática. A automação na irrigação é uma prática cada vez mais presente, onde podemos falar da irrigação localizada automática, através da plataforma Arduino, na qual a água é direcionada diretamente na região radicular da planta de maneira automatizada, de acordo com as condições ambientais o sistema fornece o recurso hídrico na quantidade adequada. Com base na pesquisa realizada, objetivou-se realizar o levantamento de informações importantes sobre os métodos de irrigação na literatura, buscando destacar como fazer o manejo da irrigação adequada e demonstrando o uso tecnológico nesse setor da agricultura, a fim de disponibilizar informações importantes sobre a agricultura irrigada. A pesquisa foi realizada em sites, no Google Acadêmico, TCCs, livros acadêmicos, acervos de bibliotecas de diversas universidades, sites da EMBRAPA, ANA, Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Baseado nos conhecimentos de diversos autores observa-se a grande importância de se fazer o manejo da irrigação como também o sistema adequado para a cultura, há inúmeras vantagens para o produtor quando se usa a técnica certa, em termos de produtividade e conservação do solo. Quando se pensa em agricultura sustentável e de precisão, o conhecimento da umidade do solo é de grande importância, e nesse contexto, o manejo de irrigação entra como um fator preponderante, pois o fornecimento de água para as culturas na quantidade adequada passa a ter maior eficiência, desde que se conheça a necessidade hídrica das mesmas. Neste contexto a plataforma Arduino surge como solução eficiente e sustentável no processo de irrigação.

**Palavras-chave:** Sistemas de irrigação, Água, Prototipagem.

## **ABSTRACT**

Agricultural irrigation has become increasingly valued among agricultural producers, because this technique supplies the water demand for crops in periods of drought, especially for the Northeast region of the country, bringing productivity to crops in times of difficulty. This technique has been explored by researchers to bring more productivity to the field. In the present work, traditional irrigation methods are reported along with the advantages and limitations of each method and their general considerations, as well as the concept of automatic irrigation. Automation in irrigation is an increasingly present practice, where we can talk about automatic localized irrigation, through the Arduino platform, in which the water is directed directly into the root region of the plant in an automated way, according to the environmental conditions the system provides. water resource in adequate amounts. Based on the research carried out, the objective was to carry out a survey of important information about irrigation methods in the literature, seeking to highlight how to properly manage irrigation and demonstrating the technological use in this sector of agriculture, in order to provide important information about the irrigated agriculture. The research was carried out on websites, Google Scholar, TCCs, academic books, library collections from several universities, EMBRAPA website and Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Based on the knowledge of several authors, it is observed the great importance of managing irrigation as well as the appropriate system for the culture, there are numerous advantages for the producer when using the right technique, in terms of productivity and soil conservation. When thinking about sustainable and precision agriculture, knowledge of soil moisture is of great importance, and in this context, irrigation management enters as a preponderant factor, as the supply of water to crops in the appropriate amount becomes more important. efficiency, as long as their water needs are known. In this context, the Arduino platform emerges as an efficient and sustainable solution in the irrigation process.

**Keywords:** Irrigation systems, Water, Prototyping.

## LISTA DE FIGURAS

Pag.

<b>FIGURA 1:</b> Irrigação por inundação .....	27
<b>FIGURA 2:</b> Irrigação por sulcos .....	28
<b>FIGURA 3:</b> Nesse sistema, a água infiltra no fundo e nas laterais do sulco (perímetro molhado) movimentando-se vertical e horizontalmente no perfil do solo, proporcionando a umidade necessária para o desenvolvimento vegetal .....	28
<b>FIGURA 4:</b> Irrigação por faixa .....	29
<b>FIGURA 5:</b> Sistema de irrigação convencional .....	33
<b>FIGURA 6:</b> Sistema de irrigação autopropelido .....	33
<b>FIGURA 7:</b> Sistema de pivô central .....	34
<b>FIGURA 8:</b> Sistema de irrigação por deslocamento linear .....	35
<b>FIGURA 9:</b> Sistema de irrigação do tipo LEPA .....	36
<b>FIGURA 10:</b> Vista parcial de um sistema de gotejamento, com irrigação em pontos distintos .....	38
<b>FIGURA 11:</b> Vista parcial de um sistema de gotejamento, com faixa molhada contínua .....	38
<b>FIGURA 12:</b> Vista parcial de um sistema de microaspersão, com disco molhado....	39
<b>FIGURA 13:</b> Vista parcial de um sistema de microaspersão, com faixa molhada contínua .....	39
<b>FIGURA 14:</b> Sistema de microaspersão .....	41
<b>FIGURA 15:</b> Sistema de gotejamento .....	42
<b>FIGURA 16:</b> Subirrigação em ambiente protegido .....	43
<b>FIGURA 17:</b> Sistema de irrigação localizada subsuperficial .....	44
<b>FIGURA 18:</b> Placa Arduino .....	48
<b>FIGURA 19:</b> Sensor Moisture .....	49
<b>FIGURA 20:</b> Shield Grove .....	50
<b>FIGURA 21:</b> Relé GROVE .....	50
<b>FIGURA 22:</b> Grove - Serial LCD .....	51
<b>FIGURA 23:</b> Moto Bomba Sarlo s-140 .....	52
<b>FIGURA 24:</b> Sensor de umidade Moisture conectado ao solo .....	53
<b>FIGURA 25:</b> Esboço do Projeto. ....	53
<b>FIGURA 26:</b> Protótipo .....	54

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Pag.

<b>FLUXOGRAMA 1:</b> Funcionamento do sistema .....	46
<b>FLUXOGRAMA 2:</b> Fluxograma do esquema de funcionamento do protótipo .....	55

## LISTA DE TABELAS

Pag.

<b>TABELA 1:</b> Eficiência de aplicação ( $E_a$ ) ideal e aceitável dos diferentes métodos de irrigação .....	25
--	----

## 1.0. INTRODUÇÃO

A história da irrigação praticamente se confunde com a história da humanidade, e o desenvolvimento de várias civilizações antigas pode ser traçado através do sucesso da irrigação. A irrigação usada pelas primeiras civilizações - cujas primeiras referências datam de 4.500 a.C. - teve como consequência o suprimento de alimento e aumento de população (AITA, 2017). Estudos comprovam que nessa época, tal prática era utilizada pelos Assírios, Caldeus e Babilônicos, no continente asiático. Da mesma forma, as grandes aglomerações que se fixaram nas margens dos rios Huang Ho e Iang-Tse-Kiang, na China (ano 2.000 a.C.), do Nilo, no Egito, do Tigre e do Eufrates, na Mesopotâmia e do Ganges, na Índia (ano 1.000 a.C.), nasceram e cresceram graças à utilização eficiente de seus recursos hídricos (GIACOIA NETO, 2015).

Os anos se passaram e a irrigação, de prática rudimentar, se estruturou em bases técnico-científicas a tal ponto que, hoje, é tida como uma verdadeira ciência, como técnica utilizada na agricultura para se ter o controle da quantidade de água destinada à plantação, em quantidade suficiente e no momento certo, assegurando melhor produtividade e sobrevivência da plantação, e para se ter o controle sobre a cultura durante todo os processos de crescimento, desde as sementes até a planta já adulta (SOUSA, 2011; TESTEZLAF, 2017).

O nosso planeta Terra é formado de 70 % de água em toda a sua superfície, sendo 97% desta, constituída por água salgada, encontrada em oceanos e mares, e consideradas imprópria para o consumo. Do restante, apenas 3 %, são de água doce, divididos em 71 % em forma de geleiras ou calotas polares, e os 29 % restantes subdividem-se em 18 % de águas subterrâneas (lençóis freáticos), 7 % de águas em lagos e rios, e 4 % em umidade do ar (VICTORINO, 2007; ZOCCOLOTTI, 2008). Um fato interessante é que a América do Sul é o continente que possui a maior porcentagem de água doce entre todos os continentes do mundo com 23,1%.

Segundo Victorino (2007) e até a atualidade, os 11% a 12% da água doce do mundo se encontram disponíveis no Brasil, mas estão mal distribuídos no território. A maior parte (cerca de 70%) encontra-se na região Norte, e o restante está dividido nas outras regiões do país. Além da má distribuição, a agricultura absorve uma média

mundial de 70% das provisões de água. Diante dessas dificuldades, o abastecimento deste insumo no Brasil torna-se um dos maiores problemas enfrentados pela economia, principalmente porque não há gestão que busque regularizar o seu uso, apesar de ser generosa a oferta de recursos hídricos.

A Agência Nacional de Águas (ANA), em um estudo recente, aponta que a irrigação é responsável por 69% a 70% do consumo de água no Brasil, e consome 986,4 mil litros de água por segundo. Fatores indica que a irrigação é em disparado, a maior consumidora de água no Brasil, com uma área irrigável de aproximadamente 29,6 milhões de hectares. (RAYLTON, 2015).

Os métodos de controle de irrigação melhoram significativamente a eficiência do uso da água, e aumentam a produtividade de culturas irrigadas, imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável do ecossistema. É nesse sentido que o processo de regadura visa compatibilizar, no espaço e no tempo, o crescimento econômico com a conservação ambiental (AITA,2017).

E com a modernização, surge o termo atualmente utilizado para denominar o fenômeno da implementação tecnológica no campo é “agricultura de precisão”, uma área ainda recente no Brasil, mas que tem ganhado espaço e volume de negócios bastante significativos nos últimos anos. A agricultura de precisão requer o uso de diversas tecnologias e visam maximizar a produtividade e reduzir os custos dos processos de produção agrícola (BARBOSA, 2013). Mas, não simples de aplicar, porque precisa definir quando irrigar e a quantidade de água que se deve aplicar, e isso, depende de fatores do meio e da planta. O uso de um sistema de irrigação automatizado, reduz não só falhas de manejo como também o consumo de insumos e o custo de produção.

Assim, a atenção dos órgãos gestores deverá estar voltada para a agricultura irrigada, visando o uso racional da água que será alcançado através do uso de sistemas de irrigação que possibilitem alcançar a sustentabilidade, o que proporcionará uma diminuição considerável na porcentagem de água consumida no Brasil. Para que os grandes impactos sobre o solo não superem sua capacidade biológica de regeneração, a irrigação localizada e automatizada – uma nova ferramenta científica – vem sendo aplicada em cultivos agrícolas com alto grau de valor agregado (AITA, 2017).

A irrigação para a agricultura é fundamental, diversos trabalhos pelo mundo demonstram sua importância, de uma simples irrigação em uma horta de casa até um complexo sistema de irrigação em culturas cultivadas em desertos extremamente áridos. Por esse motivo e de tantos outros, o presente trabalho expõe os métodos de irrigação com suas características, vantagens e limitações, bem como a automação da irrigação através da plataforma Arduino.

O desenvolvimento de um sistema de irrigação automática usando o Arduino, tem muitos benefícios, porque além da facilidade de utilização e acesso a essa tecnologia, proporciona também o desenvolvimento de um sistema preciso, eficiente e econômico, a longo prazo, assegurando aos agricultores de pequeno a grande porte a oportunidade de usufruir dos benefícios do sistema. Percebe-se na atualidade, principalmente com toda a problemática endofoclimática, a inserção da tecnologia em diferentes segmentos agrícolas.

## **2.0. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado através de uma revisão bibliográfica. Foram realizadas buscas sistemáticas em bases de dados bibliográficos e estatísticos, nacionais e internacionais na área da irrigação. Todos os apontamentos que constam presentes nessa revisão foram lidos para a sua confecção.

As seguintes palavras-chaves foram pesquisadas: irrigação, métodos e sistemas de irrigação, água, prototipagem.

## **3.0. RESULTADOS**

A seguir estão relatados, em forma de revisão bibliográfica, os aspectos relacionados a irrigação e seus métodos de aplicação.

### **3.1. BREVE HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO**

As civilizações antigas se desenvolveram em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação. A irrigação é uma técnica consolidada e fundamental para a produção de alimentos, estando presente em todas as civilizações. Historicamente as grandes civilizações se instalaram e desenvolveram às margens de grandes rios, o que garantiu água para a sua sobrevivência, para os

animais e para irrigar as suas plantações, permitindo que usufríssem de fontes mais seguras de alimentos (AITA, 2017).

Há indícios que a irrigação já era utilizada no Egito antigo em meados de 6.000 a.C. as margens do Rio Nilo; na Mesopotâmia, nas margens dos rios Tigre e Eufrates por volta de 4.000 a.C.; na China em 3.000 a.C.; na Índia a irrigação era utilizada por volta de 2.500 a.C. Na América do Sul e no México as civilizações Incas e Maias já usavam a irrigação há mais de 2.000 anos. Nos Estados Unidos a irrigação já era usada pelos índios da região sudoeste, por volta de 100 a.C. (ANA, 2017).

