

DIOGO GIOMO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO - 2019

DIOGO GIOMO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

Coorientador: Dr. Márcio Antônio Vilas Boas.

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Giomo, Diogo

Desenvolvimento de um Sistema de Irrigação Automatizado de Baixo Custo / Diogo Giomo; orientador(a), Carlos Eduardo Camargo Nogueira; coorientador(a), Márcio Antônio Vilas Boas, 2019.

107 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

1. Irrigação automática. 2. Sistema de baixo custo. 3. Eficiência no uso da água. I. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo. II. Vilas Boas, Márcio Antônio. III. Título.

DIOGO GIOMO

Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo

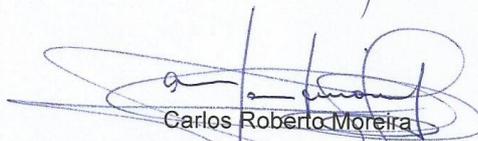
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Carlos Roberto Moreira
Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 12 de dezembro de 2019

Ao meu pai, Mauro Aparecido Giomo, à minha
noiva Renata Pereira de Souza e ao meu filho
Lucas Giomo.

Dedico!

Agradecimentos

Ao meu pai Mauro Aparecido Giomo, que sempre esteve presente na minha vida, me apoiando e incentivando nos estudos. Sem ele a realização desse sonho não seria possível;

À minha noiva Renata Pereira de Souza, que está grávida esperando nosso filho Lucas Giomo, pela compreensão, respeito e amor nos momentos mais difíceis nessa jornada;

A Deus, tanto por me dar vida e saúde quanto por me possibilitar a realização de um sonho: tornar-me mestre;

Ao professor Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pela orientação e colaboração;

Ao professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, pela orientação e colaboração;

À secretária do PPGEA, Vanderléia Luzia Stockmann Schmidt, pela atenção e cuidados com o programa de mestrado;

Ao demais professores do programa de mestrado;

Aos meus colegas de mestrado, especialmente ao Matheus Schmidt, pela contribuição, companheirismo e paciência durante os momentos mais desafiadores do desenvolvimento deste trabalho;

À Unioeste, por oferecer o programa de Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura;

Obrigado!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo da área experimental no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011	24
Tabela 2 - Relação entre kPa, umidade do solo (%) e valor analógico	44
Tabela 3 - Dados coletados	45
Tabela 4 - Custo do projeto	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irrigação por superfície do tipo inundação por sulcos	12
Figura 2 - Sistema de irrigação convencional	14
Figura 3 - Sistema de irrigação autopropelido	14
Figura 4 - Sistema de irrigação pivô-central.....	15
Figura 5 - Irrigação por gotejamento	16
Figura 6 - Irrigação de subsuperfície (subterrânea)	17
Figura 7 - Principais componentes de um microcontrolador	21
Figura 8 - Curva característica de retenção de água no solo	25
Figura 9 - Projeto completo	26
Figura 10 - Protótipo em funcionamento	27
Figura 11 - Caixa visão superior	28
Figura 12 - Válvula solenoide.....	28
Figura 13 - Raspberry PI 3 Model B.....	29
Figura 14 - Sensor de umidade - CS12.....	30
Figura 15 - MCP3008	31
Figura 16 - MCP3008	31
Figura 17 - Gotejador autocompensante - Irritec	32
Figura 18 - Válvula solenoide.....	33
Figura 19 - Relé 1 canal 5V.....	34
Figura 20 - Caixa plástica.....	35
Figura 21 - Mangueira 3/8".....	36
Figura 22 - Xiaomi Redmi 4 Prime 3GB 32GB.....	37
Figura 23 - Estrutura do solo com sensores e gotejadores.....	39
Figura 24 - Raspberry com sensor de umidade	40
Figura 25 - Calibração sensor 1	41
Figura 26 - Calibração sensor 2	42
Figura 27 - Calibração sensor 3	42
Figura 28 - Curva irrigação sensor 1	46
Figura 29 - Curva irrigação sensor 2.....	46
Figura 30 - Curva irrigação sensor 3.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

CPU Unidade Central de Processamento

E/S Entrada e saída

FAO Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

TDR Time Domain Reflectometry

GIOMO, Diogo, Me. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Dezembro de 2019. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO DE BAIXO CUSTO.** Professor Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Professor Coorientador: Dr. Márcio Antônio Vilas Boas.

RESUMO

Atualmente a irrigação é fundamental para o desenvolvimento de várias culturas agrícolas. Em muitas regiões do mundo, onde antigamente não era possível produzir alimentos devido à falta de chuvas, hoje a irrigação alterou esse cenário, proporcionando o cultivo durante o ano todo. No entanto, muitos agricultores não possuem conhecimentos técnicos para o manejo dessa prática. Logo, irrigam de forma empírica e assim prejudicam o solo, as plantações e desperdiçam água e energia elétrica. Diante da escassez de água, torna-se essencial que seu uso seja feito de forma consciente e aprimorada. Nessa linha, muitos sistemas automatizados de irrigação auxiliam os agricultores a otimizar o uso da água nas práticas agrícolas. Porém, esses sistemas possuem custos elevados, não sendo viáveis para os pequenos agricultores. Sendo assim, esse trabalho visa desenvolver um sistema de irrigação automático de baixo custo, possibilitando a irrigação sem intervenção humana, assim como a coleta de dados através de um aplicativo móvel. Em vista disso, foi realizada a calibração dos sensores e após, foi desenvolvido um protótipo com três sensores de umidade do solo (em diferentes posições), válvula solenoide, microcontrolador *Raspberry* e computação em nuvem. Dessa forma, a automação, além de gerir a irrigação, também coletou dados e armazenou em um serviço online, assim, disponibilizando essas informações para visualização através de um aplicativo móvel via internet. Por consequência, o sistema atingiu o objetivo de controlar a irrigação, mantendo a umidade do solo adequada para a cultura escolhida, com um custo final de R\$ 290,81. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação automática; sistema de baixo custo; eficiência no uso da água.

GIOMO, Diogo, Me. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, December 2019.
DEVELOPMENT OF A LOW COST AUTOMATED IRRIGATION SYSTEM. Teacher:
Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira. Teacher: Dr. Márcio Antônio Vilas Boas.

ABSTRACT

Nowadays, irrigation is essential for the development of various agricultural crops. In many regions of the world, where in the past it was not possible to produce food due to the lack of rain, today irrigation has changed this scenario, providing cultivation throughout the year. However, many farmers lack the technical knowledge to manage this practice. Therefore, they irrigate empirically and thus damage the soil, crops and waste water and electricity. In view of the scarcity of water, it is essential that its use be made in a conscious and improved way. Along these lines, many automated irrigation systems help farmers to optimize the use of water in agricultural practices. However, these systems have high costs and are not viable for small farmers. Therefore, this work aims to develop a low-cost automatic irrigation system, allowing irrigation without human intervention, as well as data collection through a mobile application. In view of this, the sensors were calibrated and afterwards, a prototype was developed with three soil moisture sensors (in different positions), solenoid valve, Raspberry microcontroller and cloud computing. Thus, automation, in addition to managing irrigation, also collected data and stored it in an online service, thus making this information available for viewing through a mobile application via the internet. Consequently, the system achieved the objective of controlling irrigation, maintaining the soil moisture suitable for the chosen crop, with a final cost of R\$ 290.81. This work was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

KEYWORDS: automatic irrigation; low cost system; efficiency in the use of water.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	IV
LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Geral	2
1.1.2 Específicos.....	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 A AGRICULTURA E SEUS DESAFIOS	3
2.2 ENERGIA NA AGRICULTURA	5
2.3 NECESSIDADE HÍDRICA DAS CULTURAS	6
2.3.1 Evapotranspiração	7
2.4 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO	8
2.4.1 Teor de umidade do solo	9
2.5 IRRIGAÇÃO	11
2.5.1 Irrigação por superfície	12
2.5.2 Irrigação por aspersão	13
2.5.3 Irrigação localizada	15
2.5.4 Irrigação por subsuperfície	16
2.5.5 Sistemas de irrigação automatizados	17
2.6 SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO	19
2.6.1 Microcontroladores	20
2.6.2 Sensores e atuadores.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	24
3.2 MATERIAIS	26
3.2.1 Raspberry PI	29
3.2.2 Sensor de umidade do solo	30
3.2.3 Conversor analógico-digital MCP3008	31
3.2.4 Gotejador	32
3.2.5 Válvula solenóide.....	33
3.2.6 Relé.....	34
3.2.7 Caixa plástica	35
3.2.8 Mangueira para irrigação	36
3.2.9 Smartphone	37
3.3 MÉTODOS	37
3.3.1 Experimento.....	37
3.3.2 Montagem da caixa com o solo	38
3.3.3 Sensores de umidade do solo	38

3.3.4	Estrutura do software.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1.1	Calibração dos sensores de umidade do solo.....	41
4.1.2	Sistema de irrigação automático.....	43
4.1.3	Dados de umidade do solo coletados.....	44
4.1.4	Custo do produto desenvolvido.....	48
5	CONCLUSÕES.....	49
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
	ANEXO A - CÓDIGO FONTE - RASPBERRY PI.....	62
	ANEXO B - CÓDIGO FONTE - SERVIDOR.....	66
	ANEXO C - IMAGENS DO APLICATIVO.....	68
	ANEXO D - CÓDIGO FONTE - APLICATIVO.....	71
	ANEXO E - DADOS COLETADOS (30/09/2019) – VÁLVULA SOLENÓIDE/ SENSOR 1/ SENSOR 2 E SENSOR 3.....	84

1 INTRODUÇÃO

O grande desafio da agricultura moderna é conseguir produzir mais alimentos com menos recursos. A tecnologia é uma aliada para otimizar essas produções e minimizar os impactos ambientais, sem diminuir a qualidade dos produtos. Isso pode ser observado nas práticas de irrigação, que possibilitam o controle das culturas de forma eficiente, sem desperdício de energia elétrica e de água.

Por outro lado, muitos agricultores não possuem acesso a essas tecnologias, devido à falta de conhecimento técnico e o alto custo de instalação. Sendo assim, eles utilizam métodos empíricos para a aplicação de água em suas lavouras, aumentando o uso desse recurso, além do consumo desnecessário de energia elétrica. Fica evidente que a falta de controle no processo de irrigação causa prejuízos para o produtor rural. O mesmo já enfrenta a competitividade no mercado agrícola, tendo o risco de diminuir a qualidade dos produtos e aumentar seus custos de produção.

Dessa maneira, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), aponta que 70% de toda a água doce disponível no mundo é utilizada para a agricultura, sendo a irrigação a maior consumidora. (FAO, 2009). Segundo Azevedo (2002), é comum a utilização de bombas elétricas para levar a água dos reservatórios até as áreas irrigadas. Com o aumento dos custos da energia elétrica, torna-se cada vez mais importante a utilização de técnicas para o controle adequado das culturas, possibilitando uma diminuição nos custos dos sistemas de irrigação. O autor ainda defende que o manejo correto das plantações melhora a produtividade e minimiza a necessidade de bombeamento de água, reduzindo os custos de energia elétrica.

Portanto, a necessidade de um sistema para a automação da irrigação, acessível para produtores rurais, é essencial. O mesmo possibilita que o processo de irrigação seja feito de forma eficaz, sustentável, em qualquer horário e sem a necessidade de intervenção humana.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver um sistema automático de irrigação por gotejamento, de baixo custo, monitorado por um dispositivo de comunicação móvel (celular).

1.1.2 Específicos

Desenvolver um protótipo de automação para sistemas de irrigação por gotejamento, utilizando um microprocessador conjugado a sensores e atuadores.

Determinar o tipo de manejo de irrigação a ser utilizado.

Calibrar os sensores de umidade do solo.

Desenvolver um aplicativo computacional para dispositivos móveis que possibilite o acompanhamento à distância do sistema de automação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A agricultura e seus desafios

A FAO estima que a população mundial chegará a 9,1 bilhões em 2050. A urbanização continuará em constante crescimento e a população rural em declínio (FAO, 2009). Diante disso, Evans e Sadler (2007) afirmam que a qualidade da água é o ativo mais importante para suprir a demanda crescente de alimentos.