Já no Brasil, dotado de grandes áreas agricultáveis localizadas em regiões úmidas, não baseou, no passado, a sua agricultura na irrigação, embora haja registro de que, em 1589, os Jesuítas já praticavam a irrigação na antiga Fazenda Santa Cruz, no estado do Rio de Janeiro (GIACOIA NETO, 2015).

Um episódio de grande importância para o mundo da irrigação foi a criação do primeiro aspersor de impacto. Na época a invenção era comparada a lâmpada de Thomas Edison e o telefone de Alexandre Gram Bell. Orton Englehart, um cultivador de citrus residente no sul da Califórnia que criou o primeiro aspersor de impacto em 1933, e revolucionou a história da produção de alimentos e a iniciou uma nova era na irrigação mundial (GIACOIA NETO, 2015).

No Brasil, a irrigação teve a sua origem no estado do Rio Grande do Sul, durante a época da colonização, através do cultivo do arroz irrigado por inundação. Por meio de incentivos governamentais nos anos de 1970 e 1980 a irrigação no Brasil iniciou a sua expansão e a ocupou maiores áreas. Na época atual, segundo o Atlas Irrigação da Agência Nacional de Águas (ANA), os estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Bahia são os estados os quais possuem as maiores áreas irrigadas, contribuindo para que a área irrigada no Brasil atingisse 8,2 milhões de hectares (AITA, 2017).

Mais da metade da população atual do mundo necessita de alimentos produzidos na agricultura através da irrigação. O rápido e contínuo crescimento população mundial vem exigindo uma agricultura competitiva e tecnificada, que proporcione a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade (BERNARDO *et al.*, 2006).

No antigo conceito, a irrigação era vista como um método que visava resumidamente a luta contra a seca. Em uma visão mais atual, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma estratégia para elevar a rentabilidade da prosperidade agrícola por meio do aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável, preservando o meio ambiente, e com maior geração de emprego e renda, com enfoque nas cadeias produtivas (BERNARDO *et al.*, 2006).

### 3.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS DOS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

Os métodos de irrigação podem ser separados em pressurizados e não-pressurizados. Nos primeiros, a água é conduzida em tubulações sob pressão até o ponto de aplicação. Estão incluídos nessa categoria os métodos de irrigação por aspersão, em que a água é aspergida na atmosfera, caindo em forma de chuva artificial, e os métodos de irrigação localizada, na qual a água é aplicada diretamente sobre a região radicular com baixa intensidade e alta frequência. Nos métodos de irrigação não-pressurizados – ou irrigação por superfície – a água é conduzida por gravidade diretamente sobre a superfície do solo até o ponto de aplicação, exigindo, portanto, áreas sistematizadas e com declividades de 0 a 6 %, de acordo com o tipo de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A escolha do método de irrigação a ser usado em cada área deve ser fundamentada na viabilidade técnica, econômica e ambiental do projeto e nos benefícios sociais. Em geral, os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo por unidade de área; os de aspersão, de custo médio; e os de irrigação localizada, de maior custo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Na escolha do método de irrigação a ser usado devem-se considerar os pontos vistos a seguir:

#### 3.2.1. Uniformidade da superfície do solo

A irrigação por superfície requer áreas uniformes e com declividade não muito acentuada. Assim, terrenos com declínio acentuado, limitam o uso desse tipo de irrigação, permitindo somente irrigação por aspersão e localizada. A uniformidade da superfície do terreno é também muito importante. A irrigação por superfície exige áreas uniformes, sem elevações e depressões, para evitar a falta ou o acúmulo de

água. Para colocar a superfície do terreno em condições de realizar uma eficiente irrigação por superfície, há, em geral, necessidade de sistematizá-lo. Quanto maior for a desuniformidade natural do terreno, maior será o custo e maiores os problemas com a sistematização. Dependendo do seu custo e da profundidade dos cortes a serem realizados, expondo o subsolo, não se recomenda a regularização. Neste caso, as únicas opções são irrigações por sulco em contorno, por aspersão ou localizada (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

### 3.2.2. Tipo do solo

Os fatores primários referentes ao solo para a escolha entre os métodos de irrigação, temos: capacidade de infiltração, profundidade efetiva, aeração, capacidade de água disponível, variabilidade espacial e salinidade. O principal fator é a capacidade de água disponível, conforme o mesmo, quaisquer os fatores que resultem em um aumento da capacidade de água disponível do solo sem, contudo, limitar a aeração, tendem a propiciar o emprego dos sistemas de irrigação por superfície, porque é tem relativa eficiência em aplicar alta quantidade de água com pouca frequência. Mutuamente, solos com pouca capacidade de água disponível necessitam de irrigações frequentes e com baixa quantidade, na qual é melhor beneficiado por sistemas de irrigação por aspersão e localizada (ou microirrigação) (FRIZZONE, 2017).

Segundo Frizzone (2017), as propriedades do solo que afetam a capacidade de água disponível são:

(a) Profundidade efetiva – Solos pouco profundos (sobre camadas adensadas, rochas, cascalho) ou com lençol freático definitivamente alto (elevado), ou a aparição de qualquer outra camada de obstrução, têm baixa capacidade de água disponível. Esses solos não devem ser sujeitos as operações de sistematização; mesmo em baixas profundidades de corte conseguiriam expor horizontes estéreis, compactados ou mesmo o lençol freático. Assim sendo, a irrigação por sulcos e faixas de infiltração não são escolhas sensatas. Na situação na qual o lençol freático está alto, a irrigação subterrânea pode ser pensada como uma via possível de ser explorada. Somente quando tiver um sistema de drenagem subterrânea eficaz e a oportunidade de um manejo rígido do volume de água que é aplicada, é que essa irrigação pode ser empregada. Devido a viabilidade de um manejo eficiente da quantidade de água

aplicada, os métodos de irrigação por aspersão e localizada se tornam os mais adequados aos solos pouco profundos.

(b) Textura – A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente encontram-se associados com a textura do solo e compõe os fatores principais que influenciam a disponibilidade de água. Tanto os solos argilosos quanto os arenosos, têm um estreito intervalo entre os limites superior e inferior de água disponível e, por consequência, favorecem o uso de sistemas da irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) e alguns sistemas de aspersão que proporcionam a aplicação frequente de água com baixo volume. De forma que o gasto de água, na irrigação por superfície, está relacionado à percolação durante o estágio de avanço e ao escoamento no final da parcela no estágio de reposição, então, não pode esperar por níveis aceitáveis de eficiência dos sistemas por faixas ou sulcos de infiltração nestes tipos de solo. Em especial, o sistema de inundação pode ser aplicado, em preferência, em solos mais argilosos, com pequena capacidade de infiltração. Os solos de textura média, onde se tem um intervalo de água disponível amplo, são os mais adequados a todos os métodos de irrigação.

(c) Estrutura – A estrutura é determinada pela combinação das partículas do solo. Um solo com estrutura granular é preferencialmente recomendado para a agricultura, pela alta capacidade de armazenamento e disponibilização de água e nutrientes ao cultivo. Os solos bem estruturados, contém argila em volume adequado para formar aglutinados e possibilitar a irrigação por qualquer método de irrigação. Em contra partida, solos com mal estruturação, sem agregação, de grãos simples, como os arenosos, limitam a aplicação da irrigação por superfície.

(d) Massa específica do solo – Também denominada densidade global ou densidade aparente, é uma propriedade do solo de relevância na irrigação, porque se relaciona com a porosidade do solo e com a capacidade de armazenamento de água. Tendo como função da textura e da estrutura, influenciar a capacidade de água disponível e, dessa maneira, induzindo na escolha dos métodos de irrigação. Como a ordem de grandeza das diferenças entre massas específicas dos distintos tipos de solo não são significativas, essa condição, em si só, dificilmente influencia na escolha final de um método de irrigação.

Taxa de infiltração da água no solo – A taxa de infiltração é um dos fatores básicos para a escolha de um método de irrigação. Na situação de irrigação por sulcos e faixas, define o comprimento adequado da parcela para uma certa vazão de entrada e declividade da área. Para a aspersão, a intensidade de aplicação de água estabelece o tamanho e a capacidade dos aspersores e a distância entre eles. No geral, velocidades baixas de infiltração de água no solo concedem maiores comprimentos das parcelas para irrigação por superfície, tendo como resultado, sistemas mais viáveis economicamente e com maior maleabilidade para operações mecanizadas. No caso de terrenos com declividade, a pequena velocidade de infiltração proporciona o escoamento na superfície, quando se usa irrigação por aspersão com intensidade de aplicação não compatível com a capacidade de infiltração, amplia os perigos de erosão. Para este caso, a intensidade de aplicação de água pelos aspersores não deve superar a velocidade de infiltração básica da água no solo. A aspersão convencional e a microaspersão deixam mais eficiente a compatibilização entre a intensidade de aplicação e a velocidade de infiltração. Em certos sistemas de aspersão mecanizados, o pivô central e o autopropelido, não aceitam a mesma flexibilidade operacional e são capazes de ser restritivos em solos com velocidade de infiltração baixa. Da mesma maneira, velocidade de infiltração alta, específica de solos arenosos, reflete em um enorme problema à implantação de sistemas. Nestes solos, as parcelas de irrigação têm reduzido comprimento, tem fácil perda de água por percolação profunda, os gastos da irrigação são mais altos e as operações mecanizadas são complicadas. Alguns solos argilosos são mais sujeitos à formação de crostas superficiais quando se irriga por aspersão, por causa da desagregação provocada pela colisão das gotas no solo, este resultado diminui a velocidade de infiltração, intensifica o deflúvio e afeta a germinação das sementes. Perante tais condições, a irrigação por aspersão tem que ser evitada, ou usar aspersores com elevado grau de pulverização. Tal opção, pode não ser a melhor escolha economicamente, devido a facilidade das perdas de água por evaporação e deriva. A irrigação por superfície possibilita a formação do selamento da superfície de infiltração, por sedimentação de material em suspensão (FRIZZONE, 2017).

Aeração do solo – Existindo no solo a probabilidade de diminuição da porosidade livre de água, a níveis que seriam capazes de dificultar a aeração do ambiente das raízes da cultura, os sistemas de irrigação por aspersão e,

principalmente, os de irrigação localizada, se tornam a melhor decisão relativamente aos por superfície. A aplicação de água ao solo a uma intensidade menor à velocidade de infiltração tem como resultado, um baixo volume de água no perfil e, como consequência, uma aeração mais alta (FRIZZONE, 2017).

Variabilidade espacial – Quando o solo tem uma considerável variabilidade em seus atributos de retenção e infiltração de água ou em seu perfil, e essas diferenças se expandem em áreas do terreno, relativamente grandes, os equipamentos de aspersão e microirrigação (irrigação localizada) se ajustam melhor para tal situação, por serem bastante flexíveis, permitem o uso de distintos emissores de água que atendem às variabilidades da área. Sulcos e faixas não são devidamente dimensionados, com comprimentos diferentes em várias glebas, pois complicam a eficiência da operação dos sistemas. Se a variabilidade nos atributos do solo ocorrer em áreas parcialmente pequenas, espalhadas no campo, a exemplo de pequenas manchas argilosas em solos arenosos, a irrigação localizada estabelece-se na melhor opção, porque é bastante flexível para aplicação da água em áreas pequenas. O sistema de aspersão convencional também é uma possibilidade para superar a variabilidade espacial das propriedades físicas, químicas e morfológicas do solo. Com fáceis mudanças operacionais ou dimensionais, a irrigação por aspersão pode se ajustar às variações nas características de retenção e movimentação de água na área irrigada, no qual seria mais árduo de obter com irrigação por superfície e alguns sistemas de aspersão mecanizados, como o deslocamento linear, autopropelido e pivô central (FRIZZONE, 2017).

Salinidade do solo – Os solos com alto teores de sais, decorrem frequentemente em regiões semiáridas e áridas, na qual a precipitação é mais baixa que a demanda evaporativa da atmosfera. Essa desarmonia gera acúmulo de sais solúveis no solo, prejudiciais às plantas, a longo prazo, sendo capaz de esterilizar o solo. O acúmulo de sais no solo pode aumentar se tiver irrigação com água salina, especialmente na ausência de um sistema de drenagem subterrânea eficaz. Em lugares onde a salinidade do solo é um problema, a irrigação por sulcos e subterrânea não deve ser usada. Os sulcos permitem a geração de uma zona salina no comprimento intermediário entre eles, normalmente o lugar onde se desenvolvem as plantas. Caso os sulcos sejam feitos pertos, ou coincidindo com as linhas de plantio, a irrigação tem que ser manejada para restringir o efeito prejudicial dos sais em

excesso. É possível o sucesso da irrigação por faixas, porque aceita a aplicação de uma lâmina de água adicional, em toda a área, para lixiviar os sais que estejam na camada de solo onde estão as raízes. Os problemas envolvendo a presença de sais solúveis no solo podem ser de fácil contorno com o emprego de regimes de irrigação frequente e localizada, o que propicia a lixiviação dos sais, retirando-os da zona radicular e conservando o teor de água elevado no local, diminuindo os teores de sais. Dessa forma, os sistemas de irrigação localizada são mais eficientes em solos que possuem altos teores de sais. Os sistemas por aspersão, pelas suas particularidades, proporcionam a aplicação de lâminas adicionais de irrigação, por toda a área e viabilizam naturalmente o deslocamento dos sais solúveis para as camadas de solo mais internas onde devem ser retirados da área através da drenagem. Alguns sistemas, como o pivô central e o deslocamento linear permitem, ainda, regimes de irrigações frequentes. Adiciona-se que um sistema de drenagem subterrânea é imprescindível em qualquer solo salino (FRIZZONE, 2017).

### 3.2.3. Quantidade e qualidade de água

As fontes de água para a irrigação, podem ser de natureza superficial (lagos, açudes, rios, represas, riachos, entre outros) ou subterrânea (confinados ou aquíferos freáticos).

Segundo Frizzone (2017), os principais parâmetros relacionados aos recursos hídricos e suas implicações na seleção dos métodos de irrigação são:

Potencial hídrico – Pode ser analisado em função da vazão e do volume total disponível. A vazão disponível pode ser estimada usando-se critérios probabilísticos e o volume total em função da capacidade de armazenamento de água ou da demanda de construção de reservatórios. A grandeza do potencial hídrico determina a eficiência de irrigação necessária para irrigar todo o terreno. Se necessário de uma maior eficiência de irrigação, os sistemas por aspersão e microirrigação são as melhores escolhas.

Localização da fonte d'água – A topografia da fonte hídrica, em relação ao local da irrigação, tem enorme influência no fluxo de distribuição de água, no controle e no valor do sistema de irrigação. Se possível para a seleção do local de captação da água, deve ser realizada de maneira a diminuir a altura de recalque e as distâncias de

condução e distribuição, de maneira a preferir o fluxo por gravidade. A altura de recalque da água é um dos principais fatores referentes ao consumo elétrico; elevando-se essa altura em relação à altura manométrica total, superiores precisarão ser os níveis de eficiência dos sistemas de irrigação.

Qualidade da água – É definida através da quantidade e natureza do material sólido em suspensão e em solução. A quantidade de partículas sólidas na solução pode dificultar os sistemas de irrigação localizada. Tal exigência é baixa em sistemas por aspersão e pouco relevante em sistemas por superfície. Em contrapartida, os sistemas de irrigação localizada propiciam a utilização da água com altos teores de sais. Um elevado regime de umidade no solo diminui a concentração de sais na zona radicular e os riscos da salinidade, melhorando a capacidade de manejo de solos salinos ou sódicos, e proporciona o uso de água mais salinas na irrigação. De outra forma, a presença de partículas sólidas em suspensão na água compõe um grave problema para a microirrigação devido ao aumento do risco de obstrução de emissores. A realização para a remoção deste material é fundamental o uso de um sistema eficaz de filtragem, e isso, eleva os custos do sistema. Outro obstáculo dos sistemas de microirrigação, é a obstrução de emissores relacionados com óxidos de ferro, são provocados através da incorporação de sais solúveis de ferro a partir da fonte de água no método de irrigação localizada, onde, por causa de um número de fatores, os sais de ferro podem ser oxidados e precipitar obstruindo os emissores.

Custo da água – Resulta da localização da fonte hídrica, sua disponibilidade, e a quantidade e qualidade da água. Um elevado custo pela água requer uma alta eficiência do sistema, na qual pode ser obtido através dos sistemas de microirrigação e aspersão.

#### 3.2.4. Clima

O volume e a frequência das precipitações que acontecem durante o ciclo das culturas determinam a relevância da irrigação para a produção agrícola. Nas regiões semiáridas e áridas é praticamente impossível produzir sem irrigação. Porém, nas regiões mais úmidas, a irrigação tem propósito apenas complementar, e os sistemas de baixo preço, a exemplo da subirrigação e a irrigação por sulcos, atendem a outros requisitos. Na situação de vento forte, a uniformidade de distribuição de água é bastante arruinada no método da aspersão e, sendo assim, tem que ser evitado. O

sistema de pivô central expressa melhor eficiência, em circunstância de vento, que os sistemas autopropelidos e convencionais, especialmente quando usado o sistema LEPA. Na prática não há influência do vento nos sistemas de irrigação localizada e subirrigação. As perdas de água por evaporação direta do jato, nos sistemas de aspersão, chegam a 10%, sem levar em consideração a evaporação da água da superfície da cultura. Sistemas de aspersão podem atuar na proteção contra geadas. Apesar disso, só é possível em sistemas de aspersão fixos, dimensionados para possibilitar irrigação simultânea de toda a área (ANDRADE; BRITO, 2006).

### 3.2.5. Cultura

É muito importante esclarecer que não há propriamente um método de irrigação mais eficiente que outro, para quaisquer condições, mas sim que, para determinada condição, há métodos que se adaptam melhor. Deve-se primeiro estudar bem as características da cultura e da área a ser irrigada e depois escolher o método que melhor se adapte a essas características (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Tem que levar em consideração os sistemas de plantio, o sistema de irrigação por sulco se adapta bem às culturas em linhas. Os sistemas de gotejamento e aspersão são apropriados ao sistema de cultivo em linhas. Quando o espaçamento entre linhas não proporciona a preparação de sulcos, sem riscos à densidade de plantio, a exemplo dos cereais de pequeno porte (centeio, cevada, trigo) ou em algumas olerícolas, se deve preferir o sistema de irrigação por faixas, que é adequado às culturas semeadas a lanço. A irrigação por aspersão, devido suas especificações de aplicação de água em área total, se ajusta perfeitamente às culturas que dominam toda superfície da área. No caso das frutíferas, que ocupam relativamente a superfície da área, a irrigação por aspersão tem menor eficiência de aplicação de água, pode ser melhor representada pelos sistemas de irrigação localizada. A irrigação por sulcos também é mais eficiente que a aspersão, porque concede a localização da aplicação dá água na região de relevância (FRIZZONE, 2017).

Levando em consideração a altura das plantas, culturas como o milho, cana-de-açúcar e muitas culturas fibrosas necessitam a utilização dos aspersores a uma altura adequada, elevando o consumo de energia, permitindo a aplicação de água sobre a vegetação e diminuindo a uniformidade de distribuição de água e a eficiência

de aplicação. Tais condições, o movimento das tubulações nas mudanças de posições de linhas laterais, nos sistemas de aspersão portáteis, tem certa dificuldade, a não ser que tenham carreadores para beneficiar essa operação. Culturas com altura superior a 3 metros limitam o uso dos sistemas tipo deslocamento linear e pivô central; o sistema de rolamento lateral se ajusta bem somente a culturas rasteiras. Com exceção da aspersão, todos os outros métodos de irrigação não manifestam nenhum obstáculo quanto ao porte da cultura (FRIZZONE, 2017).

A profundidade radicular da cultura, demonstra que culturas com raízes profundas são capazes de adentrar maior volume de solo e, como consequência, necessitam irrigações de baixa frequência e com maiores lâminas, em comparação, às culturas com sistema radicular pouco profundo. Culturas com raízes profundas são irrigadas com mais eficiência por sistemas de irrigação por superfície. No caso de culturas raízes pouco profundas, a exemplo, da bananeira e cebola, demandam de irrigações frequentes e leves, dessa maneira, os sistemas de microirrigação e irrigação por aspersão são mais eficientes (FRIZZONE, 2017).

Os estádios de crescimento, da mesma forma, atuam na seleção dos métodos de irrigação. Muitas culturas envolvem irrigações suaves e frequentes durante a germinação e em períodos subsequentes, quando ainda novas, com raízes pouco profundas. Nessa situação, os sistemas de irrigação por aspersão são mais adequados, todavia, tem que ser usados aspersores com menor intensidade de aplicação e baixo grau de pulverização para dificultar a formação de crosta superficial e complicar a germinação das sementes. Nos estádios de crescimento e maturação não tem uma preferência em especial por um sistema de irrigação e outros fatores são capazes de determinar a seleção. Durante a época de colheita, certas culturas não toleram molhamento da parte aérea, tal como, o algodão, e isto limita a utilização da aspersão (FRIZZONE, 2017).

E para concluir, os requisitos agronômicos, as distintas culturas têm um certo grau de resistências as doenças para cada espécie, o tomateiro, por exemplo, é bastante sensível, sobretudo em regiões úmidas, requerendo tratamentos fitossanitários sistemáticos, não é aconselhável os sistemas de aspersão e os sistemas por superfície e gotejamento se tornam as melhores escolhas. A aspersão como desvantagem o molhamento das folhas e, desse modo, os defensivos aplicados por polvilhamento propicia o estabelecimento e disseminação de agentes

patogênicos. A sistema por gotejamento, muitas vezes, não causam ou agravam a ocorrência de doenças de plantas, pois água é direcionada a parte desejada, próximas as raízes. A macieira e a pereira são capazes de sofrer queima das folhas se irrigadas por aspersão em horários de sol quente, fatos em que a irrigação a noite se torna mais adequado, ou o uso da microirrigação ou irrigação por superfície. A diminuição temporária da aeração do solo é capaz de ser prejudicial a certas culturas bastante sensíveis, como os citros e o pimentão. Tal conduta consegue limitar o uso de sistemas de irrigação por superfície e subsuperfície, em solos que indicam elevada capacidade de retenção de água.

### 3.2.6. Manejo da irrigação

De modo geral, os métodos de irrigação por aspersão e localizada são mais fáceis de serem operados no campo do que os métodos por superfície, excetuando-se o de inundação. Em virtude de as irrigações localizada e por aspersão estarem menos sujeitas à interferência do irrigante no campo, estes métodos apresentam maior eficiência do que os de irrigação por superfície. A tabela a seguir, contém os valores ideais e aceitáveis da eficiência de aplicação (Ea), ou seja, da porcentagem do total de água aplicada na irrigação, que é considerada útil às culturas, dos diferentes métodos de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

**TABELA 1:** Eficiência de aplicação (Ea) ideal e aceitável dos diferentes métodos de irrigação

Método de irrigação	Ea ideal (%)	Ea aceitável (%)
Superfície		
inundação	≥ 85	≥ 65
sulco	≥ 75	≥ 60
faixa	≥ 80	≥ 65
Aspersão		
convencional	≥ 85	≥ 75
autopropelido	≥ 85	≥ 75
pivô central	≥ 85	≥ 75
Localizada		
microaspersão	≥ 95	≥ 80
gotejamento	≥ 95	≥ 80

**Fonte:** Manual de Irrigação, 2006.

Quanto ao reparo e a manutenção do sistema em condições de campo, o mais simples é o da irrigação por superfície, e o mais complexo, o de irrigação por gotejamento (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

.A melhor escolha do tipo de método de irrigação, irá depender das características do lugar, o clima (temperatura, velocidade dos ventos, umidade relativa do ar, precipitações), a água (quantidade e qualidade), o solo (capacidade de campo e ponto de murcham permanente, velocidade de infiltração e drenagem, textura, topografia, fertilidade, etc.), a cultura (genótipo, altura, profundidade radicular, semente, produtividade, etc.), como também dos fatores humanos (nível tecnológico, hábitos, condições financeiras, etc.). Não há um método ou sistema de irrigação conhecido como o preferível, ou seja, capaz de suprir de todas as maneiras possíveis para quaisquer condições do meio físico e a grande variedade de culturas e interesses econômicos e sociais. Se deve selecionar o método de irrigação certo de acordo com cada situação em particular. A decisão de escolha se baseia na análise criteriosa das condições existentes em função das características de cada método e da análise econômica para cada variação.

### 3.3. IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

Há seis mil anos atrás as civilizações mesopotâmica, chinesa e egípcia, ainda que de forma muito simples, já empregavam esse método de irrigação, sendo assim um dos primeiros métodos de irrigação a ser usado pelo homem. No Brasil a irrigação por superfície representa cerca de 51% da área irrigada, sendo aproximadamente 1,7 milhões de hectares irrigados por esse método. Quando comparado com outros sistemas, seu consumo de água é bem mais significativo e sua menor eficiência de aplicação e de distribuição, em razão da alta necessidade de recurso hídrico para a irrigação e manejo trabalhoso (MOROUELLI, 2011).