Sendo assim, a FAO (2009) ainda destaca que um dos maiores desafios é produzir alimentos com maior valor calórico e garantir a segurança alimentar. Segundo Abubakar e Attanda (2013), a agricultura sustentável é essencial para satisfazer as necessidades alimentares humanas e da mesma forma, melhorar a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade. No entanto, o autor ainda explica que não existe uma definição bem clara e universal para o termo “agricultura sustentável”. Porém, os agricultores concordam que é através da agricultura sustentável que será possível produzir alimentos e preservar nosso planeta para a crescente população humana. Por outro lado, nota-se não ser possível alimentar toda a população apenas com o aumento da produção agrícola. Torna-se necessário a ajuda dos governos, com a implementação de estratégias para a redução da pobreza e programas de desenvolvimento rural (FAO, 2009).

Da mesma forma, Abubakar e Attanda (2013) explicam que a sustentabilidade da agricultura é um fator importante para a melhoria da produtividade, visando não prejudicar o meio ambiente e a saúde pública. Os autores também destacam que a agricultura moderna terá um grande desafio no tocante à criação de políticas e tecnologias para se atingir as metas necessárias.

Para Bruinsma (2009), no período de 2005/07 a 2050, a produção agrícola precisará aumentar aproximadamente 70% para atender as demandas nutricionais da população. Da mesma forma, Tilman *et al.* (2011) afirmam que a produção de alimentos precisará dobrar no mesmo período. Nota-se que a maior preocupação é se haverá água doce suficiente para manter as práticas não agrícolas e agrícolas, observando que a irrigação é a maior consumidora desse recurso (BRUINSMA, 2009).

Da mesma maneira, Pereira (2017) explica que a água e a irrigação são os fatores mais importantes para se atingir a segurança alimentar e a produção de alimentos para uma população em constante crescimento. Assim, a irrigação trouxe diversos avanços para a produção agrícola em diversas regiões do mundo. Pode-se destacar o período pós-segunda Guerra Mundial, chamado de Revolução Verde, que impulsionou o aumento da produção de alimentos. No entanto, o uso incorreto da água para essa prática, vem causando efeitos colaterais, em escala mundial, como fechamento das bacias dos rios, esgotamento da água subterrânea e poluição severa da água (FALKENMARK, 2013). Com isso, Beer e Penfold-Mounce (2009), destacam que existe uma grande comoção para otimização do manejo da água nas práticas de irrigação.

Dessa forma, outro desafio da agricultura é o êxodo rural de pequenos agricultores (FAO, 2009). Em um relatório publicado em 2014, a FAO estima que atualmente a agricultura familiar corresponde a cerca de 80% da produção de alimentos do mundo. Assim ela se torna um fator essencial para alcançar a segurança alimentar e reduzir a fome mundial (FAO, 2014). Dessa forma, Lopulisa *et al.* (2018), explicam que na maioria das vezes os pequenos agricultores vivem em situações financeiras difíceis, sujeitos às diversidades climáticas e à falta de infraestrutura para manter suas atividades. Também enfrentam os desafios do aumento da produção agrícola com o mesmo espaço de terra, o cultivo sustentável e a inovação (FAO, 2014).

Outrossim, Toledo e Toni (2016), destacam que é cada vez mais recorrente a falta de mão de obra para trabalhos rurais, fator que está diretamente ligado a urbanização, sendo que os moradores dessas áreas estão em busca de melhores salários e melhores condições de trabalho. Logo, podemos destacar outro fator agravante, que é a redução no número de filhos da população rural, os quais poderiam contribuir com o trabalho nas propriedades de suas famílias.

Em razão disso, os pequenos agricultores se encontram obrigados a buscarem novas tecnologias, as quais contribuam para o aumento da produtividade, substituindo o trabalho humano. Segundo Euclides Filho *et al.* (2011), a melhoria de vida, de renda e o apoio aos produtores de pequeno porte, serão fundamentais para alimentar uma superpopulação, que futuramente será em sua maior parte de idosos e que estarão nas áreas urbanas. Portanto, o autor ainda defende que o acesso à tecnologia, a redução de perdas pós-colheita e a ampliação da utilização de

sistemas integrados, serão essenciais para produzir alimentos que preservem a segurança alimentar. No entanto, para que a inovação seja uma realidade na agricultura familiar, é necessário que os governos criem programas de incentivos para viabilizar o acesso às tecnologias (FAO, 2014).

2.2 Energia na agricultura

Segundo Oliveira e Simon (2004), com a chegada da energia elétrica às áreas rurais, foi possível melhorar a produção agrícola com a utilização de refrigerados e também com bombeamento da água. A agricultura moderna proporcionou diversos avanços tecnológicos e toda essa tecnologia depende de energia elétrica para seu funcionamento. Isso significa que a demanda por esse recurso é cada vez maior para se conseguir suprir o constante aumento do consumo, sendo que a distribuição de energia elétrica nos horários de pico não é eficiente (REIS, 2015). Moraes *et al.* (2011), afirmam que a agricultura está entre os setores que mais consomem energia elétrica e torna-se dependente desse recurso para aumentar a produtividade e sustentar a demanda do mercado que é extremamente competitivo.

Dessa forma, Kelley (2013), explica que a energia elétrica apresenta diversos benefícios para a irrigação. No entanto, Azevedo (2002) defende que o custo da irrigação vem aumentando nos últimos anos devido aos reajustes no valor da energia elétrica usada para o bombeamento de água, que geralmente se localiza em regiões topograficamente mais baixas do que o local das culturas irrigadas. Da mesma forma Turco *et al.* (2009), afirmam que o produtor não possui conhecimentos necessários para adotar métodos de irrigação adequados, e assim irriga em excesso, causando prejuízos nas colheitas e comprometendo a qualidade do solo. O autor ainda defende que a mesma é uma das atividades que mais consomem energia elétrica no meio rural. Assim, os custos de energia para o bombeamento de água para as práticas de irrigação é um fator determinante para as atividades agrícolas (PERRONI *et al.*, 2015).

Diante disso, com o aumento no valor da energia elétrica, os custos das produções agrícolas também aumentaram, fazendo com que os produtores

procurassem outras formas de produção e manejo (D'ÁVILA, 2000). Verifica-se que a racionalização de energia elétrica é essencial para os avanços da agricultura, buscando a utilização de recursos de forma mais eficiente, possibilitando a utilização de equipamentos tecnológicos e também reduzindo custos do cultivo (LÓPEZ-MATA *et al.*, 2010). Do mesmo modo, Reis (2015), considera que um sistema de irrigação eficiente potencializa a produção das culturas e minimiza o desperdício de energia e de água.

2.3 Necessidade hídrica das culturas

O desenvolvimento das culturas agrícolas está intimamente ligado com a disponibilidade hídrica da região. Dessa forma, em determinadas épocas do ano a produção diminui consideravelmente devido a falta de água (FERNANDES *et al.*, 2016). O déficit hídrico nos cultivos prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas no mundo todo, visto que os povos sumérios já buscavam maneiras para o aproveitamento dos recursos hídricos.

Dessa maneira, a escassez de água nas práticas agrícolas é um dos principais fatores para a perda das lavouras (FARIAS *et al.*, 2001). Contudo, Santos e Carlesso (1998) explicam que os prejuízos com as perdas agrícolas estão relacionados com a genética e o estágio de desenvolvimento da cultura. Independentemente de outros fatores, a disponibilidade de água é uma das principais condições para a produtividade agrícola, afetando a produção em ambientes com pouca disponibilidade desse recurso. No entanto, esses prejuízos podem ser minimizados com a capacidade que a cultura possui de resistir a seca (MORANDO *et al.*, 2014).

Segundo Albuquerque *et al.* (2012), o setor agrícola é o que mais consome água, podendo variar de acordo com o tipo de plantação. O autor ainda explica que com a escassez dos recursos hídricos, o controle do uso da água é indispensável.

Dessa forma, o manejo dos recursos hídricos pode ser feito através da irrigação (FERNANDES *et al.*, 2016). Contudo, Gomes *et al.* (2011), mostram que não basta apenas irrigar, é preciso conhecer a necessidade hídrica do cultivo,

utilizando lâminas de água que representam a real necessidade das plantas, tornando o processo de irrigação eficiente.

2.3.1 Evapotranspiração

Costa (1999), Couto e Sans (2002), defendem que nas culturas existem perdas de água tanto pela transpiração das plantas quanto pela evaporação no solo. A combinação desses dois fatores é conhecida como evapotranspiração (ET).

Segundo Hornink e Henrique (2016), a evaporação é o processo de transformação da água dos rios, lagos e oceanos, para o estado gasoso (vapor), através do sol ao longo do dia. Dessa maneira, a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade do ar e a velocidade do vento são fatores que devem ser considerados no processo de evaporação (COUTO e SANS, 2002). Os autores ainda afirmam que deve ser analisado se a área possui uma cobertura sombreada, com chuvas frequentes e irrigação, podendo afetar o processo. Já o processo de transpiração consiste na vaporização de água presente nas plantas e seres vivos. As culturas passam por esse processo através dos estômatos, que são aberturas nas folhas (COUTO e SANS, 2002), (HORNINK e HENRIQUE, 2016). Hornink e Henrique (2016), explicam que praticamente toda a água absorvida pela planta é perdida para o meio, utilizando uma pequena parte no seu interior. Essa perda é controlada pela abertura estomacal.

A evapotranspiração é um fator de grande importância para o balanço hídrico dos ecossistemas agrícolas, sendo possível estimar a quantidade de água que cada tipo de cultura necessita (RAZIEL e PEREIRA, 2013). Costa (1999), Couto e Sans (2002) defendem que a necessidade hídrica das plantas depende da estimativa da evapotranspiração. Dessa forma, essa análise deve ser precisa.

Por isso, para dimensionar um sistema de irrigação, o cálculo da evapotranspiração deve considerar dois fatores: a evapotranspiração de referência (ET_o) e os coeficientes culturais (K_c) (COUTO e SANS, 2002).

Portanto, a evapotranspiração de referência (ET_o), representa a taxa de perda de água de uma cultura ativa, em crescimento, bem adaptada ao clima local, sem restrição de água ou estresse hídrico. (CARLESSO *et al.*, 2007), (PEREIRA,

VILLA NOVA e SEDIYAMA, 1997). Já o coeficiente de cultura (K_c), segundo Maia e Morais (2008), é medido através da relação entre a evapotranspiração potencial da cultura (E_{Tc}) e a evapotranspiração de referência (E_{To}), sendo o K_c de grande importância para a estimativa hídrica das culturas.

Dessa maneira, Couto e Sans (2002) explicam que a maioria dos métodos utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência da cultura são baseados em equações empíricas, utilizando-se dados meteorológicos. Os autores ainda afirmam que dentre esses dados, os principais são a temperatura do ar, a radiação solar, a umidade relativa ou pressão de vapor do ar e o vento. Segundo Henrique e Dantas (2007), esses métodos apresentam muitas limitações, dificultando o dimensionamento correto de um sistema de irrigação.

2.4 Armazenamento de água no solo

O solo é responsável por armazenar e fornecer água e nutrientes para os cultivos. No entanto, esse processo depende da quantidade de água que o solo retém, por consequência, conforme diminui a disponibilidade hídrica, maior é a dificuldade das plantas para absorver a água (ROSSATO, 2002). De outra forma, Petry *et al.* (2007), explicam que a água disponível para as plantas não está diretamente ligada com a capacidade de armazenamento do solo. O autor conclui que a retenção de água no solo depende de aspectos como a porosidade e profundidade. Porém, afirma que a disponibilidade de água está relacionada com as características e capacidade de cada tipo de cultura de absorver o fluido.

Segundo González e Alves (2005), no solo a água fica armazenada em espaços porosos. Contudo, a retenção de água depende do arranjo e tamanho das partículas do solo, estrutura, mineralogia e matéria orgânica, assim como o manejo mecânico.

Dessa maneira, Collares *et al.* (2006), explicam que as culturas são dependentes de um solo com condições físicas favoráveis para o seu desenvolvimento. Porém, devido a necessidade de produção contínua, o solo é submetido a tratamentos mecânicos, o que torna possível a utilização do mesmo durante o ano todo. No entanto, o manejo do solo promove diversas modificações

físicas na sua composição, causando a degradação e impactando na retenção de água, devido a intensa produção (BEUTLER *et al.*, 2002).

Seguindo essa mesma linha, Stone e Moreira (2000), Alves (2001), afirmam que, quando o solo se degrada, conseqüentemente, existe um aumento da sua densidade, diminuição da sua macroporosidade e por fim afetando o armazenamento de água, assim, ocorrendo o fenômeno conhecido como compactação do solo. Segundo Unger e Cassel (1991), um dos principais motivos da compactação do solo é o trabalho mecânico das máquinas e implementos agrícolas, desse modo, alterando os atributos físicos e hídricos. Dessa maneira, Beutler *et al.* (2002), explicam que existem vários estudos quanto aos aspectos de retenção de água no solo, visto que, esse recurso é fundamental para a produtividade das culturas.

2.4.1 Teor de umidade do solo

É fundamental ter um acompanhamento do teor de umidade do solo nas culturas irrigadas, pois isso possibilita um manejo adequado e eficiente (BUSKE *et al.* 2014), (COELHO *et al.* 2013). No entanto, Buske *et al.* (2014), afirmam que o teor de água no solo não é constante, variando em diversas situações, como por exemplo: chuvas, irrigações, evaporações, drenagem e também pelos mais variados tratamentos.

Sendo assim, evidenciando a grande importância de conhecer e gerenciar o teor de água no solo, existem várias maneiras de medi-lo (BUSKE *et al.* 2014). Contudo, os autores ainda explicam que, dentre essas técnicas existem algumas mais demoradas, outras mais caras e ainda algumas técnicas imprecisas.

Desse modo, os métodos para a medição do teor de umidade no solo, podem ser divididos em diretos e indiretos (BUSKE *et al.* 2014). Segundo Saavedra (2016), um dos métodos diretos mais utilizados é o método de estufa (padrão), também conhecido como gravimétrico. Esse método é chamado de direto pois mede diretamente o volume de água de uma amostra, sendo mais utilizado devido à sua precisão e seu custo relativamente baixo. No entanto, ele é definido como destrutivo, visto que para cada medição faz-se necessário extrair uma quantidade de solo,

impossibilitando sua automatização (BUSKE *et al.* 2014). Além disso, o método de estufa apresenta outro inconveniente, pois a demora para a secagem do solo se dá em torno de 24 horas (OLIVEIRA, 2016).

Com a demora na secagem do solo no método da estufa, foram desenvolvidas algumas outras técnicas para otimizar esse processo, dentre elas estão a utilização do micro-ondas e o forno elétrico (OLIVEIRA, 2016). Segundo Souza e Nogueira (2002), a utilização do micro-ondas mostrou-se uma alternativa mais rápida, pois leva cerca de 10 e 14 minutos para a obtenção dos resultados. No entanto, para um resultado preciso faz-se necessário calcular a potência do equipamento, calibrando o micro-ondas para determinar a temperatura e a potência real de trabalho (OLIVEIRA, 2016). Em contrapartida, o método do forno elétrico apresenta menor gasto com energia e maior agilidade para alcançar os resultados, se comparado com o método da estufa (SILVA, 2018). Nesse método, segundo Miranda (2012), o forno elétrico demora cerca de 5 minutos para aquecer e 30 minutos para obter os resultados referentes à umidade do solo, o que garante a confiabilidade dos dados.

Por consequência, devido às dificuldades da utilização do método da estufa e seus derivados, foram desenvolvidos alguns métodos indiretos, os quais se baseiam em medir outras propriedades do solo, sendo relacionados com a umidade (SAAVEDRA, 2016).

Com isso, uma das formas utiliza os métodos eletromagnéticos. O mais conhecido, através do instrumento TDR (*Time Domain Reflectometer*), se baseia na constante dielétrica da matriz do solo (SILVA e GERVÁSIO, 1999), (COELHO *et al.* 2013). Além da TDR, ainda é possível destacar o uso da sonda de nêutrons e o tensiômetro. Segundo Ferreira *et al.* (1998), a sonda de nêutrons possibilita a medição da umidade do solo com o mínimo de alteração no perfil do solo, de forma rápida e simples. Porém o autor destaca que a exposição radioativa do operador e o alto custo do aparelho são os pontos negativos desse método. Por fim, outro método indireto é o tensiômetro, que tem a finalidade de medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo. Esse processo também é conhecido como potencial matricial (AZEVEDO e SILVA, 1999). O autor destaca que com esse equipamento é possível obter em tempo real a umidade do solo, e além disso, é o método mais utilizado entre os indiretos.

2.5 Irrigação

Segundo Asawa (2008), existem três elementos fundamentais para a produção agrícola: o solo, a semente e a água. No entanto, ainda existem alguns outros fatores que implicam em uma produção de qualidade, como os fertilizantes, os inseticidas, o clima e o trabalho humano. O autor afirma que a água é o requisito mais importante para a agricultura e a aplicação de forma adequada desse recurso torna-se essencial para as plantas. Na mesma linha, XU *et al.* (2016) explicam que a água é o recurso mais importante para o sistema ecológico global.

Dessa forma, a aplicação de água no solo, tem como objetivos o fornecimento de umidade ao solo para a germinação e crescimento das plantas, diluir os sais do solo, permitir a aplicação de fertilizantes e evitar que as secas de curta duração danifiquem as plantações (ASAWA, 2008). A aplicação de água de maneira artificial nas plantas, com o objetivo da produção ideal, é chamada de irrigação (ASAWA, 2008; TESTEZLAF, 2017). O principal objetivo da irrigação é reparar a falta de água nas plantas, o que auxilia no processo de desenvolvimento da cultura, aumentando a produtividade e a qualidade da colheita (COELHO *et al.*, 2011). Segundo Bjornebeg (2013), a irrigação tem como principal objetivo atender a demanda de água das plantas para o seu crescimento, podendo ser bombeada dos lagos e/ou reservatórios ou por canais naturais. O autor ainda destaca que segundo a FAO, a irrigação contribui com cerca de 40% da produção de alimentos mundial.

Asawa (2008), afirma que os sistemas de irrigação dependem de alguns subsistemas: o subsistema de abastecimento de água, podendo ser de lagoas, rios ou bombeamento subterrâneo; o subsistema de distribuição, para mover a água até as áreas irrigadas, além do tipo de sistema de irrigação que será utilizado. No entanto, como a água em muitos lugares é escassa, faz-se necessário o uso correto e otimizado desse recurso. Segundo Chukalla, Krol e Hoekstra (2015), o uso da água de forma eficiente nas culturas irrigadas é a melhor maneira para se alcançar o uso sustentável dos recursos hídricos.

Andrade Junior *et al.* (2005) explica que existem diversas formas para a aplicação de água nas plantas. Alguns métodos antigos foram o desvio e represas das águas dos rios, uso de regradores manuais, processos mecânicos de aspersão e irrigação localizada. De acordo com Testezlaf (2017), podemos dividir os sistemas

de irrigações em algumas categorias, sendo irrigação por superfície, irrigação por aspersão, irrigação localiza e irrigação de subsuperfície.

2.5.1 Irrigação por superfície

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 escoam sobre o solo, cobrindo-o parcialmente ou totalmente, onde 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), conforme (Figura 1).



Figura 1 - Irrigação por superfície do tipo inundação por sulcos
Fonte: GULCH, 2016

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 importante 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).

Sendo assim, 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.

2.5.2 Irrigação por aspersão

De acordo com Carvalho, Frizzone e Palaretti (2017), esse tipo de irrigação geralmente é utilizado por pequenos agricultores para o cultivo de batatas, hortaliças, em grandes centros urbanos. Bjorneberg (2013) explica que nesse método a água chega até os aspersores via tubulação, que normalmente se encontram abaixo do solo, evitando interferências nas práticas agrícolas. O autor ainda destaca que a irrigação por aspersão é um dos métodos mais eficientes, devido a possibilidade de controlar o fluxo de água. No entanto, em regiões muito quentes ou com ventos, pode haver perdas significativas de eficiência. A irrigação por aspersão pode ser encontrada desde os modelos mais simples até os mais complexos, os quais possuem o funcionamento automático. Dessa forma, o sistema por aspersão pode ser utilizado em solos rasos, arenosos e em terrenos com declínios (SOARES, 1986).

Segundo Silva et al. (2012), dentre os sistemas de irrigação por aspersão, pode-se destacar o convencional, autopropelido e o pivô-central. De acordo com Testezlaf (2017), o sistema convencional utiliza motobombas, tubulações e aspersores, os quais podem ser fixos em uma região ou móveis, possibilitando a movimentação pelo campo, conforme (Figura 2).



Figura 2 - Sistema de irrigação convencional
Fonte: NAANDANJAIN, 2018

Já o sistema autopropelido foi criado com o objetivo de se trabalhar em áreas onde o sistema convencional possui limitações. Nesse sistema é utilizado apenas um aspersor sobre um suporte móvel que com a força hidráulica se movimenta pelo terreno, efetuando a irrigação (SILVA *et al.*, 2012) (Figura 3).



Figura 3 - Sistema de irrigação autopropelido
Fonte: INCTEI, 2019

Por fim, o sistema pivô-central, que segundo Testezlaf (2017) e Silva *et al.* (2012), é basicamente um sistema circular, composto por aspersores que ficam suspensos em torres com rodas. Essas se movimentam ao redor de uma torre central, de forma independentes, peculiar aos motores individuais (Figura 4).



Figura 4 - Sistema de irrigação pivô-central
Fonte: SANTOS, 2015

Portanto, Bjorneberg (2013) defende que a irrigação por aspersão é um dos métodos mais eficientes, devido a possibilidade de controlar o fluxo de água. Contudo, em regiões muito quentes ou com ventos, pode haver perdas significativas de eficiência.

2.5.3 Irrigação localizada

A irrigação localizada está sendo utilizada cada vez mais por agricultores, pois é considerada mais eficiente no uso da água e assim, reduz o desperdício desse recurso e atinge uma maior produção (TESTEZLAF, 2017; MARTÍNEZ e RECA, 2014). Goldberg e Shmueli (1970), reiteram que principalmente nas regiões agrícolas áridas, com o solo pobre em solução salina, esse método traz diversos benefícios, como por exemplo, a produção em tempos menores entre safras e a possibilidade de se manter o solo sempre úmido. Os autores ainda defendem que esse método aumenta a produtividade, podendo em alguns casos atingir o dobro da produção, se comparado com a irrigação por aspersão. A Figura 5 mostra um sistema de irrigação localizada por gotejamento.



Figura 5 - Irrigação por gotejamento
Fonte: OLIVEIRA, 2016

De acordo com Testezlaf (2017), esse tipo de irrigação normalmente é utilizado em culturas frutíferas, como manga, citros, melão, uva, abacate, morango, além de flores e plantas ornamentais. O autor ainda acrescenta que o uso em jardins é bem comum. Do mesmo modo, Ayars *et al.* (1999), explica que o uso da irrigação localizada do tipo gotejamento, protege nas perdas de fertilizantes, minimiza a evaporação das plantas e evita o desperdício de água.

2.5.4 Irrigação por subsuperfície

A irrigação por subsuperfície, também conhecida como irrigação subterrânea (TESTELAZF, 2017), é o processo em que a água atinge as plantas por meio de movimentos, fazendo a mesma subir através dos poros no solo (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2005). O funcionamento básico desse modelo de irrigação é contra a ação da gravidade, podendo ser utilizando em campo ou em estufas. No entanto, Andrade Junior *et al.* (2005) ressalta que para a utilização desse método, é importante conhecer as características do solo e do terreno. Na Figura 6, é possível verificar um modelo de irrigação subterrânea.