Segundo Testezlaf (2017), a irrigação por superfície também é conhecida como irrigação por gravidade. O autor defende que é o processo de irrigação mais antigo utilizado pelo homem. Nesse processo, a água escoar sobre o solo, cobrindo-o parcialmente ou totalmente, na qual a água, com a força da gravidade, é absorvida pelo solo. Normalmente, a água é fornecida por meio de tubulações, canais ou valas e flui para o campo (BJORNEBERG, 2013).

Carvalho, Frizzone e Palaretti (2018), explicam que a água deve ser levada para as áreas que serão irrigadas através de canais ou tubos, porém dentro das áreas de irrigação não se faz necessário o uso de tubulações. Os autores ainda alertam que é relevante controlar o tempo que a água permanece, retida ou escoando, dentro das culturas, para assim obter a maior eficiência de absorção de água para a produção. A irrigação por gravidade é um dos métodos mais utilizados no mundo (TESTEZLAF, 2017).

Já Bjorneberg (2013), afirma que esse método de irrigação é muitas vezes considerado menos eficiente que outros métodos. No entanto, com uma superfície bem estruturada e com um sistema de reutilização de escoamento é possível chegar a aproximadamente 90% de eficiência.

### 3.3.1. Irrigação por inundação

A irrigação por inundação é o mais simples e fácil, dentre todos os sistemas de irrigação por superfície. Esse sistema é utilizado nas plantações de arroz, em áreas de superfície quase planas, em que se deposita águas em valas feitas no meio da plantação que infiltra no solo. Esse sistema também é usado na irrigação de árvores frutíferas com pequenas modificações no sistema (AMARAL, 2017).

**FIGURA 1:** Irrigação por inundação



**Fonte:** Revisa Rural, 2020.

A irrigação por inundação é uma das formas mais comuns de irrigação, principalmente em regiões com pequenas propriedades. Havendo uma área nivelada em todas as direções, é possível construir diques ou taipas que impeçam perdas por

escoamento superficial e permitam criar uma área inundada, na qual se denomina bacia ou tabuleiro. Esse método é recomendado para os solos com baixa capacidade de infiltração e para culturas com raízes profundas e com pequeno espaçamento entre plantas (SENAR, 2019).

### 3.3.2. Irrigação por sulcos

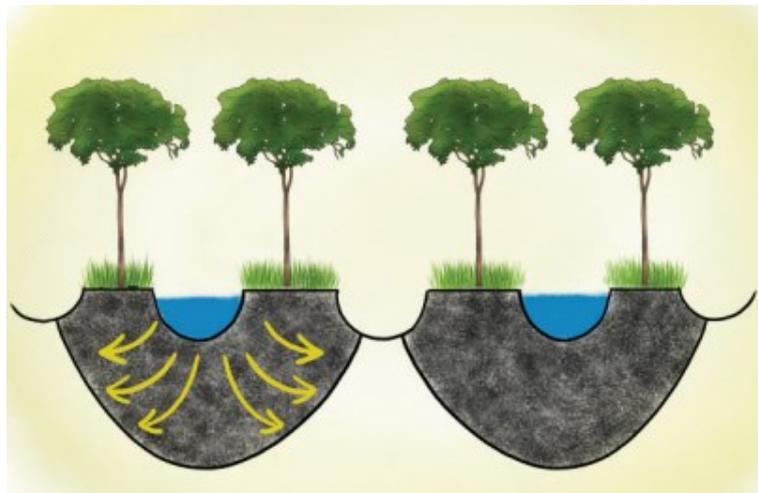
O sistema de irrigação por sulcos consiste em fazer a água correr em canais entre as linhas das plantações, adaptando em diferentes tipos de terrenos e solos (Figura 2). Desta forma o processo de irrigação mais conhecido e usado no mundo. Sua eficiência depende sobretudo do movimento da água nos sulcos, assim diminuindo a perda por evaporação reduzindo a formação de crosta em solos pesados (AMARAL, 2017).

**FIGURA 2:** Irrigação por sulcos



**Fonte:** Rede Agronomia, 2017.

**FIGURA 3:** Nesse sistema, a água infiltra no fundo e nas laterais do sulco (perímetro molhado) movimentando-se vertical e horizontalmente no perfil do solo, proporcionando a umidade necessária para o desenvolvimento vegetal



**Fonte:** Irrigação: gestão de sistemas por superfície/Coleção Senar, 2019.

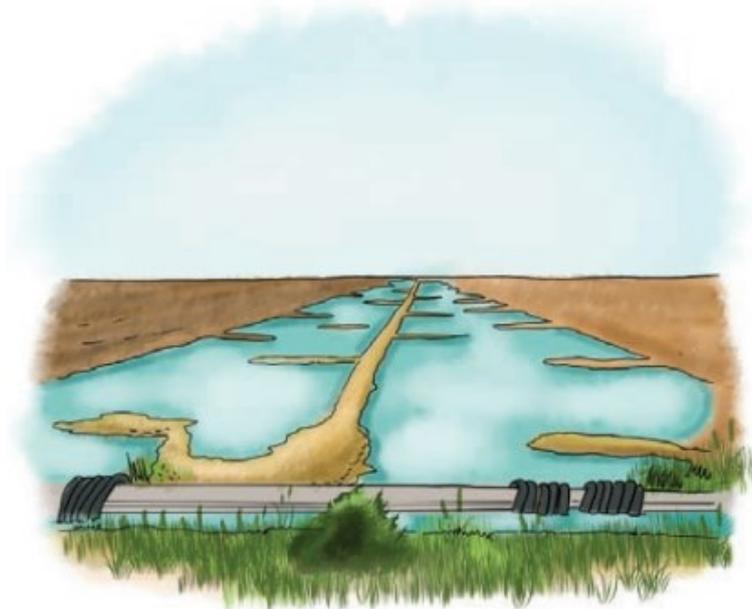
No sistema de sulcos, pode achar, em geral, alguns modos de distribuição de água que possibilita ao produtor o controle da vazão aplicada, tais como: canais com sifões, canais com saídas laterais, canais com desvio manual, tubos janelados, entre outros.

### 3.3.3. Irrigação por faixas

Consiste da inundação total por condução de água na superfície do solo, por um tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação. As faixas podem ser construídas em nível ou com gradiente longitudinal, delimitadas por diques paralelos. A declividade transversal deve ser nula (SENAR, 2019).

As faixas em nível não possuem drenagem livre e são semelhantes aos tabuleiros de inundação, quando há necessidade de manter uma lâmina de água sobre a superfície do solo (SENAR, 2019).

**FIGURA 4:** Irrigação por faixa



**Fonte:** Irrigação: gestão de sistemas por superfície/Coleção Senar, 2019.

Nesse sistema, a água é aplicada individualmente em cada faixa por estruturas hidráulicas ou sifões. Quando a água é retirada da faixa, o volume acumulado sobre a superfície do solo avança para a parte mais baixa do terreno, infiltrando-se e permitindo aplicação da lâmina de irrigação (SENAR, 2019).

Esse sistema funciona eficientemente em solos que possuem de baixa a média velocidade de infiltração, podendo ser utilizado em solos de textura média. A vazão por unidade de largura precisa ser alta, principalmente na primeira irrigação, quando o solo foi intensamente preparado (SENAR, 2019).

#### 3.3.4. Vantagens e Limitações

De acordo com Andrade e Brito (2006), para o método de irrigação por superfície, a distribuição da água se dá por gravidade por meio do deslocamento superficial do solo, e determinam algumas vantagens e limitações deste método. As principais vantagens do método de superfície são: requisita de equipamentos simples; baixo custo fixo e operacional; não tem influência do vento; baixo consumo de energia em comparação ao de aspersão; não afeta nos tratos culturais; permite a utilização de água com sólidos em suspensão.

Conforme os mesmos autores, tem como limitações: necessita de sistematização da área; precisa de uma fonte hídrica com alto potencial hídrico; depende das condições topográficas; o dimensionamento inclui testes de campo; é mais difícil o manejo das irrigações; precisa de frequentes avaliações e ajustes no campo para assegurar melhor performance; se não for bem idealizado e manejado, é capaz de manifestar uma menor eficiência de distribuição de água; acarreta baixa relevância comercial, em função de usar menos equipamentos.

A irrigação superficial é uma técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água na superfície às plantas para que estas possam produzir de forma adequada. Para a agricultura moderna é menos usual devido à alta demanda de água e dificuldade de manejo, e diferente do Brasil diversos países não tem todo esse recurso hídrico para irrigação, então as escolhas mais tradicionais são aspersão e localizada.

### 3.4. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

A aplicação de água nos sistemas de irrigação por aspersão é realizada através da divisão de um ou mais jatos de água em uma grande quantidade de pequenas gotas no ar, que caem sobre o solo na forma de uma chuva artificial. A passagem de água sob pressão por orifícios de pequena dimensão causa o fracionamento do jato. Com o auxílio, via de regra, de um sistema de bombeamento, a água percorre um

conjunto de tubulações gerando a pressão necessária para acionar os aspersores, o aspersor é o mecanismo responsável pela pulverização do jato de água. (BISCARO, 2009).

Irrigação por aspersão é o método na qual a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato de água em gotas, devido a sua passagem sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. Para tal efeito, a água é conduzida e aplicada às áreas por meio de equipamentos, como motobombas, tubulações e aspersores das mais diversas capacidades e características de fabricação. Quando a fonte de água estiver em um plano muito mais elevado do que a área a ser irrigada, não haverá necessidade da motobomba (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Quanto mais grossa for a textura do solo, maior será a vantagem do uso da irrigação por aspersão, pois solos arenosos e franco-arenosos possuem grande capacidade de infiltração de água, o que ocasiona percolação quando se usa a irrigação por superfície. Esses tipos de solos também possuem baixa capacidade de retenção de água, requerendo irrigações frequentes, com aplicação de menor quantidade da água por irrigação, facilmente é conseguido com a irrigação por aspersão e localizada do que por superfície (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Geralmente, os terrenos de várzeas, por causa de sua posição quanto à fonte de água, textura, estrutura e de a superfície ser mais plana e uniforme, são irrigados por métodos de irrigação por superfície, exceto os solos turfosos. A irrigação por aspersão é, na maioria das vezes, mais usada em terrenos de encosta, terraços e nos platôs mais elevados. Naqueles com declividade mais acentuada e superfície menos uniforme, a aspersão é mais empregada, por não exigir a sistematização (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Em grandes projetos de irrigação, em que a água é distribuída por rotação entre os proprietários, ou seja, maiores vazões por determinado tempo para cada proprietário, os métodos de irrigação por superfície adaptam-se melhor do que aqueles por aspersão, mas, quando se tem uma distribuição contínua, com menores vazões estes últimos adaptam-se muito bem (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

O vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais fatores climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição de água dos aspersores e, juntamente com temperatura e a umidade relativa do ar, influencia a perda de água por evaporação e arrastamento. Desse modo, em regiões sujeitas a ventos constantes e fortes, a baixa umidade relativa do ar e a temperaturas elevadas, recomenda-se irrigação por gotejamento ou por superfície (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A irrigação por aspersão adapta-se a quase todos os tipos de cultura, embora interfira um pouco nos tratos fitossanitários, ou seja, pulverização e polvilhamento, por lavar a sua parte aérea. Quanto à cultura, deve-se escolher o tipo e a altura do aspersor apropriado (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

No método de irrigação por aspersão não se recomenda usar água de irrigação salina, por causa da redução da vida útil dos equipamentos e dos possíveis danos nas folhas dos vegetais (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A irrigação por aspersão ou convencional é a mais utilizada no Brasil, devido as suas características gerais, porque irriga uma área superficial maior com menos água que a irrigação por superfície. Esse método se torna tradicional, pois atende a uma grande variedade de culturas, o manejo é simples e prático, e adequado para cultivos em grandes áreas.

Os sistemas mais usados de irrigação por aspersão são demonstrados e debatidos a seguir:

#### 3.4.1. Aspersão convencional

São divididos em fixos, semifixos ou portáteis. Nos sistemas fixos, tanto as linhas principais como também as laterais se encontram na mesma posição durante a aplicação da água em todo o terreno. Em determinados sistemas fixos, as tubulações são sempre soterradas. Em sistemas semifixos, as linhas principais são fixas, em geral, enterradas, e as linhas laterais são movimentadas, de lugar para lugar, ao longo das linhas principais. Nos sistemas portáteis, as linhas principais como as laterais são todas móveis (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 5:** Sistema de irrigação convencional

Fonte: AGROPÓS, 2021.

Os sistemas portáteis e semifixos demandam de mão-de-obra para mover as linhas laterais. São indicados para áreas menores, em geral, junto a disponibilidade de mão-de-obra da família. Contudo, pode usar minicanhões ao invés de aspersores, o que possibilita a irrigação de maiores áreas, em situação de pouco vento e quando a uniformidade da irrigação não é fundamental (ANDRADE; BRITO, 2006).