Figura 6 - Irrigação de subsuperfície (subterrânea)
Fonte: ARAÚJO, 2016

Na irrigação de subsuperfície a água atinge as plantas através de um procedimento conhecido como capilaridade ou ascensão capilar da água (FERRAREZI e TESTEZLAF, 2015). Frizzone (2017) explica que nesse método, a água é aplicada no subsolo e forma um lençol freático artificial, possibilitando o fornecimento da água necessária para as raízes das plantas. Dessa maneira, a água aplicada abaixo do solo é levada para perto das raízes das plantas (BJORNEBERG, 2013).

2.5.5 Sistemas de irrigação automatizados

A automação, de modo geral, transforma processos, tornando-os mais eficientes e na maioria das vezes, sem a necessidade de intervenção humana. Com a irrigação não é diferente e de acordo com Guimarães (2011), a utilização desses equipamentos traz melhorias, não apenas de caráter humano, mas também promove o uso mais satisfatório de insumos e a diminuição do custo de produção.

Sendo assim, Meyer (2005) afirma que o processo de automatizar pode ser entendido como o envio de sinais elétricos, de um microcontrolador para sensores, como por exemplo, sensor de umidade, relés. Sendo assim, é necessário que seja

feito um levantamento de informações para viabilizar a automação de um sistema. Nisso, inclui-se o entendimento da área que se deseja automatizar, assim como a escolha dos melhores equipamentos, como sensores e softwares (REIS, 2015). Com isso, o autor define que a automatização da irrigação consiste basicamente em um sistema hidráulico, controlado por um controlador eletrônico.

Dessa maneira, Reis (2015) explica que há uma grande evolução no uso de sistemas de irrigação automatizados. Isso se deve a visíveis resultados na melhora do processo de cultivo, excluindo a necessidade de intervenção humana, além de se otimizar o uso da água. Com o crescimento da demanda por alimentos e o uso otimizado dos recursos hídricos, é possível verificar uma crescente demanda por sistemas automatizados. Esses possibilitam uma exploração cada vez mais competitiva e rentável, além de possibilitar a irrigação noturna, de forma facilitada (MARSCZAOKOSKI, CRUZ e SILVA, 2013).

Para Testezlaf (2013), a irrigação automatizada apresenta economia dos recursos hídricos. Pelo fato de controlar a quantidade de água aplicada nas culturas de forma precisa, tem-se a economia de energia elétrica, pois quando utilizado motobombas, possibilita-se o acionamento apenas quando realmente é necessário. Além disso, tem-se também economia de mão-de-obra. Contudo, o autor destaca que existem algumas desvantagens, como o alto custo de implantação, muitas vezes, não sendo viável para agricultores de pequeno porte, como o treinamento especializado para a manipulação dos sistemas e o controle da manutenção preventiva do sistema.

De acordo com Medeiros (2018), os sistemas de irrigação automatizados podem ser classificados baseados em temporizadores e sem unidades temporizadoras.

Os sistemas com a utilização de temporizadores são sistemas que utilizam um controle de tempo para irrigar, liberando a água em tempos fixos. No entanto, esse tipo de sistema apresenta alguns problemas, como o desperdício de água, a irrigação sem necessidade, ou seja, quando o solo ainda apresenta umidade, os prejuízos à saúde das culturas ao irrigar em momentos com altas temperaturas (MEDEIROS, 2018). Já os sistemas sem unidades temporizadoras, geralmente, são sistemas que fazem uso de sensores. Dessa maneira, irrigando apenas quando se faz necessário, esses sensores emitem sinais para os microcontroladores, os quais processam a entrada de dados. Portanto, baseados em parâmetros pré-definidos,

identificam o momento em que o cultivo necessita de água, acionando a irrigação (MEDEIROS, 2018). Logo, a utilização de sensores possibilita efetuar o monitoramento em tempo real dos recursos hídricos do solo, precisando a irrigação (DURSON e OZDEN, 2011).

Contudo, segundo Gonçalves (2016), considerado os grandes benefícios de se automatizar um sistema de irrigação, ainda é possível agregar conceitos de sustentabilidade ao sistema automatizado. Isso pode ser feito utilizando fontes de energias renováveis, como por exemplo, energia fotovoltaica como fonte de alimentação, evitando o uso de energia elétrica.

2.6 Sistemas de controle e automação

De acordo com Rodić (2009), a automação pode ser definida como sendo o uso de sistemas de controle, seja numérico, programável e outros controles industriais, em conjunto com diversas tecnologias, aplicativos e máquinas mecânicas. A automação é o conceito da substituição do trabalho humano ou animal por uma máquina, a qual trabalha com processos por conta própria, através de condições pré-definidas (RIBEIRO, 1999). Nessa mesma linha o autor explica que a ideia da automação é ir além da mecanização, reduzindo o esforço humano. Logo, com o surgimento de novas tecnologias, a automação industrial tem crescido em grande escala, sendo melhorada todos os anos (ROGGIA e FUENTES, 2016).

Com isso, Lucena *et al.* (2007) atestam que com a evolução da tecnologia nos últimos anos, a automação está alcançando novos patamares, surgindo novas técnicas de implementação de funcionalidades, e aperfeiçoando-se a produção industrial. Ainda segundo os mesmos autores, essa evolução está proporcionando o barateamento da produção de dispositivos em larga escala.

Em vista disso, a automação esta diretamente ligada com a economia global, onde diversas áreas das engenharias trabalham cada vez mais para aprimorar os sistemas e diminuir a intervenção humana (RODIĆ, 2009). Conseqüentemente, a automação está presente em nosso cotidiano, seja por meio de recursos residenciais, comerciais ou industriais, podendo ser utilizados tanto em projetos de pequeno porte quanto em escala industrial.

2.6.1 Microcontroladores

O microcontrolador é um tipo de microcomputador projetado para ser um microcomputador dedicado, ou seja, um controlador que auxilia o monitoramento e controle de uma máquina, de um equipamento e/ou de um processo (TOCCI, 2007). Segundo Diniz (2017), é importante entender a diferença entre um microcontrolador e um microprocessador. O primeiro possui um microprocessador internamente, (tirar=já) e o segundo é um processador, em tamanho reduzido, conhecido como a unidade central de processamento.

Desse modo, Tocci (2017) ressalta que os microcontroladores podem ser considerados microcomputadores por utilizarem um microprocessador. Além disso, é possível encontrar dispositivos de entrada e saída nos microcontroladores. Portanto, a diferença entre um microcontrolador e um computador é o tamanho e a forma como é fabricado. Nos microcontroladores, todos os dispositivos, geralmente, são desenvolvidos sob uma única placa.

Dessa forma, a tecnologia segue evoluindo, assim como o poder computacional dos sistemas, possibilitando que um microcontrolador execute várias tarefas ao mesmo tempo, conceito este conhecido como multitarefa (OLIVEIRA, 2017). O autor ainda conclui que esses dispositivos mais modernos possuem vários núcleos, aumentando ainda mais o poder de processamento e execução de tarefas paralelas. Entretanto, ressalta que a maioria desses equipamentos não possuem essa tecnologia.

Segundo Frenzel (2016) um microcontrolador é composto por três partes principais: unidade central de processamento (CPU), memórias e circuitos de entrada e saída (E/S), conforme Figura 7.

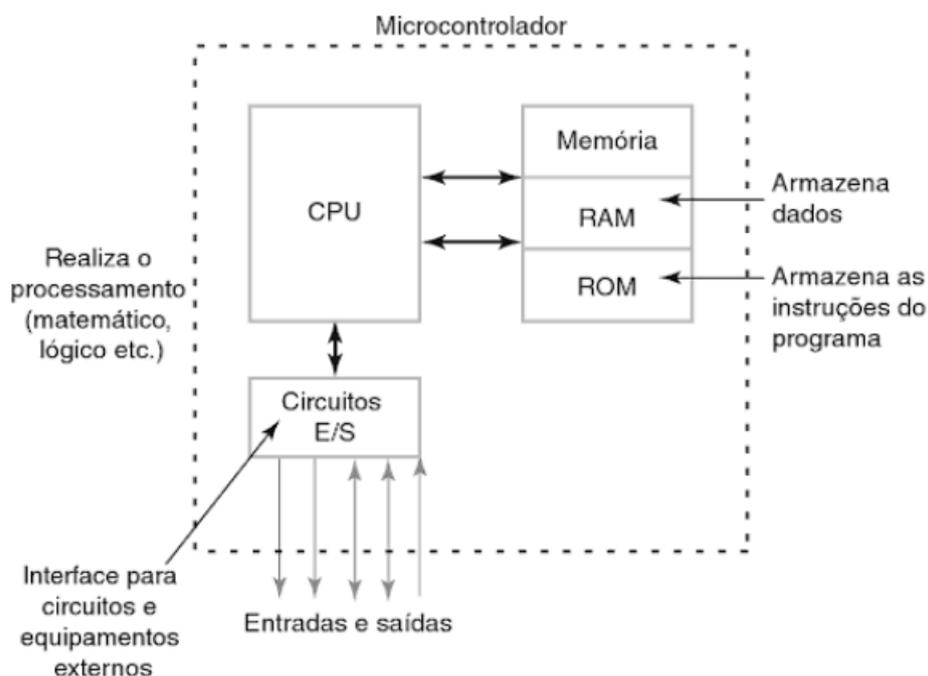


Figura 7 - Principais componentes de um microcontrolador
 Fonte: FRENZEL, 2016

A CPU é responsável pelo processamento dos dados e é possível programá-la com um conjunto de comandos e instruções. Já as memórias, podem ser divididas em duas principais, a RAM e a ROM.

Dessa forma, a memória RAM, também conhecida como memória volátil, possui a característica de armazenar os dados enquanto existe energia elétrica. Assim, quando o microcontrolador é desligado, todas as informações são perdidas. Essa memória é responsável por interagir com o processador, armazenando dados, programas e efetuando gravações em disco. Por outro lado, o autor destaca que a memória ROM não permite gravação, permite apenas leitura. Normalmente a gravação de informação é feita pelo fabricante e essa memória mantém os dados mesmo quando o microcontrolador é desligado, sendo ela uma memória não volátil. Por fim, os circuitos de entrada e saída são periféricos, sendo possível conectar equipamentos externos como mouse, teclado, monitor. (FRENZEL, 2016).

2.6.1.1 Arduino

O *Arduino* é uma plataforma de código fonte aberto, que oferece um *hardware* e um *software* simples e fácil de usar. As placas *Arduino* possibilitam ler entradas de dados, sejam digitais ou analógicas e transformar em saídas, como acender uma luz ou ativar um motor (ARDUINO, 2018). No entanto, Oxer e Blemings (2009) explicam que o *Arduino* é a fusão de *hardware*, *software* e comunidade, sendo necessário o conhecimento básico dos três elementos. Dá-se maior destaque para o *hardware*, onde os usuários encontram as maiores dificuldades.

Em razão disso, o *Arduino* tem sido utilizado em diversos projetos no mundo todo, tanto em projetos pequenos quanto em projetos mais complexos, de larga escala. Ademais, o *Arduino* possui uma grande comunidade ativa, a qual trabalha em melhorias e suportes aos usuários. O autor ainda destaca que a placa surgiu com o objetivo de facilitar o uso da eletrônica e programação com os alunos que não tem formação nessas áreas, sendo, portanto, uma ferramenta fácil e rápida de prototipagem (ARDUINO, 2018).

2.6.1.2 Raspberry PI

Com o tamanho de um cartão de crédito, o *Raspberry PI* é um computador de baixo custo, onde é possível conectar monitor, TV, teclado, mouse, entre outros periféricos que um computador comum possui. Logo, com esse equipamento é possível desenvolver aplicações utilizando a linguagem de programação *Scratch* ou *Python*, assim como navegar pela internet, reproduzir filmes, jogos e desenvolver projeto de automação (RASPBERRY PI, 2018).