#### 3.4.2. Autopropelido

Um minicanhão ou canhão é acoplado em um carrinho, que se move longitudinalmente ao longo da área que deve ser irrigada. A junção do carrinho aos hidrantes da linha principal é realizada por uma mangueira flexível. A propulsão do carrinho é promovida pela pressão da própria água (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 6:** Sistema de irrigação autopropelido

Fonte: Revista Cultivar e Cursos CPT, 2021.

É o sistema a qual mais demanda energia e é muito influenciado pelo vento, sendo capaz de apresentar maior desuniformidade na distribuição da água. Gera gotas de água maiores que, em certos casos, consegue causar problemas de encrostamento da superfície do solo (ANDRADE; BRITO, 2006).

Há também o perigo de as gotas maiores proporcionarem a queda de flores e pólen de determinadas culturas. Serve para irrigar áreas retangulares de até 70 hectares, com culturas e condições que são capazes de tolerar menor uniformidade da irrigação (ANDRADE; BRITO, 2006).

### 3.4.3. Pivô central

Corresponde de uma lateral, que gira à volta do centro de um círculo (pivô). Segmentos da linha lateral metálica são sustentados por torres em forma de “A” e interligados entre si por juntas flexíveis. Um motor elétrico pequeno, posicionado em cada torre, propiciando o acionamento independente das mesmas (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 7:** Sistema de pivô central



**Fonte:** Safra Irrigação, 2019.

O fornecimento de água é realizado por intermédio do ponto pivô, necessitando que a água seja transportada até o centro por adutora soterrada ou que a fonte de água se encontra no centro da área. Pivôs são capazes de ser utilizados para irrigar áreas de mais de 100 ha. O indicado, entretanto, é que a terreno não exceda 50 a 70 ha, apesar que o gasto por unidade de área tenda a diminuir conforme o aumento da área. Já as limitações de topografia, determinados autores declaram que, para vãos

entre torres de até 30 metros, declividades de até 30% na direção radial são capazes de serem sustentados, em contrapartida, outros autores relatam que tal declividade máxima só é possível de ser tolerada na direção tangencial (ao longo dos círculos). Pivôs centrais com laterais extensas, quando não são dimensionados de forma correta em função da taxa de infiltração da água no solo, são capazes de aparecer sérios riscos de erosão no final da lateral por causa da elevada taxa de aplicação de água necessária nessa no local. Conseguem apresentar também problemas de “selamento” superficial (impermeabilidade), em dependência da textura do solo. São sistemas que possibilitam elevado grau de automação (ANDRADE; BRITO, 2006).

#### 3.4.4. Deslocamento Linear

A lateral tem mecanismo de movimento e estrutura semelhante à do pivô central, porém, se movimenta continuamente, em posição transversal e na direção longitudinal da área. Todas as torres se movem com a mesma velocidade. O fornecimento de água é suprido pelo canal ou linha principal, distribuídos no centro ou na extremidade da área. A água é succionada direta do canal ou das mangueiras é utilizada para interligar hidrantes da linha principal à linha lateral. A bomba se move vinculado com toda a lateral, na qual necessita de conexões elétricas mais complexas ou com o uso de motores de combustão interna. É indicado para áreas retangulares planas e sem obstáculos (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 8:** Sistema de irrigação por deslocamento linear.



**Fonte:** ResearchGate, 2017.

#### 3.4.5. LEPA

É um sistema tipo pivô central ou deslocamento linear, equipado com um meio de aplicação de água mais eficiente. No LEPA (“low energy precision application”, em

português significa, aplicação de precisão de baixa energia), as laterais são providas de vários tubos de descida, nos quais são ligados a bocais que funcionam com pressão baixíssima. A água é empregada diretamente na superfície do solo, diminuindo as perdas por evaporação e impede que molhem as plantas (dependendo da cultura). O solo tem que ter elevada taxa de infiltração ou ser manejado com microdepressões e sulcos (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 9:** Sistema de irrigação do tipo LEPA



**Fonte:** Senninger, 2022.

#### 3.4.6. Vantagens e Limitações

De acordo Andrade e Brito (2006), em sistemas por aspersão, jatos de água são disparados para o ar livre e que descem sobre as plantas na forma de chuva. Os principais benefícios deste método de irrigação por aspersão são: fácil adaptabilidade às diferentes topografia e condições de solo; tem um potencial elevado de eficiência de distribuição de água, quando equiparado com o método de superfície; é capaz de ser totalmente automatizado; podendo ser movido para outros locais; as tubulações também são capazes de serem desmontadas e removidas do local, facilitando a passagem das máquinas.

Conforme Andrade e Brito (2006), as principais restrições desse método, temos: os gastos para instalação e operações são mais altos que os do método por superfície; sofre interferência das condições climáticas, como velocidade dos ventos e temperatura; a aplicação de água salina na irrigação, ou submetida a precipitação de sedimentos, pode diminuir a vida útil do equipamento e prejudicar algumas culturas; favorece o surgimento de doenças em algumas espécies cultivadas e

influenciar com tratamentos fitossanitários; favorece a disseminação de doenças pelo vetor água.

### 3.5. IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A irrigação localizada compreende os sistemas de irrigação nos quais a água é aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades (1 a 160 litros por hora), porém com alta frequência (turno de rega de um a quatro dias), de modo que mantenha a umidade do solo na zona radicular próxima à “capacidade de campo”. Para isso, a aplicação da água é feita por meio de tubos perfurados com orifícios de diâmetros reduzidos ou por meio de gotejadores e microaspersores denominados emissores, dos mais diferentes tipos, modelos e características (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Segundo Biscaro (2014), os emissores são os mecanismos mais importantes desse método de irrigação. Sua função é proporcionar baixas vazões de água, o que permite diminuir o diâmetro das tubulações, reduzindo assim parte dos custos (cerca de 10% do custo total de um projeto). A pressão de serviço, porém, não pode ser baixa em demasia, para que não ocorram problemas de desuniformidade na distribuição de água nem perdas de cargas desnecessárias.

Gotejamento e microsaspersão são sistemas muito difundidos, sendo o primeiro mais antigo no Brasil (1972) e o segundo mais recente (1982). Diferem entre si quanto à aplicação de água: no gotejamento aplicam-se vazões menores, de 1 - 20 L/h, gota a gota, e na microsaspersão as vazões são aplicadas de forma pulverizada, de 20 a 150 L/h. Utilizam-se normalmente tubulações de PVC (linhas adutoras) e tubulações flexíveis de polietileno, nas quais são inseridos os emissores, que trabalham a pressões variando entre 5 a 25 mca, embora a pressão de serviço da maioria dos tipos de gotejadores esteja em torno de 10 mcae, na microsaspersão, em torno de 20 mca. São de maior custo por unidade de área irrigada, logo devem ser usados em culturas de alto retorno econômico, como café, tomate, morango, melão, pimenta-do-reino, abacate, citros, manga, noqueira-pecã, seringueira, uva, banana, cacau, mamão, assim como em atividades como viveiro de frutíferas, de essências florestais e de plantas ornamentais (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A irrigação localizada não pode ser encarada somente como nova técnica para suprir de água as culturas, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, sob condições controladas de umidade do solo, adubação, salinidade, doenças e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida, assim como na época da colheita e na qualidade do produto (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A aplicação de água ao solo, na irrigação por gotejamento, é sob a forma de “ponto fonte”, ficando a superfície do solo com uma área molhada com forma circular, e o seu volume molhado com forma de um bulbo (cebola). Quando os pontos de gotejamento são próximos uns dos outros, forma-se uma faixa molhada contínua (Figura 10) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

**FIGURA 10:** Vista parcial de um sistema de gotejamento, com irrigação em pontos distintos



**Fonte:** Manual de Irrigação, 2006.

**FIGURA 11:** Vista parcial de um sistema de gotejamento, com faixa molhada contínua



**Fonte:** Manual de Irrigação, 2006.

No caso da microaspersão, a área molhada apresenta-se em forma de discos ou faixas molhadas em baixo da copa das plantas (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

**FIGURA 12:** Vista parcial de um sistema de microaspersão, com disco molhado



**Fonte:** Microaspersores – Terra Molhada, 2006.

**FIGURA 13:** Vista parcial de um sistema de microaspersão, com faixa molhada contínua



**Fonte:** Manual de Irrigação, 2006.

Assim, somente uma porção da superfície do solo será molhada, o que diminui a evaporação direta da água do solo para a atmosfera, quando comparada com a irrigação por aspersão e por superfície (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, isto é, o sistema é constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área, não havendo movimentação das linhas laterais. Contudo, somente determinado número de linhas laterais funciona por vez, a fim de minimizar a capacidade do cabeçal de controle (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Em se tratando de sistemas fixos, o custo torna-se mais elevado, o que limita seu uso somente para culturas nobres, ou seja, culturas com alta capacidade de retorno. Também o número de emissores por unidade de área afeta o custo do sistema, assim dizendo, quanto maior for o espaçamento entre plantas, maior será o espaçamento entre emissores e menor será o custo do sistema. Nessas condições, a irrigação localizada somente é usada em frutíferas, cafeicultura e alguns hortigranjeiros de maior valor comercial (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A partir do ano 2000, o grande desenvolvimento do setor de irrigação localizada e a maior competitividade do agronegócio brasileiro tornaram esse tipo de irrigação viável em diversas culturas e sistemas de cultivos antes impensados. Destaca-se que os maiores fabricantes mundiais dedicam atenção especial ao mercado brasileiro, com políticas de implantação de fábricas no Brasil, disponibilizam assim equipamentos a custos mais competitivos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

O método de irrigação localizada se aplica água próximo ou diretamente nas raízes, em baixa pressão e vazão, com alta frequência. São sistemas fixos, pressurizados, permitindo total automação, e por isso, ainda que sejam energeticamente mais econômicos, seu custo de implantação é mais elevado, quando comparado a outros métodos de irrigação.

A irrigação localizada está se expandindo devido aos seus benefícios de economia de água e luz, muito usada por horticultores e fruticultores, como também no setor de paisagismo. A tecnologia para esse método, está cada vez mais integrada e eficiente, tornando-a a melhor escolha para irrigação, porém devido ao custo elevado e a dificuldade de implantação e manejo em uma grande área, se torna menos utilizada que a irrigação por aspersão.

### 3.5.1. Irrigação localizada por microaspersão

Em geral, a irrigação localizada por microaspersão requer filtragem menos rigorosa que aquela necessária ao gotejamento, visto que o emissor utilizado é o microaspersor, que apresenta maiores orifícios para a passagem da água. No entanto, é comum observar elevado desgaste nos bocais, em caso de falta de manutenção do sistema e baixa qualidade da água de irrigação. Esse sistema é bastante apropriado para a irrigação de pomares e de culturas com espaçamento mais largo (Coleção SENAR - 251, 2019).

**FIGURA 14:** Sistema de microaspersão



**Fonte:** ImGrover – Thiago Campos, 2016.

### 3.5.2. Irrigação localizada por gotejamento

Neste sistema, a água é aplicada a baixas vazões de forma pontual e na superfície do solo. Os emissores utilizados são os gotejadores, instalados junto às plantas, de forma que apliquem a lâmina necessária à cultura e proporcionem umedecimento mínimo do volume no solo na zona das raízes. Para isso, se necessário, cada planta pode receber mais de um gotejador. O gotejamento se expandiu em cultivos de hortaliças, principalmente em espécies que não toleram o molhamento das folhas, do tronco e dos frutos (Coleção SENAR - 251, 2019).

**FIGURA 15:** Sistema de gotejamento

**Fonte:** ImGrover – Thiago Campos, 2016.

### 3.5.3. Vantagens e Limitações

Segundo a empresa Agrosmart (2016), temos como vantagens: baixo custo de mão-de-obra e de energia; elevada eficiência de aplicação, como a água é aplicada diretamente na raiz, ocorrem poucas perdas por evaporação; facilidade e eficiência na aplicação de fertilizantes, com a fertirrigação; grande adaptação aos diferentes tipos de solo; mantém o solo uniformemente úmido e com oxigênio; o vento e a declividade do terreno não limitam a irrigação.

Segundo a empresa Agrosmart (2016), temos como limitações: alto custo inicial, devido à grande quantidade de tubulações; bastante sensível ao entupimento dos orifícios de saída de água; diminuição da profundidade das raízes, devido à constante disponibilidade de água, isso pode diminuir a estabilidade da planta; exigência de um sistema de filtragem rigoroso; necessidade de um manejo rigoroso em áreas com solo salino; pode limitar o crescimento do sistema radicular se mal manejado.

## 3.6. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA OU SUBIRRIGAÇÃO

### 3.6.1. Subirrigação

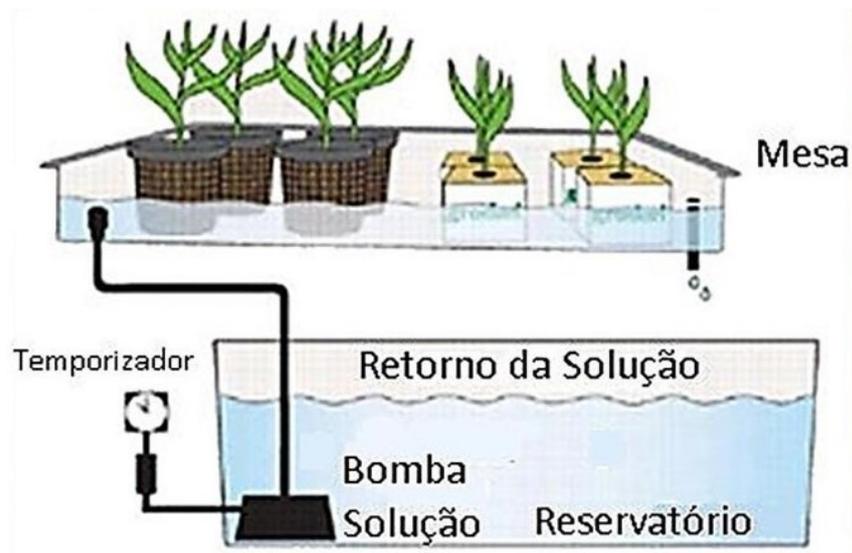
A subirrigação é definida da seguinte forma, o lençol freático é preservado a uma determinada profundidade, podendo propiciar um fluxo de água satisfatório ao

sistema radicular das plantas. Em geral, está vinculado a um sistema de drenagem subsuperficial. Existindo situações aceitáveis, é possível obter um método de baixo custo (ANDRADE; BRITO, 2006).

Na subirrigação, a umidade atinge as raízes das plantas por meio da ascensão capilar. Em várzeas, o lençol freático é mantido a uma profundidade tal que permite obter a melhor combinação entre água e ar na zona radicular. O manejo da água de irrigação e/ou a drenagem reveste-se de fundamental importância, uma vez que a planta é extremamente sensível aos excessos de água e, da mesma forma, à toxidez de alguns elementos químicos comuns nesses solos (SILVEIRA,2011).

A profundidade do lençol restringe a produtividade do feijoeiro, pois abaixo da linha de saturação não há aeração e sem aeração as raízes não se desenvolvem. A profundidade adequada do lençol freático para cada espécie de planta é um dado fundamental para o projeto de instalação de drenagem, uma vez que, com base nessa profundidade, são calculados a profundidade, o espaçamento, o diâmetro e outras características dos drenos. Do ponto de vista técnico, pode-se definir a profundidade ótima do lençol freático como aquela que não ocasiona diminuição na produção das culturas (SILVEIRA,2011).

**FIGURA 16:** Subirrigação em ambiente protegido



Fonte: DOCPLAYER, 2016.

### 3.6.2. Irrigação subsuperficial

No tempo presente, os tubos porosos ou as linhas laterais de gotejadores vão sendo soterrados, de maneira que possibilite a execução da irrigação subsuperficial. O benefício desse sistema é a retirada das linhas laterais da superfície do solo, de modo a permitir o tráfego e os tratos culturais, como também aumentar a vida útil. É muito pequena ou não existe a área molhada na superfície, diminuindo bem mais a evaporação da água do solo. Como desvantagens deste sistema temos, os problemas de detectar os prováveis entupimentos ou limitações nas vazões dos emissores. A instalação das laterais, ainda é possível ser mecanizada, o que possibilita usar o sistema em áreas maiores (ANDRADE; BRITO, 2006).

**FIGURA 17:** Sistema de irrigação localizada subsuperficial



**Fonte:** Agricultura no Brasil – BLOGGER, 2016.

### 3.6.3. Vantagens e Limitações

Sendo informações de Silveira (2011) junto com as pesquisas bibliográficas sobre esses métodos, são demonstrados as vantagens e limitações desses métodos:

As principais vantagens, são: capacidade de irrigar solos apresentando elevada taxa de infiltração; capacidade de irrigar solos que apresentam reduzida capacidade de retenção de água; inexpressiva exigência de mão-de-obra; não interferência com práticas culturais e fitossanitárias; redução da quantidade de água e energia requeridas.

Como limitações, destacam-se: exigência de condições naturais, nem sempre disponíveis, principalmente a presença do lençol freático a uma pequena profundidade do solo; topografia favorável; inadequação para algumas culturas; ocorrência de solos e água sem riscos de salinização; alto custo de instalação (subsuperficial); susceptibilidade de entupimento e dificuldade de detecção de entupimentos; exigência de um sistema de filtragem rigoroso.

Tanto a irrigação subsuperficial quanto a subirrigação, são métodos pouco tradicionais, devido à falta de informação e dificuldade de manejo, porém, são métodos que vem ganhando notoriedade em pesquisas científicas, e para o futuro podem trazer novas tecnologias e maneiras de irrigação para grandes áreas sem a necessidade de molhamento da planta, em outras palavras, água aplicada somente na raiz da cultura. Já existem projetos e pesquisas de integração de tecnologia para a subirrigação, por exemplo, a pesquisa realizada por Bacurau (2011), sobre a subirrigação automatizada, na qual é necessário a utilização de sensores com o objetivo de controlar o nível de água dentro dos tanques, para evitar o transbordamento

### 3.7. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO

O surgimento do Arduino se deu no início de 2005, na cidade de Ivrea, Itália, pelo professor Massimo Banzi. O professor teve o intuito de ensinar eletrônica e programação de computadores a seus alunos de design de iteração (projeto de qualquer experiência iterativa), para que usassem em seus projetos de arte, interatividade e robótica, de forma que se utilizasse um orçamento menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época. Ensinar eletrônica e programação para pessoas que não são da área não era uma tarefa tão simples, além da inexistência de placas com poder suficiente e baratas no mercado. (BANZI, 2012).

Tendo isso em mente, Massimo Banzi com a ajuda de seu aluno David Mellis, responsável por criar a linguagem de Programação do Arduino, decidiram criar uma placa própria, e por fim acabaram dando a oportunidade de várias pessoas usarem o Arduino e desenvolver projetos incríveis, surgindo assim essa febre mundial de eletrônica.

Segundo Mc. Roberts (2011), o Arduino foi projetado como uma forma simples e barata de envolver os indivíduos com a eletrônica de microcontroladores.

### 3.7.1. Estrutura do Sistema Arduino

O Arduino é uma plataforma de computação física, que tem como base uma simples placa microcontrolada de entrada/saída para poder conectá-los a outros circuitos ou sensores. São sistemas digitais ligados a sensores e atuadores, os quais permitem construir sistemas que percebam a realidade e respondem com ações físicas. (FONSECA; BEPPU, 2010).

Um microcontrolador é um computador em um chip, embarcado no interior de algum outro dispositivo, contém memória, periféricos de entrada e saída, e um processador, podendo controlar suas funções ou ações. (FONSECA; BEPPU, 2010).

Nesse sentido, MCROBERTS (2011, p. 22), complementa que:

“Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.”.

Tanto o hardware quanto o software Arduino são de fonte aberta, ou seja, todo seu código e componentes necessários são disponibilizados pela equipe do Arduino, facilitando o uso por qualquer pessoa e com qualquer propósito (BARBOSA, 2013).

Através de sensores ligados a seus terminais de entrada, a plataforma Arduino é capaz de receber e interpretar variáveis e transformá-las em sinais elétricos, controlando uma variedade de luzes, motores ou outras saídas físicas conectadas ao seu terminal de saída, como é ilustrado no fluxograma a seguir (BARBOSA, 2013):

**FLUXOGRAMA 1:** Funcionamento do sistema



**Fonte:** Apostila Arduino, 2012.

- A plataforma Arduino

A plataforma Arduino é dividida em duas partes, estas descritas por Rodrigues; Sartori; Gouveia (2012): a primeira parte é a placa Arduino, que é o hardware onde se trabalha para construir projetos, a parte física do Arduino. A outra parte é o IDE do Arduino, um software executado no computador, usado para programar o Arduino, no qual é escrito o código na linguagem que o Arduino interpreta (RODRIGUES; SARTORI; GOUVEIA, 2012).

Através de uma porta serial ou USB ligada a placa, é feito upload do programa escrito no IDE para a placa, então o Arduino executará as instruções interagindo com o que estiver conectado a ele (BARBOSA, 2013).

- Hardware Arduino

Existem inúmeros modelos de placas Arduino, com o passar dos anos as placas foram evoluindo, e se tornando cada vez mais acessíveis e sofisticadas.

Como é um projeto livre, que dispõe de códigos, projetos, esquemas e etc., a serem livremente utilizados por qualquer pessoa, surgiram muitas outras placas-clones com base no Arduino. MCROBERTS (2011).

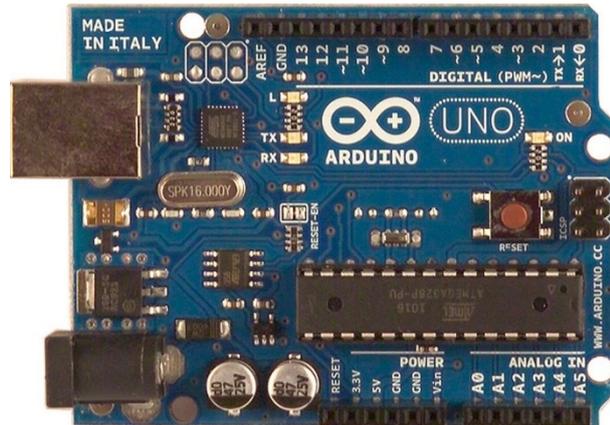
Nada impede que qualquer pessoa possa criar sua própria placa, para isso basta comprar os componentes apropriados e criar seu Arduino em uma matriz de pontos ou uma PCB, placa de circuito impresso. A única restrição imposta pela equipe do Arduino é que não é permitido usar o nome “Arduino” para nomear a placa-clone. O nome Arduino é reservado para a placa oficial. Dessa forma apareceram nomes de placas-clone como Freeduino, Roboduino, etc (MCROBERTS, 2011).

Em geral, a placa Arduino é composta por um microprocessador Atmel, um cristal ou oscilador, um regulador de tensão, botão de reset, um plugue de alimentação, pinos conectores, e alguns LEDs para facilitar a verificação do funcionamento, uma porta USB ou serial, permitindo conectá-lo a um PC para que possa ser feito upload ou a recuperação de dados. A porta USB fornece alimentação enquanto estiver conectado ao computador e a tensão de alimentação quando desconectado pode variar de 7 V a 12 V, graças ao regulador presente na placa (RODRIGUES; SARTORI; GOUVEIA, 2012).

O Arduino também pode ser estendido utilizando *Shields* (escudos), os quais são placas de circuito contendo outros dispositivos (por exemplo, receptores GPS,

displays de LCD, módulos de Ethernet etc.), são capazes de ser conectados ao Arduino para obter funcionalidades adicionais (BARBOSA, 2013).

**FIGURA 18:** Placa Arduino



Fonte: TechTudo, 2013.

- IDE do Arduino

O IDE é um Ambiente de Desenvolvimento Integral utilizado por programadores, um IDE apresenta um editor, compilador, vinculador e depurador em um só lugar, juntamente com ferramentas de gerenciamento de projetos para aumentar a produtividade do programador. (BOLTON, 2013).

O IDE do Arduino é composto por um editor de texto para a escrita de código, uma área de mensagens, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para variadas funções e uma série de menus. O ambiente de desenvolvimento do Arduino conectado ao hardware do Arduino permite realizar o upload de programas e a comunicação entre eles. (RODRIGUES; SARTORI; GOUVEIA,2012).

- Linguagem de programação Arduino

A sintaxe da linguagem Arduino é derivada do Wiring desenvolvido por Hernando Barragan, e é essencialmente C/C++, possui funções simples e específicas para trabalhar com as portas do Arduino, e necessita de duas funções elementares para seu funcionamento: `setup()` e `loop()` (ARDUINO, 2013).

Os programas para o Arduino são implementados tendo como referência a linguagem C++, conservando sua sintaxe clássica na declaração de variáveis, nos operadores, nos ponteiros, nos vetores, nas estruturas e em muitas outras características da linguagem. (FONSECA; BEPPU, 2010).

As referências de linguagem são divididas em três partes: os valores, que são as variáveis e constantes, as estruturas e as funções.