Dessa mesma forma, segundo Raspberry PI (2018), a *Raspberry PI Foundation* é uma fundação de caridade educacional, sediada no Reino Unido. Tem como premissa levar a educação para crianças e adultos, permitindo que essas pessoas aprendam a programar e entender como os computadores funcionam. Segundo Monk (2014), desde o seu lançamento em 2011, foram vendidas mais de dois milhões de unidades no mundo.

Contudo, ainda é possível integrar o *Raspberry Pi* com o *Arduino*, aumentando a gama de projeto e as possibilidades para o desenvolvimento da automação.

2.6.2 Sensores e atuadores

Segundo Diniz (2017), os sensores são equipamentos capazes de transformar uma grandeza física ou química em sinal elétrico. Dessa forma, os sensores possibilitam medir estímulos externo ao ambiente que ele se encontra (KARVINEN e KINOSHITA, 2014).

Diniz (2017) explica que existem vários tipos de sensores, como por exemplo os microfones, os quais convertem ondas sonoras em sinais elétricos, ou os fotodiodos, os quais fazem a conversão de luz em sinal elétrico. Os sensores podem ser encontrados por toda parte, portanto, grande parte dos dispositivos inteligentes possuem diversos deles, como por exemplo, os telefones celulares (KARVINEN e KINOSHITA, 2014). O autor ainda ressalta que devido a generalização de uso, o preço está cada vez mais acessível, e isso viabiliza o uso em diversos tipos de projetos e em conjunto com microcontroladores.

Já os atuadores são similares aos sensores, no entanto, fazem o trabalho inverso, pois transformam sinais elétricos em movimento, sendo capazes de modificar o ambiente em que estão inseridos. Podem ser manuais ou automáticos, e funcionam com pequenas e grandes correntes elétricas, como por exemplo, um relé, que tem a função de acionar um circuito (LONGO, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizada no município de Cascavel, Paraná, com localização geográfica definida pelas coordenadas 24°59'13.3"S 53°26'58.8"W. A coleta do solo foi feita no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), próximo à rodovia BR 467 – Km 101, Cascavel - PR, com localização geográfica 24°53'59.85" latitude sul e 53°32'1.98" longitude oeste de Greenwich e altitude 750 m.

O solo utilizado para o experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, com relevo levemente ondulado e textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). As características físico-químicas do solo podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo da área experimental no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Cascavel – PR, 2011

Nutrientes ¹		Parâmetros	
P disponível ²	7,83 mg dm ⁻³	Teor de água ³	0,357 g g ⁻¹
C	25,59 g dm ⁻³	Densidade ³	1,122 g cm ⁻³
Ca	6,06 cmolc dm ⁻³	Areia ⁴	120 g kg ⁻¹
Mg	3,74 cmolc dm ⁻³	Silte ⁴	220 g kg ⁻¹
Al	0,09 cmolc dm ⁻³	Argila ⁴	660 g kg ⁻¹
K	0,33 cmolc dm ⁻³	pH (CaCl ₂)	5,53
Cu	7,60 mg dm ⁻³	CTC	14,95 cmolc dm ⁻³
Zn	2,27 mg dm ⁻³	Soma de bases	10,13
Fe	23,67 mg dm ⁻³		
Mn	155,67 mg dm ⁻³		
H+Al	4,89 cmolc dm ⁻³		

Notas: 1) Determinado segundo EMBRAPA (1997); 2) Mehlich-1; 3) Método do anel volumétrico (KIEHL, 1979); 4) Método do densímetro (BOUYOUCOS, 1927).

Fonte: Pacheco (2012).

Na Figura 8 apresenta-se a curva característica de retenção de água no solo, que expressa a relação entre o conteúdo de água (cm^3/cm^3) e o potencial matricial de água no solo (força de ligação entre as moléculas de água e as partículas de solo).

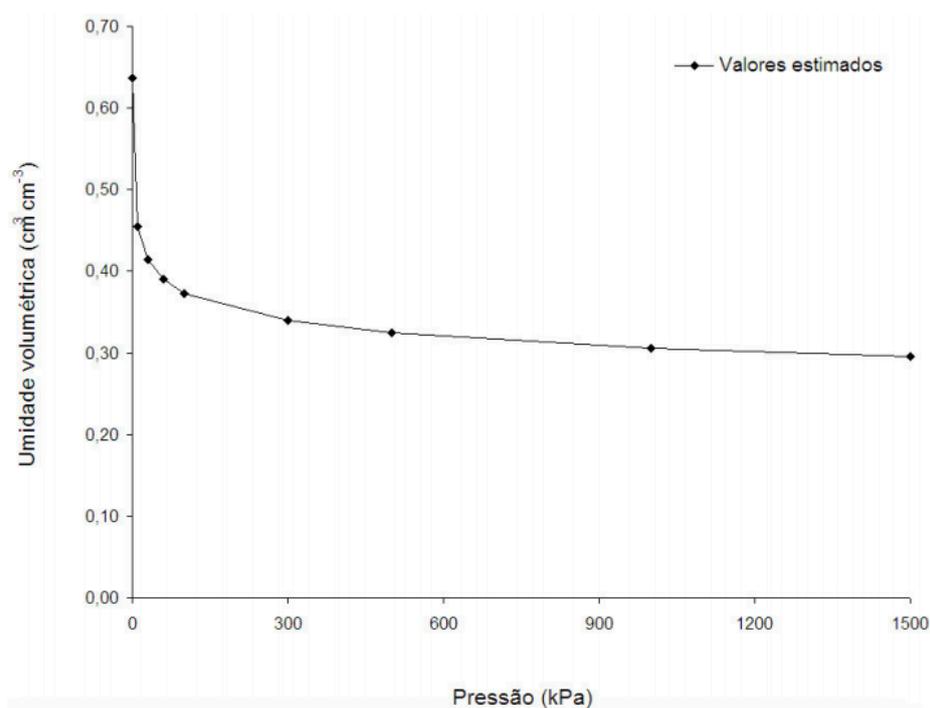


Figura 8 - Curva característica de retenção de água no solo
Fonte: LUCAS, 2010.

Para esse trabalho foram utilizados os valores obtidos pela câmara de Richards, sendo que o melhor ajuste para os valores pode ser representado pela Equação 1 (LUCAS, 2010).

$$\theta = 0,01778 + \frac{0,61906}{[1 + (0,44276 * \Psi_m)^{1,09074}]^{0,08319}} \quad (1)$$

Em que:

- θ : Conteúdo de água do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).
- Ψ_m : Potencial matricial ($\text{cm H}_2\text{O}$).

Sendo assim, para obtenção do conteúdo de água no solo (θ), é necessária a conversão de (kPa) para cmH_2O (Ψ_m).

3.2 Materiais

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados os seguintes materiais: microcontrolador Raspberry PI, sensores de umidade do solo capacitivo (S1, S2, S3), mangueira de irrigação 3/8", gotejador autocompensante, válvula solenoide, caixa plástica, relé, conversor de sinal analógico para digital e um smartphone. Na Figura 9 apresenta-se uma ilustração com o lay-out completo do projeto.

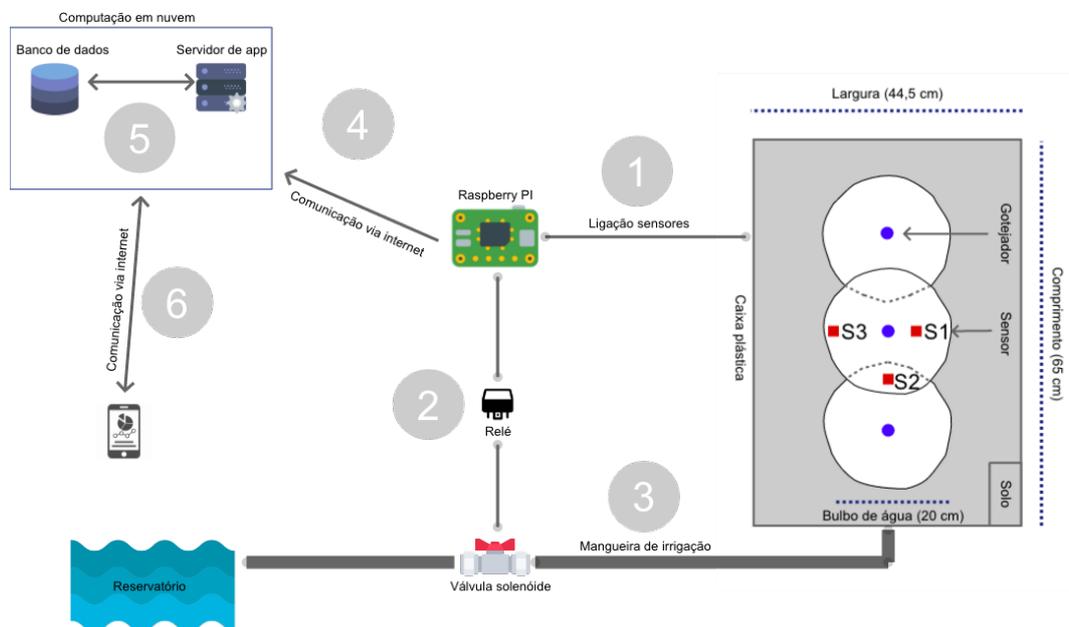


Figura 9 - Projeto completo
Fonte: Autor, 2019.

Descrição das etapas do projeto, conforme a numeração apresentada na Figura 9.

1. Ligação dos sensores: A ligação dos sensores é a etapa onde os sensores são conectados ao microcontrolador, possibilitando a captura de informações do solo.
2. Nesta etapa o Raspberry é conectado a um relé, que tem a função de ligar e desligar a válvula solenóide, e conseqüentemente, liberar ou bloquear o fluxo de água no solo.
3. A mangueira de irrigação é responsável por conduzir a água do reservatório para a caixa plástica.

4. Nesta etapa o microcontrolador envia os dados capturados para um serviço hospedado em nuvem, possibilitando o acesso à informação de qualquer lugar do mundo, desde que se tenha acesso à internet. Dessa maneira, todos os dados dos sensores são processados pelo Raspberry e enviados imediatamente para o serviço de armazenamento.
5. O servidor e o banco de dados estão hospedados na nuvem. Nesse processo, as informações enviadas pelo sistema de automação chegam até o banco de dados.
6. Nesta etapa é feita a leitura das informações hospedadas na nuvem. O processo consiste em conectar-se a um aplicativo onde estão disponíveis as informações para visualização.

A seguir são apresentadas algumas fotos do projeto desenvolvido neste trabalho.

A Figura 10 mostra a configuração final do projeto, apresentando a caixa com o solo, os sensores, os gotejadores e a mangueira, além do *Raspberry* com seus componentes.



Figura 10 - Protótipo em funcionamento
Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 11 é possível observar os sensores de umidade nas posições definidas e a mangueira com os gotejadores. Foi utilizado um arame para fixação, evitando qualquer tipo de movimentação tanto da mangueira quanto dos fios.



Figura 11 - Caixa visão superior
Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 12 apresenta-se a instalação da válvula solenóide. Foi utilizada uma mangueira mais flexível na base da válvula para facilitar o manuseio, evitando vazamentos, e depois a mesma foi conectada na mangueira de irrigação.



Figura 12 - Válvula solenoide
Fonte: Autor, 2019.

3.2.1 Raspberry PI

O microcontrolador Raspberry PI 3 – Modelo B está apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Raspberry PI 3 Model B
Fonte: AMAZON, 2019

Especificações:

- Raspberry Pi 3 Model B.
- Processador Broadcom BCM2837 64bit ARMv8 Cortex-A53 Quad-Core.
- Clock 1.2 GHz.
- Memória RAM: 1GB.
- Adaptador Wifi 802.11n integrado.
- Bluetooth 4.1 BLE integrado.
- Conector de vídeo HDMI.
- 4 portas USB 2.0.
- Conector Ethernet.
- Interface para câmera (CSI).
- Interface para display (DSI).
- Slot para cartão microSD.
- Conector de áudio e vídeo.