### 3.7.2. Arquitetura da Aplicação

Para o desenvolvimento de um protótipo de sistema de irrigação automatizado são necessários os seguintes itens:

- Um sensor de umidade (Moisture)
- Uma base Shield Grove
- Um Relé Grove
- Um display Grove – serial LCD
- Uma placa Arduino UNO
- Uma moto bomba Sarlo S-140

Sensor de umidade (Moisture): O sensor tem o tamanho de 2 x 6 cm, conforme figura abaixo, tensão de funcionamento entre 3.3 e 5 V e uma corrente de funcionamento entre 0 e 35 mA (BARBOSA, 2013).

**FIGURA 2:** Sensor Moisture



**Fonte:** BARBOSA, 2013.

Sistema Grove: é um conjunto de ferramentas moduladas e de fácil manuseio. Em comparação com o método tradicional, que pode complicar aprendizagem do uso de uma placa de ensaio e vários componentes eletrônicos para montar um projeto, o sistema Grove simplifica e condensa o processo de aprendizagem de forma significativa. O sistema consiste de um Shield Grove vários módulos com conectores normalizados. A blindagem de base permite uma fácil ligação de qualquer entrada ou saída do microprocessador dos módulos Grove, e cada módulo Grove resolve uma única função, sendo um botão simples ou um sensor mais complexo da frequência cardíaca por exemplo (BARBOSA, 2013).

Base Shield Grove: Ao conectar um Shield Grove a um Arduino, todas as portas de entrada e saída do Arduino (I / O) são expostas e adaptadas para o Shield, que também inclui conectores de I / O digital, analógico I / O, e as portas especializadas (GROVE, 2013).

**FIGURA 20:** Shield Grove

Fonte: BARBOSA, 2013.

Grove-Relay: O módulo de Grove-Relay é um interruptor digital normalmente aberto que controla um relé capaz de comutar tensões muito altas e correntes do que suas placas Arduino normais. Através dele, é possível controlar um circuito de alta tensão com baixa tensão, digamos 5V no controlador. Há um indicador LED na placa, que irá acender quando os terminais controlados ficarem fechado. (SEEED, 2013).

**FIGURA 21:** Relé GROVE

Fonte: Speed, 2013.

Display Grove – serial LCD: Grove - Serial LCD V 1.1 é a mais recente versão da série LCDs seeed. Vinculado em uma única placa é um LCD 16x2 em um circuito integrado baseado em torno de um PIC HD44780. O PIC tem uma entrada serial TTL e imprime os caracteres que recebe para o LCD. Sua biblioteca serial LCD permite uma série de comandos especiais para que possa limpar a tela, ajustar o brilho da luz de fundo, desligar e ligar o monitor, entre outras mais funções. (Seeed, 2013).

**FIGURA 22:** Grove - Serial LCD

**Fonte:** UNMANNED TECH, 2013.

Enquanto Drivers LCD convencionais utilizam entre 7 a 11 pinos como entrada e saída, o Display Grove realiza as mesmas funções utilizando apenas 4 pinos, tendo como entrada e saída os pinos Tx e Rx, e os pinos VCC (fonte de energia) e GND (terra) sendo esses necessários para a operação. (TROSSEN ROBOTICS, 2013).

Arduino Uno Rev3: é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328 (datasheet). Possui 14 entradas / saídas digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um cabeçalho ICSP, e um botão de reset (BARBOSA, 2013).

Contém tudo que é necessário para suportar o microcontrolador, basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC para DC ou bateria para começar (BARBOSA, 2013).

Em vez disso, apresenta o Atmega8U2 programado como um conversor USB-toserial. "Uno" significa um em italiano e é nomeado para marcar o lançamento do Arduino 1.0 (BARBOSA, 2013).

O Uno é a versão 1.0 serão as versões de referência de Arduino, movendo-se para frente. O Uno é o mais recente em uma série de placas Arduino USB, é o modelo de referência para a plataforma Arduino (BARBOSA, 2013).

Moto bomba Sarlo: A moto bomba Sarlo foi projetada pela Sarlobetter, para funcionar como bomba de circulação ou acoplada a um filtro biológico de fundo, em aquários de água doce ou salgada, também tem aplicação em pequenas fontes e chafarizes. Silenciosa e eficaz, esta moto bomba produz intensa movimentação de água, com baixo consumo de energia elétrica (BARBOSA, 2013).

**FIGURA 23:** Moto Bomba Sarlo s-140

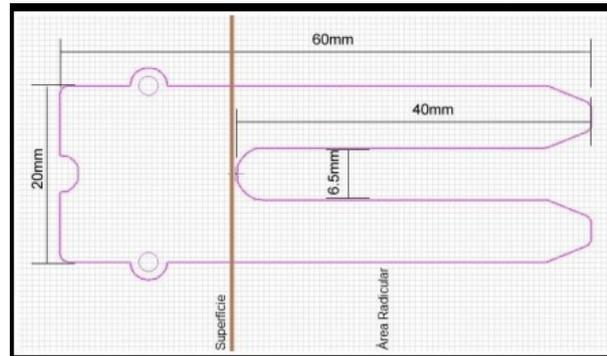
Fonte: SARLO, 2013.

Seu desenho moderno a tornou bastante versátil e compacta. Os componentes elétricos das bombas são totalmente imersos em resina epóxi o que as tornam seguras contra choque elétrico mesmo trabalhando continuamente submersas. (SARLO, 2013).

### 3.7.3. Método de Irrigação

A decisão sobre o momento exato de irrigar é realizado com base nos dados captados pelo sensor de umidade do solo entre 40-50% da profundidade radicular efetiva. A exemplo, a profundidade das raízes de um tomateiro, plantado em solo arenoso, segundo estudos realizados por Bragantia (1970), em média 63% das raízes de um tomateiro se localizam entre 10 a 20 centímetros de profundidade do solo. O tomate requer temperaturas da parte aérea entre 20° e 26°C e precisa de alternância de temperaturas diurna e noturna para obter boa coloração. A umidade relativa do solo deve estar entre 50 e 70% para a maioria das variedades. (EMBRAPA, 2013).

O sensor Moisture (umidade) é colocado no solo a uma profundidade de 40mm equivalente a 8cm.

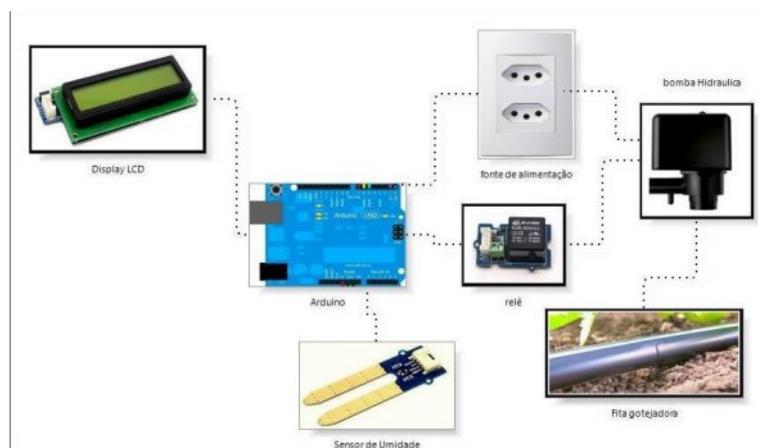
**FIGURA 24:** Sensor de umidade Moisture conectado ao solo

Fonte: BARBOSA, 2013.

O sensor utiliza as duas sondas para passar corrente através do solo, e em seguida, lê-se a resistência para obter o nível de umidade. Quanto maior for a quantidade de água no solo mais facilmente será conduzida a eletricidade gerando assim menos resistência, enquanto que o solo seco tem necessidade de conduzir eletricidade o que ocasiona maior resistência. (DFROBOT, 2013).

Com o sensor ao solo e conectado ao Arduino o mesmo retorna valores que variam de 0 – 700. Através de uma regra básica é possível transformar esses valores em porcentagem para que o monitoramento seja facilitado (BARBOSA, 2013).

#### 3.7.4. Protótipos

**FIGURA 25:** Esboço do Projeto.

Fonte: BARBOSA,2013.

Passo 1: o sensor é conectado à porta analógica A0, captura a umidade do solo e envia para a placa Arduino com um intervalo de tempo de 1 segundo (BARBOSA, 2013).

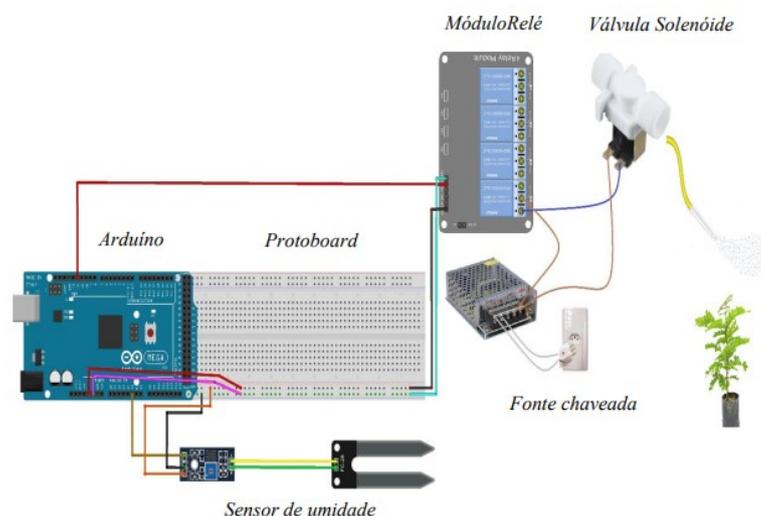
Passo 2: ao receber os dados do sensor o microcontrolador do Arduino realiza as funções estabelecidas na programação. Envia em tempo real para o display a porcentagem de umidade do solo, de acordo com as regras pré-estabelecidas na programação, se o valor da variável de entrada for menor 50 % de umidade, é disparado um sinal para o relé que aciona a bomba hidráulica molhando o solo (BARBOSA, 2013).

Passo 3: Ao dar início ao processo de irrigação a bomba não será desligada até que o solo obtenha 70 % de umidade. O display então mostrará o estado do processo, “irrigando” (BARBOSA, 2013).

Passo 4: após o solo atingir 70% de umidade a bomba será desligada e o processo de irrigação voltara ao Passo 1 (BARBOSA, 2013).

Outro exemplo de protótipo utilizando o Arduino, temos:

**FIGURA 26:** Protótipo



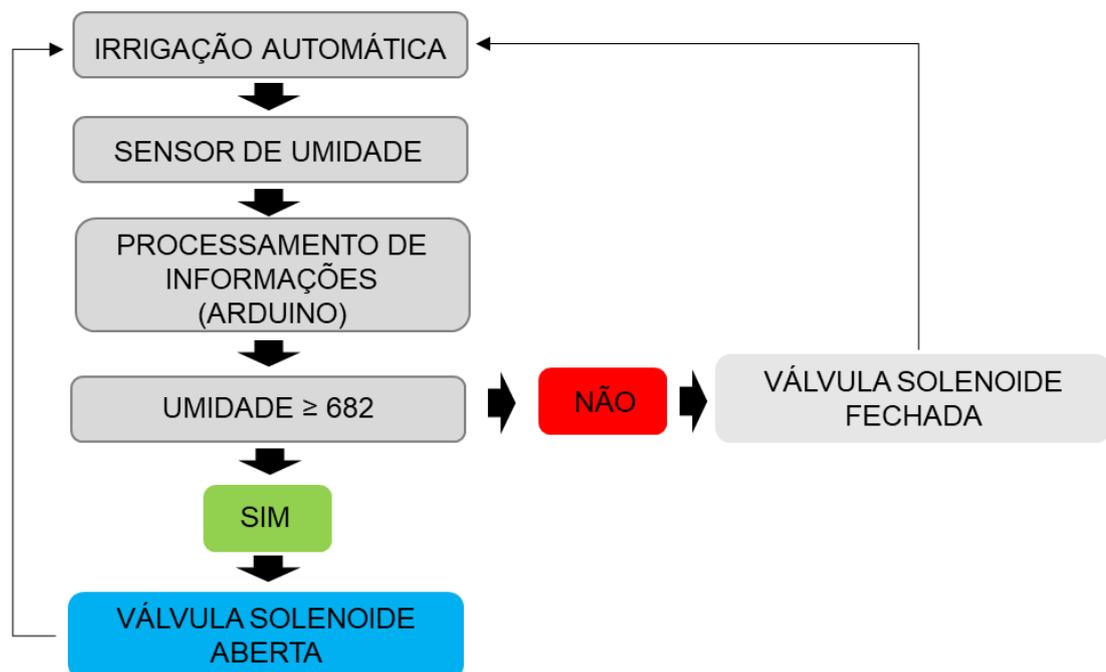
**Fonte:** GUIMARÃES; CONCEIÇÃO, 2019.