- GPIO de 40 pinos.
- Dimensões: 85 x 56 x 17mm.

3.2.2 Sensor de umidade do solo

O Sensor de umidade do solo capacitivo utiliza a variação da capacitância do solo para obtenção dos valores de umidade. Dessa maneira, esse sensor é recomendado devido a sua capacidade de se evitar a corrosão, um problema comum entre os sensores resistivo (Figura 14).



Figura 14 - Sensor de umidade - CS12
Fonte: FELIPEFLOP, 2019

Especificações:

- Modelo: CS12.
- Interface: Analógica.
- Tensão de funcionamento: 3.3V ~ 5V.
- Dimensões (CxLxE): 97x22x3mm.
- Peso total: 5g.

3.2.3 Conversor analógico-digital MCP3008

O Raspberry não possui pinos analógicos, conseqüentemente não consegue ler os sinais desse tipo. Sendo assim, foi utilizado o chip MCP3008, que basicamente converte um sinal analógico para digital (Figura 15).

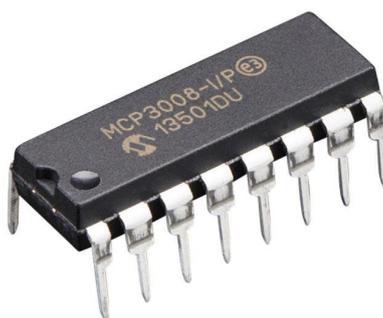


Figura 15 - MCP3008
Fonte: PIHUT, 2019.

A seguir, é possível visualizar o esquemático do conversor MCP3008, onde o lado esquerdo representa os novos pinos analógicos (oito novos canais analógicos) e do lado direito as ligações que devem ser feitas no Raspberry (Figura 16).

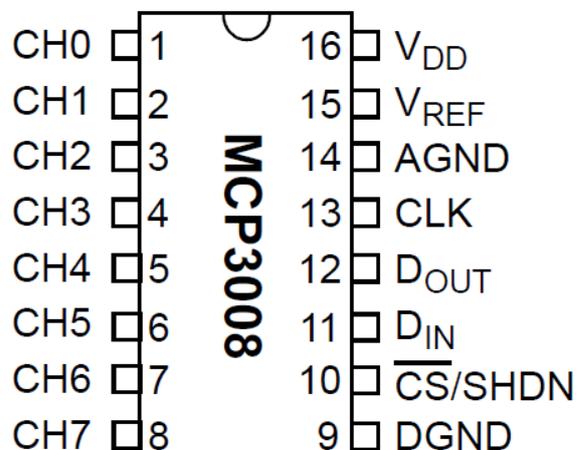


Figura 16 - MCP3008
Fonte: ADAFRUIT, 2019.

Especificações:

- 8 canais.
- 10 bits de resolução.
- Tensão de operação: 2.7V - 5.5V.
- Amostragem máxima de 200ksps em 5V ou 75ksps máximo em 2.7V.
- Comunicação SPI.

3.2.4 Gotejador

O gotejador autocompensante é comumente utilizado na fruticultura, em estufas e irrigação em vasos. Esse tipo de gotejador possui um sistema auto limpante que aumenta sua resistência a entupimentos. O gotejador autocompensante recebe esse nome devido a capacidade de manter a vazão uniforme de água em todos os gotejadores instalados na mangueira, quando a pressão se encontra entre 6 e 50 m.c.a, (Figura 17). A vazão medida de cada gotejador foi de 2,4 litros/hora.



Figura 17 - Gotejador autocompensante - Irritec
Fonte: BIOSEMENTES, 2019.

Especificações:

- Marca: Irritec.
- Vazão: 8 Litros/hora.
- Pressão de abertura: 4 MCA - 0,4 Bar.
- Pressão de fechamento: 3 MCA - 0,3 Bar.
- Pressão máxima de funcionamento: 40 MCA - 4 Bar.
- Ponta flecha: 4mm.

3.2.5 Válvula solenóide

A válvula solenóide é um equipamento eletromecânico que através de sinais elétricos possibilitam gerenciar fluidos. Dessa forma, para esse trabalho, a válvula foi utilizada para o controle do fluxo de água (Figura 18).



Figura 18 - Válvula solenoide
Fonte: ELETRÔNICA, 2019.

Especificações:

- Tensão: 12V DC.

- Corrente nominal: 500mAh.
- Pressão de operação: 0,2 à 6 kgf/cm².
- Vazão mínima= 7 l/min (à 0,2kgf/cm²).
- Vazão máxima= 40 l/min (à 6 kgf/cm²).
- Temperatura máxima do líquido: 60°C.
- Entrada: rosca externa de 3/4".
- Saída: Conexão espigão para mangueira de 3/8" (10,5mm).
- Dimensões (CxLxE): ~78x62x35mm.
- Peso: 95g.

Para o controle da válvula solenóide foi utilizado um relé, o qual aguarda o microcontrolador realizar e analisar as leituras dos sensores de umidade do solo.

3.2.6 Relé

O Relé é um componente eletromecânico que possibilita acionar um circuito através de um sinal elétrico. Dessa forma, esse componente é responsável por ligar e desligar o sistema de irrigação através dos sinais emitidos pelo microcontrolador (Figura 19).



Figura 19 - Relé 1 canal 5V
Fonte: ELETRÔNICA, 2019.

Especificações:

- Modelo: SRD-05VDC-SL-C (Datasheet).
- Tensão de operação: 5VDC.
- Permite controlar cargas de 220V AC.
- Corrente típica de operação: 15~20mA.
- LED indicador de status.
- Pinagem: Normal Aberto, Normal Fechado e Comum.
- Tensão de saída: (30 VDC a 10A) ou (250VAC a 10A).
- Furos de 3mm para fixação nas extremidades da placa.
- Tempo de resposta: 5~10ms.
- Dimensões: 51 x 38 x 20mm.
- Peso: 30g.

3.2.7 Caixa plástica

A caixa plástica foi utilizada para armazenar o solo onde o sistema de irrigação foi instalado (Figura 20).



Figura 20 - Caixa plástica
Fonte: LIVRE, 2019.

Especificações:

- Marca: Sanremo.
- Material: Plástico.
- Altura: 26 cm.
- Largura: 44,1 cm.
- Comprimento: 63,1 cm.
- Capacidade: 48 L.

3.2.8 Mangueira para irrigação

A mangueira utilizada para o experimento é de propileno, com a espessura de 3/8" (Figura 21).



Figura 21 - Mangueira 3/8"
Fonte: Autor, 2019.

3.2.9 Smartphone

Para a instalação do aplicativo desenvolvido e monitoramento do sistema de automação foi utilizado um smartphone com o sistema operacional Android (Figura 22).



Figura 22 - Xiaomi Redmi 4 Prime 3GB 32GB
Fonte: ALIBABA, 2019.

3.3 Métodos

3.3.1 Experimento

O experimento consiste no desenvolvimento de um software e na integração de hardwares (microcontrolador, válvula e sensores) para o controle automático da irrigação. A validação e testes do projeto foram feitos com variados níveis de umidade do solo (irrigado e posteriormente seco ao ar livre), de modo a verificar os acionamentos da válvula solenóide (abertura e fechamento) nas umidades pré-estabelecidas para a cultura. O software armazena os valores de umidade do solo e status da válvula (ligada/ desligada), possibilitando a apresentação de um gráfico que mostre a variação da umidade ao longo do tempo (em cada um dos sensores) e

o horário de abertura e fechamento da solenóide (para determinação do tempo de irrigação em cada teste).

Desse modo, avaliando a curva de umidade de cada sensor, pode-se determinar o manejo mais adequado para a irrigação, considerando a necessidade hídrica de uma cultura hipotética e o tempo em que a água demorou para infiltrar e se espalhar no solo. Além disso foram determinadas, manualmente, a vazão de cada gotejador (consideradas constantes, em função dos gotejadores serem autocompensantes) e a área aproximada dos bulbos.

3.3.2 Montagem da caixa com o solo

A caixa plástica foi preenchida com aproximadamente 20 cm de solo coletado e foram colocados, na parte superior da mesma, três gotejadores em linha, separados 16 cm entre si. Cada gotejador cria um bulbo irregular entre 18 e 20 cm de diâmetro.

3.3.3 Sensores de umidade do solo

Para a calibração dos sensores foram coletadas 24 amostras de solo, sendo que os coletores foram pesados antes (vazios) e depois da coleta. Já para a determinação da umidade, foi utilizado o método padrão da estufa, em que as amostras de solo foram secas por 24 horas em uma temperatura de 105° C, garantindo que o solo tenha eliminado toda a umidade. Com isso, para o cálculo do teor de água do solo foi empregado o método recomendado pela NBR 6457/2016. Desse modo, é possível estabelecer uma relação entre o teor de água e a capacitância do sensor (valor analógico).

Sendo assim, é importante destacar que para a confiabilidade das informações fez-se necessário calibrar, separadamente, cada um dos três sensores. Esse processo de calibração individual é essencial devido às variações

apresentadas em cada um dos sensores, mesmo sendo adquiridos no mesmo lote de compra.

Dessa forma, após a calibração, os sensores foram adicionados de forma estratégica em três posições diferentes e enterrados no solo a 5 cm de profundidade. Na Figura 23 é possível visualizar a caixa plástica em uma visão superior, junto com os gotejadores e os sensores.

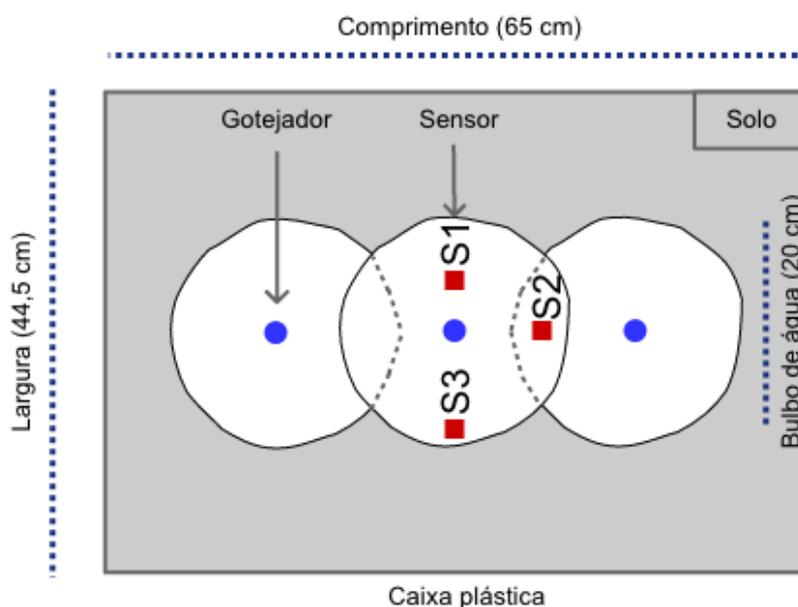


Figura 23 - Estrutura do solo com sensores e gotejadores
Fonte: Autor, 2019.

Os gotejadores são identificados pelos círculos azuis, e cada um dos círculos irregulares (brancos) representam os bulbos formados pelos gotejadores (os três gotejadores foram ligados através da mangueira de irrigação). Já os quadrados vermelhos representam as posições dos sensores, sendo S1 (sensor 1), S2 (sensor 2) e S3 (sensor 3). Por fim, o solo é representado pelo preenchimento cinza, delimitando a área total da caixa plástica.

Os sensores de umidade trabalham com sinais analógicos e dessa forma, após a integração do Raspberry com o MCP3008, existiram oito canais analógicos disponíveis. Cada sensor utiliza um canal analógico, uma saída de energia elétrica (VCC) e outra de aterramento (GND).

Assim sendo, para o experimento, foram necessários seis canais analógicos, um para cada sensor de umidade do solo.

Na Figura 24 apresenta-se uma ilustração com a ligação de um único sensor. No entanto, para ligar outros sensores, basta replicar o mesmo método, utilizando os outros canais disponíveis.

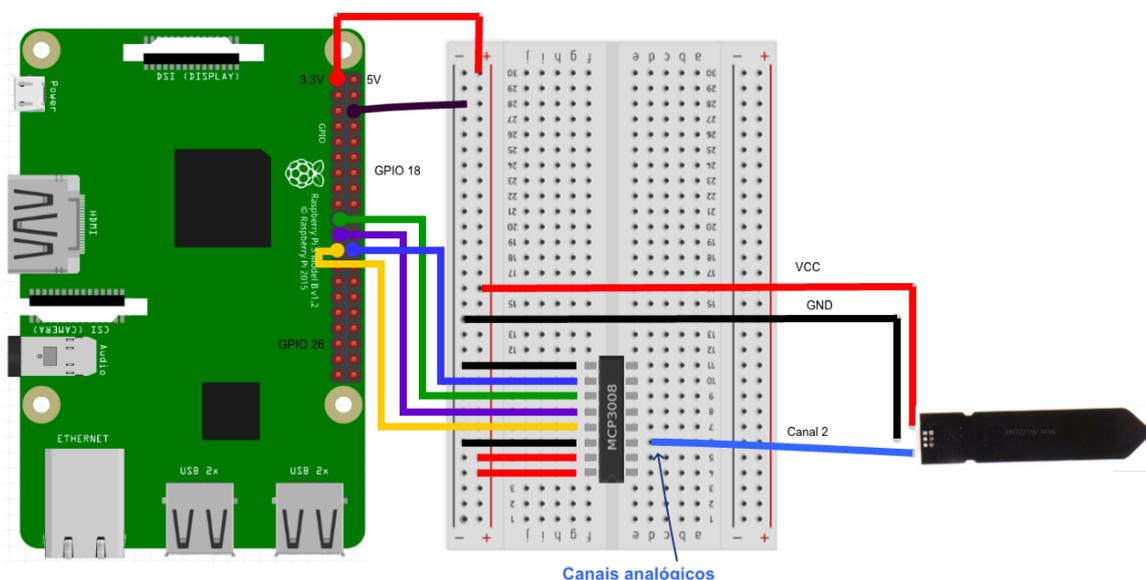


Figura 24 - Raspberry com sensor de umidade
Fonte: Autor, 2019.

É importante observar que a contagem dos canais analógicos (MCP3008) é de zero até sete. Neste caso, o sensor foi ligado na saída analógica dois.

3.3.4 Estrutura do software

O desenvolvimento do software para o microcontrolador (Raspberry) foi realizado utilizando a linguagem de programação Python (Anexo A). O software realiza o controle dos sensores de umidade e do relé (que controla a válvula solenóide). Os dados capturados pelos software/ sensores são enviados para a nuvem, ou seja, espaço na internet, onde ficam hospedados em um servidor de aplicação (*Heroku Cloud Application Platform*), desenvolvido com a tecnologia NodeJS (Anexo B).

Desse modo, após os dados estarem armazenados na nuvem, foi desenvolvido um aplicativo que possibilita o acesso a essas informações via internet. Com o aplicativo, é possível verificar os dados relacionados à automação, apresentados em forma de gráficos (Anexo C e D).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas as curvas de calibração dos sensores de umidade do solo e os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema de irrigação automático.

4.1.1 Calibração dos sensores de umidade do solo

Os resultados obtidos com a calibração dos sensores são apresentados nas Figuras 25, 26 e 27.

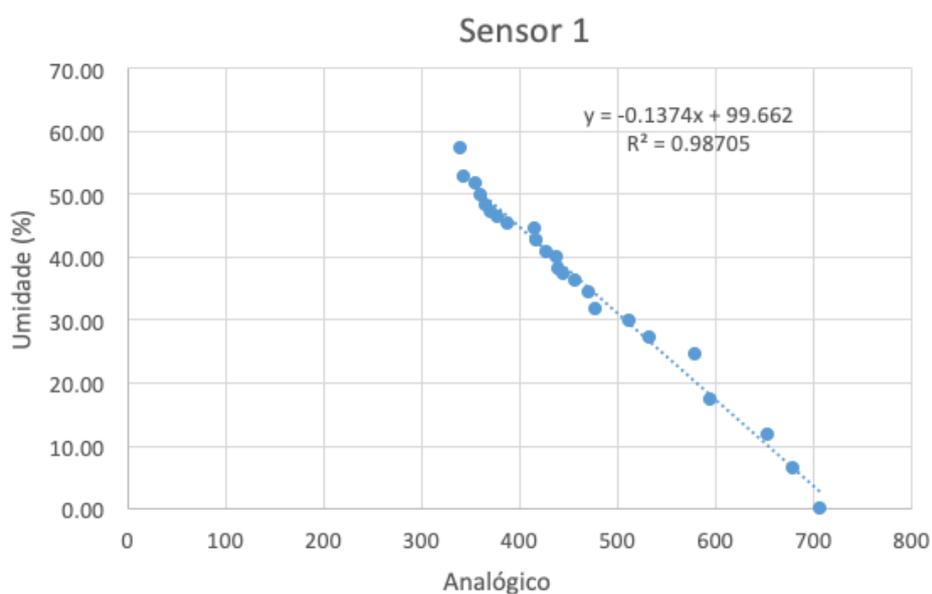


Figura 25 - Calibração sensor 1

Fonte: Autor, 2019.

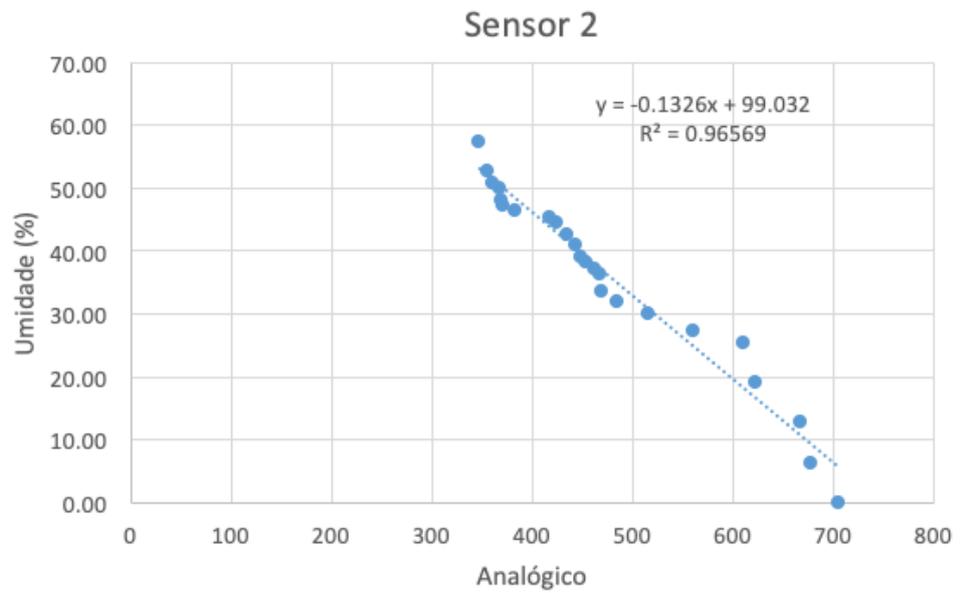


Figura 26 - Calibração sensor 2
Fonte: Autor, 2019.

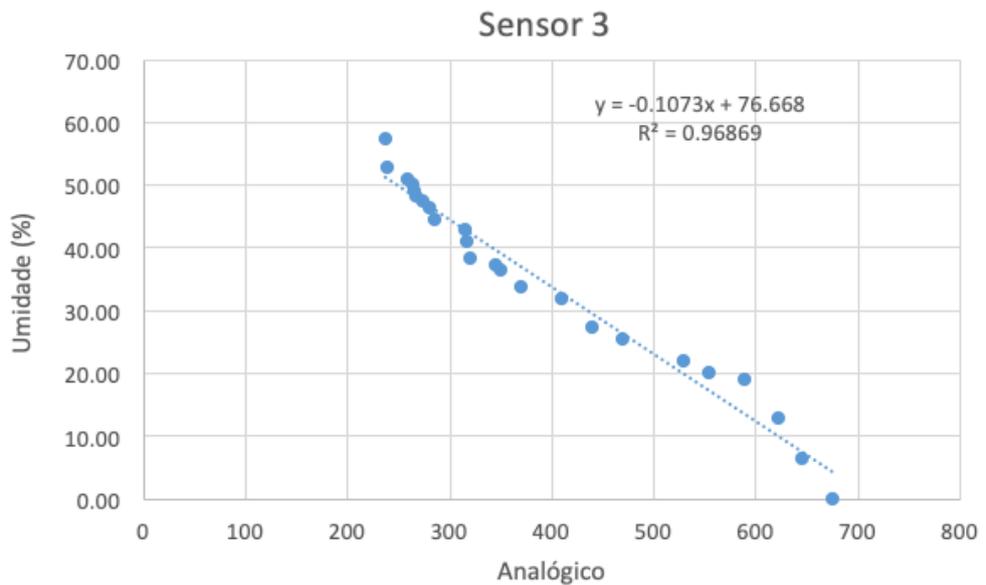


Figura 27 - Calibração sensor 3
Fonte: Autor, 2019.

As curvas de calibrações possuem nas abscissas o valor analógico do sensor e nas ordenadas a umidade do solo (%). Os dados foram ajustados com uma equação de segundo grau, resultando em um R^2 acima de 98% para o sensor 1 e superior a 96% para os sensores 2 e 3.

Foram encontradas algumas dificuldades na utilização dos sensores. Nos primeiros testes de calibração, optou-se por aplicar uma camada de proteção sob os circuitos expostos dos sensores, utilizando-se veda calha PU. Essa camada de proteção tinha como objetivo evitar qualquer tipo de contato com a água, visto que isso poderia queimar o equipamento. No entanto, após testes de calibração e automação, não foram obtidos resultados satisfatórios, apresentando muitas variações nos valores. Portanto, a proteção foi descartada e optou-se por trabalhar com os sensores originais.

4.1.2 Sistema de irrigação automático

O experimento simulou o cultivo do alface, que utiliza uma tensão matricial do solo nos limites de 20 a 50 kPa (SAMMIS, 1980). Ou seja, para que a hortaliça permaneça com uma umidade adequada, é necessário que a tensão do solo permaneça entre 20 e 50 kPa, onde, quanto maior o kPa, maior é a dificuldade da planta extrair a água do solo.

Para definir o momento de irrigação, fez-se necessário correlacionar a curva característica de retenção de água no solo (Figura 8) com as curvas de calibração dos sensores de umidade do solo (Figuras 25, 26 e 27).

A Tabela 2 apresenta o valor percentual de umidade para 20 e 50 kPa (obtidos a partir da Equação 1, após terem sido feitas as devidas conversões de unidade), bem como os valores analógicos enviados para o microcontrolador pelos sensores 1, 2 e 3 (obtidos a partir das equações de calibração dos sensores).

Tabela 2 - Relação entre kPa, umidade do solo (%) e valor analógico

kPa	Umidade (%)	Sensor	Valor Analógico
50	40%	S1	434
		S2	445
		S3	341
20	43%	S1	412
		S2	422
		S3	313

A partir da correlação entre a umidade do solo (%) e o valor analógico dos sensores, apresentados na Tabela 2, foi definido o manejo automático da irrigação do alface, utilizando-se as seguintes regras:

- Quando um dos sensores (S1, S2 ou S3) atingir 40% (ou menos) de umidade do solo, a irrigação inicia;
- No momento em que todos os sensores (S1, S2 e S3) atingirem 43% (ou mais) de umidade do solo, a irrigação cessa;
- Durante o processo de irrigação, os dados são coletados a cada 30 segundos. Durante o período em que não ocorre irrigação, os dados são coletados a cada 1h:30m.