Outro exemplo de protótipo funciona usando a válvula solenoide, ao invés da moto bomba. A válvula solenoide recebe os comandos do módulo relé para que seu sistema de acionamento (normalmente fechado ou normalmente aberto) possa ser estabelecido de acordo com as condições do solo, ou seja, quando o sensor identifica

a condição do solo como solo úmido, o módulo relé recebe essas informações e envia comandos para permanecer com a válvula normalmente fechada, em contrapartida, quando o sensor identifica a condição do solo como seco, o módulo relé envia comandos para acionar a abertura da válvula e iniciar o processo de irrigação por gotejamento (GUIMARÃES; CONCEIÇÃO, 2019).

O fluxograma da abaixo, esquematiza o funcionamento do protótipo em que o sistema de irrigação por gotejamento automatizado baseia-se, principalmente, na utilização de um sensor de umidade que capta todas as informações a respeito do solo, e na utilização do Arduino capaz de processar todas as informações adquiridas. Determinando que, quando a resistência do solo apresentar valor maior ou igual a 682 a válvula solenoide é acionada para abrir e permitir a passagem da água, por outro lado, quando o sensor indicar resistência menor que 682, a válvula é acionada para fechamento impedindo a irrigação (GUIMARÃES; CONCEIÇÃO, 2019).

**FLUXOGRAMA 2:** Fluxograma do esquema de funcionamento do protótipo



**Fonte:** GUIMARÃES; CONCEIÇÃO, 2019.

O sensor de umidade coleta diversos dados a respeito da condição do solo em relação à umidade e disponibiliza estes através de entradas analógicas para o Arduino, dessa forma o sensor fornece dados necessários para determinar o valor analógico que ativa o relé para que possa efetuar a ligação da válvula solenoide de acordo com a condição do solo. Desta maneira o sensor realiza a leitura da condição

do solo acerca da umidade e determina as faixas de umidade em que o solo se encontra, ou seja, quando o sensor identificar uma faixa de condutividade baixa ( $\geq 682$ ), há a necessidade de irrigar, por outro lado, quando o solo apresentar condutividade alta ( $< 682$ ) não há necessidade de acionamento do sistema de irrigação (GUIMARÃES; CONCEIÇÃO, 2019).

Ambos os protótipos são muito utilizados no método de irrigação localizada automática.

#### **4.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A aplicação da tecnologia integrada aos métodos clássicos de irrigação proporciona diversos benefícios, tais como, redução de mão de obra, irrigações noturnas sem necessidade de acompanhamento, diminuição da potência de acionamento, tempos e turnos de irrigação mais precisos, eficiência na aplicação de água, entre outros que dá origem ao que chamamos de irrigação automatizada. Nos dias de hoje, por exemplo, não precisamos esperar a época seca para manter cuidados constantes na agricultura. A automação garante uma plantação irrigada e saudável até nos locais mais áridos. Em jardins das residências, mesmo com métodos e equipamentos mais simples, a irrigação automatizada a cada dia que passa está mais presente, por meio de sensores de chuva, que, em comunicação com uma central, realizando ajustes no período de irrigação e também por dispositivos sensíveis à umidade do solo. A exemplo de tecnologia, temos a automação para no método de irrigação por aspersão, em que ocorre a ativação e desativação de zonas de irrigação especificadas, de acordo com tempos de funcionamento programados. Controladores programados de forma adequada garantem que uma área receba a quantidade adequada de água consoante tempos de rega ideais.

Nos dias de hoje, é difícil de pensar em uma área, em que não necessita de um auxílio tecnológico, seja em âmbito profissional ou pessoal. Quem não investe em tecnologia, tem dificuldade de evoluir, é pouco competitivo e fica estacionado no tempo, o que para as instituições comerciais, produtivas ou de prestação de serviços, pode acarretar em prejuízos ou perda na competitividade com outras empresas.

Na agricultura não é diferente, para evoluir e conseguir bons resultados, os agricultores investem e implantam novas tecnologias a fim de melhorar suas lavouras, a qualidade e a produtividade, para conseguir o maior rendimento de suas culturas.

Percebe-se na atualidade a inserção da tecnologia em diferentes segmentos agrícolas, e atualmente com a preocupação com o gasto hídrico mundial, a tecnologia de automação traz vários benefícios, como a economia hídrica e energética por parte do produtor, redução das falhas de manejo, e tudo de forma sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <[https://cebds.org/aquasfera/atlas-irrigacao-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd9ae2jpcT2ErxUlsy6yGhW6NQaSBZ71bluSrulMqDd1uhRbLmrUd2BoCRRYQAvD\\_BwE](https://cebds.org/aquasfera/atlas-irrigacao-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd9ae2jpcT2ErxUlsy6yGhW6NQaSBZ71bluSrulMqDd1uhRbLmrUd2BoCRRYQAvD_BwE)>. Acesso em: 04 jan. 2022.

AITA, Ricardo Hahn. **SISTEMA DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA E AUTOMATIZADA**. Porto Alegre: Ontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Faculdade de Engenharia – Feng, 2017. Disponível em: <<https://www.politecnica.pucrs.br/conclusao/files/20172-ricardo-hahn-aita-VOLUME-2644.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <[https://cebds.org/aquasfera/atlas-irrigacao-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd9ae2jpcT2ErxUlsy6yGhW6NQaSBZ71bluSrulMqDd1uhRbLmrUd2BoCRRYQAvD\\_BwE](https://cebds.org/aquasfera/atlas-irrigacao-agencia-nacional-de-aguas-ana/?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd9ae2jpcT2ErxUlsy6yGhW6NQaSBZ71bluSrulMqDd1uhRbLmrUd2BoCRRYQAvD_BwE)>. Acesso em: 18 de jul. 2022

ANDRADE, Camilo de Lelis Teixeira de; BRITO, Ricardo Augusto Lopes. **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Sete Lagoas - Mg: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19630/1/Circ\\_86.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19630/1/Circ_86.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2022.

AMARAL, Otávio Araújo do. **APLICABILIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO NO CULTIVO DA COUVE - FLOR**. Caratinga - Mg: Faculdades Doctum de Caratinga Curso Superior de Engenharia Elétrica, 2017. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/398/1/modelo-tcc-doctum.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BARBOSA, José Wilian. **SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO**. Assis: Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, 2013.

BANZI, Massimo. **Primeiros passos com o Arduino**. 1. Ed. São Paulo: **Novatec**, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Editora UFV, Viçosa-MG, 2006. 625 p.

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa - Mg: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

BISCARO, Guilherme Augusto. **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados - Ms: Universidade Federal da Grande Dourados, 2009. Disponível em:

<<https://www.bibliotecaagppta.org.br/agricultura/irrigacao/livros/SISTEMAS%20DE%20IRRIGACAO%20POR%20ASPERSAO.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

BISCARO, Guilherme Augusto. **SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**. Dourados - Ms: Universidade Federal da Grande Dourados, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2433/1/sistemas-de-irrigacao-localizada.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BJORNEBERG, D. L. IRRIGATION | Methods. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489051952>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BOLTON, David. Definition of IDE. **ThoughtCo**. Disponível em: <<http://cplus.about.com/od/glossar1/g/idedefinition.htm>>. Acesso em: 27 mai. 2022.

BRAGANTIA. Boletim Científico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. **Desenvolvimento do sistema radicular de tomateiro**. Campinas, 1970. 9 p.  
CARVALHO, G. B.; FRIZZONE, J. A.; PALARETTI, L. F. **SISTEMAS E COMPONENTES DE IRRIGAÇÃO**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Engenharia da Irrigação – INCTEI, 2017. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/inctei/arquivos/Componentes de sistemas de irrigacao.pdf](http://www.esalq.usp.br/inctei/arquivos/Componentes%20de%20sistemas%20de%20irrigacao.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2022.

CARVALHO, Everton Silva; ARAUJO, Luis Antônio O. **Irrigação inteligente**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA INSTITUTO SUSTENTAR, 17. 2010, Valinhos - SP. Anuário de Iniciação Científica Discente. Valinhos– SP: Anhanguera Educacional Ltda., 2010. p. 323 - 336.

CARVALHO, Professor Daniel Fonseca de. **ENGENHARIA DE ÁGUA E SOLO**. 2010. 66 f. Dissertação - Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica-RJ, 2010.

FERRAREZI, R. S.; TESTEZLAF, R. Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 1, p. 147–161, 2016. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2014.983127>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

FONSECA, Erika Guimarães Pereira da; BEPPU, Mathyan Motta. **Apostila Arduino**. Niterói-RJ: Universidade Federal Fluminense Centro Tecnológico, 2010. 23 p.

FRIZZONE, José Antônio. **OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO**. Piracicaba – Sp: Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma, 2017. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/frizzone/leb1571/textocomplementar1-metodosdeirrigacao.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2022

FUENTES, Prof. Rodrigo C. **Apostila de Automação Industrial**. 2005. 31 f. - Curso de Eletrotécnica, Universidade Federal De Santa Maria Colégio Técnico Industrial De Santa Maria, Santa Maria - RS, 2005.

GIACOIA NETO, José. **SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA JARDINS E GRAMADOS**. Belo Horizonte – Mg: Eng. Agrícola. M.Sc. em Irrigação e Drenagem, 2015. Disponível em: <<https://www.rainbird.com.br/upload/ferramentas-de-trabalho/Artigos/Irrigacao-para-Paisagismo.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

GUIMARÃES, Rayanne dos Santos; CONCEIÇÃO, Rosilane Carvalho da. **PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO AUTOMATIZADO UTILIZANDO PLATAFORMA ARDUINO COM O USO DA INTERNET DAS COISAS**. Tomé-Açu: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019. Disponível em: <<http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1401/1/RAYANNE%20DOS%20SANTOS%20GUIMAR%C3%83ES.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

GUIMARÃES, Vinícius Galvão; **Automação e monitoramento de sistema de irrigação na agricultura**, Trabalho de Graduação, Engenharia Mecatrônica, Universidade de Brasília, 2011.

LITJENS, Otto Jacob; **Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o protocolo de Zigbee**, Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2009.

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

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MELO JÚNIOR, Júlio César Ferreira de *et al.* **SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA O MANEJO DA SUBIRRIGAÇÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO**. Botucatu: Unesp, 2013. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/557/375>>. Acesso em: 18 jul. 2022.

MERA, Eng. Agrônomo Lucas de Paula. **IRRIGAÇÃO**. 2012. 58 p.

MOROUELLI, W. A., SILVA, W. L. de C.; SILVA, H.R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e métodos práticos de manejo**. Embrapa Informação Tecnológicas, Brasília, DF, 2008. 111P.

PRÁ, Bruno Rover Dal. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA CONTROLE DE UMIDADE DE SOLO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**. 2009. 66 f. Programa De Pós-graduação Em Desenvolvimento De Tecnologia, Lactec – Instituto De Tecnologia Para O Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

RAIN BIRD (Brasil). **As Origens da Rain Bird**. Rio de Janeiro: Rain Bird, 2018. Disponível em: <<https://rbirrigacao.com.br/rain-bird-historia/>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

SANTOS, Diego. **Principais tipos de irrigação: Vantagens e Desvantagens**. Pernambuco: Agrosmart, 2016. Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/vantagens-tipos-de-irrigacao/>>. Acesso em: 21 jul. 2022.

SENAR. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. Brasília: Coleção Senar - 251, 2019. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/251-IRRIGA%C3%87%C3%83O>>.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

SENAR. **Irrigação: gestão da irrigação por aspersão**. Brasília - DF: Coleção Senar - 252, 2019. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/252-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

SENAR. **Irrigação: gestão de sistemas por superfície**. Brasília - DF: Coleção Senar - 252, 2019. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/253-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SCALOPPI, E. J. **Sistemas de irrigação por superfície**. In: MIRANDA, J. H. & PIRES, R. C. M. (Eds.) Série engenharia agrícola: irrigação. Jaboticabal, FUNEP, 2003. p. 311-404.

SILVEIRA, Pedro Marques da. **Subirrigação**. Brasília - DF: EMBRAPA, 2011. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01\\_12\\_131120021510\\_1.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01_12_131120021510_1.html)>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SOUSA, Valdemício Ferreira. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Fevereiro, 2017.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. 1. ed. FEAGRI - FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA, 2017. 215 p. Inclui índice. ISBN 978-85-99678-10-7.

VICTORINO, Célia Jurema Aito. **Planeta água morrendo de sede**. Porto Alegre :EDIPUCRS, 2007

WENDLING, Prof. Marcelo. Sensores.2010. 19 f. **Apostila (Superior)** - Unesp, Guaratinguetá, 2010.

ZOCOLOTTI, Maria Laura. **A irrigação no Brasil situação e diretrizes**. Ministério da Integração Nacional. Brasília: IICA, 2008.