4.1.3 Dados de umidade do solo coletados

A coleta de dados ocorreu durante 40 dias. Todos os dados coletados foram armazenados em uma estrutura de coleções (SOLENOID, SENSOR_1, SENSOR_2 e SENSOR_3), no banco de dados MongoDB (Anexo E).

A Tabela 3 apresenta, como exemplo, alguns resultados obtidos no dia 30/09/2019.

Tabela 3 - Dados coletados

Data/hora	Válvula solenóide	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
30/09/2019 01h:05m:30s	OFF	48%	50%	46%
30/09/2019 02h:35m:42s	OFF	48%	50%	47%
30/09/2019 04h:05m:51s	OFF	48%	50%	47%
30/09/2019 05h:36m:01s	OFF	49%	50%	47%
30/09/2019 07h:06m:11s	OFF	49%	49%	47%
30/09/2019 08h:36m:25s	OFF	47%	48%	46%
30/09/2019 10h:06m:36s	OFF	46%	47%	43%
30/09/2019 11h:36m:46s	OFF	45%	46%	41%
<u>30/09/2019 13h:06m:58s</u>	<u>ON</u>	45%	46%	40%
30/09/2019 13h:07m:32s	OFF	46%	46%	43%
30/09/2019 14h:37m:36s	OFF	45%	48%	41%
<u>30/09/2019 16h:07m:44s</u>	<u>ON</u>	41%	46%	39%
<u>30/09/2019 16h:08m:26s</u>	<u>ON</u>	42%	47%	41%
<u>30/09/2019 16h:09m:00s</u>	<u>ON</u>	43%	49%	42%
<u>30/09/2019 16h:09m:34s</u>	<u>ON</u>	42%	51%	43%
<u>30/09/2019 16h:10m:07s</u>	<u>ON</u>	42%	51%	43%
<u>30/09/2019 16h:10m:41s</u>	<u>ON</u>	42%	51%	43%
30/09/2019 16h:11m:15s	OFF	43%	51%	43%
30/09/2019 17h:41m:19s	OFF	47%	49%	43%
30/09/2019 19h:11m:23s	OFF	47%	49%	44%
30/09/2019 20h:41m:32s	OFF	48%	49%	45%
30/09/2019 22h:11m:42s	OFF	48%	49%	46%
30/09/2019 23h:41m:53s	OFF	48%	49%	46%

A segunda coluna da Tabela 3 apresenta a situação da válvula solenóide, variando entre ON e OFF (ON para irrigando e OFF para não irrigando). As demais colunas (3, 4 e 5) apresentam os valores da umidade do solo (%) para cada um dos sensores.

Com base nos dados coletados no dia 30/09/2019, foram elaboradas as curvas de umidade do solo, para cada um dos sensores (Figuras 28, 29 e 30).

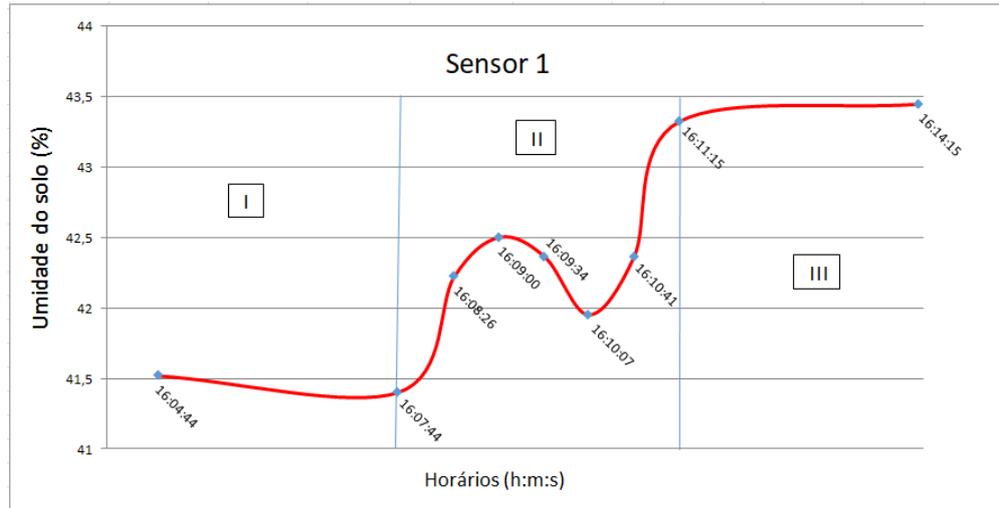


Figura 28 - Curva irrigação sensor 1
Fonte: Autor, 2019.

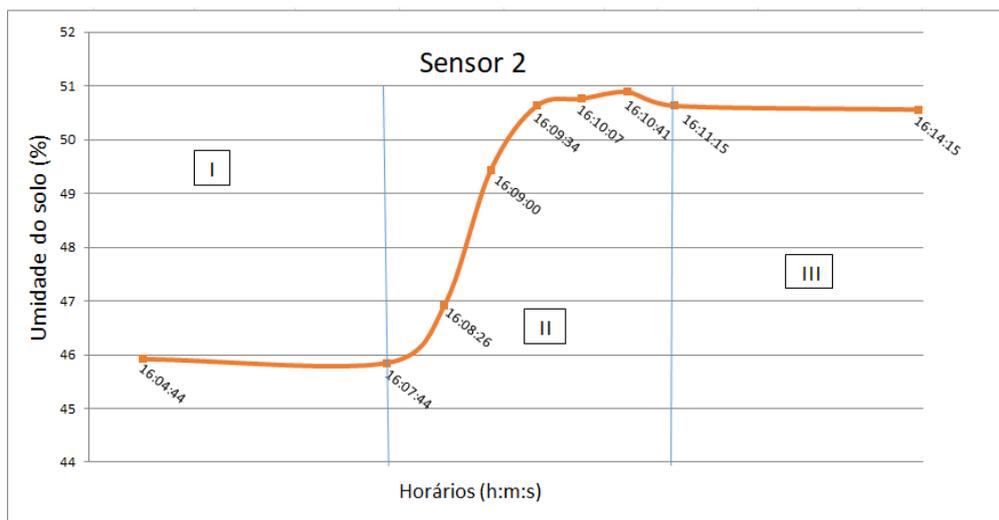


Figura 29 - Curva irrigação sensor 2
Fonte: Autor, 2019.

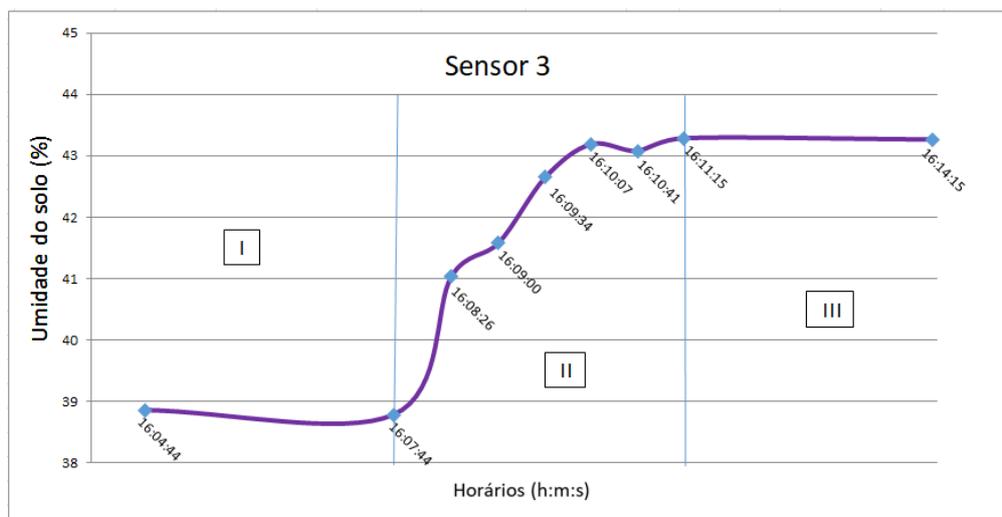


Figura 30 - Curva irrigação sensor 3

Fonte: Autor, 2019.

As curvas apresentam nas abcissas os horários das coletas dos dados, e nas ordenadas os valores das umidades do solo (%). Para o desenvolvimento das curvas foram interpolados os valores iniciais e finais, visto que o período de coleta das informações acontece a cada 1h:30m, quando não ocorre a irrigação. Foram ajustados os valores para três minutos antes e depois da irrigação, como pode ser visualizado nas etapas I e III, respectivamente.

Conforme pode ser observado nos gráficos, o início da irrigação ocorreu às 16h:07m:44s, terminando às 16h:11m:15s, ou seja, aproximadamente 4 minutos de irrigação. Nesse período, pode-se notar que os sensores 2 e 3 possuem comportamentos similares. O sensor 2 inicia a irrigação quando a umidade do solo se encontra próximo à 46%, e termina quando chega a mais ou menos 51% de umidade. O sensor 3, nesse período, é o sensor que se encontra com menor umidade, 39% aproximadamente, finalizando a irrigação próximo a 43% de umidade.

É interessante verificar o comportamento do sensor 1, que inicia o processo de irrigação com a umidade do solo em torno de 41% e finaliza por volta de 43%. No entanto, no período intermediário, esse sensor apresenta uma variação acentuada de umidade, indicando, possivelmente, uma falha na leitura do mesmo.

4.1.4 Custo do produto desenvolvido

No desenvolvimento do projeto, procurou-se utilizar materiais de baixo custo, com o intuito de que pequenos e médios agricultores tenham acesso a ele. A Tabela 4 apresenta uma relação dos custos de todos os dispositivos utilizados no projeto.

Tabela 4 - Custo do projeto

Material	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Raspberry PI 3	115,50	1	115,50
MCP3008	26,90	1	26,90
Válvula solenoide	40,13	1	40,13
Relé	7,90	1	7,90
Caixa plástica	45,00	1	45,00
Mangueira	15,00	1	15,00
Sensor umidade solo	13,01	3	39,03
Gotejador	0,45	3	1,35
		Total (R\$)	290,81

Portanto, para a construção desse projeto foi gasto R\$ 290,81.

5 CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um sistema de automação para irrigação localizada, utilizando-se um microcontrolador *Raspberry PI*, sensores de umidade do solo capacitivos, válvula solenóide e gotejadores.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, mostrando que o sistema desenvolvido foi efetivo no controle dos períodos de irrigação estabelecidos para a cultura.

Foi possível calibrar os sensores, definir o tipo de manejo adequado para a cultura e desenvolver o sistema de automação, a partir da integração de todos os componentes (sensores e atuadores). Foi desenvolvido também o software de monitoramento e o aplicativo móvel para acompanhamento do processo de irrigação.

Por fim, com o sistema de automação de baixo custo, foi possível manter a umidade do solo adequada aos parâmetros programados, evitando-se eventuais déficits ou excessos de água para a cultura em estudo.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar outros tipos de revestimentos para os componentes eletrônicos dos sensores, visto que o material testado não apresentou resultados satisfatórios;
- Após um revestimento adequado nos sensores, utilizar o sistema de automação com os sensores em diferentes profundidades do solo;
- Determinar a influência da temperatura (solo e ambiente) nos sensores de umidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUBAKAR, M. S.; ATTANDA, M. L. The Concept of Sustainable Agriculture: Challenges and Prospects. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 53, n. 1, p. 12001, 2013. Disponível em: <http://stacks.iop.org/1757-899X/53/i=1/a=012001>.

ADAFRUIT. **MCP3008**. 2019. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-analog-to-digital-converters/mcp3008>. Acesso em: 06 maio 2019.

ALBUQUERQUE, F. S; SILVA, E. F. F; ALBULQUERQUE FILHO, J. A. C; LIMA, G. S. NECESSIDADE HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTIVO DO PIMENTÃO FERTIRRIGADO. **Irriga, Botucatu**, Botucatu, v. 17, n. 1, p.481-493, out. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/73949/2-s2.0-84872250962.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 mar. 2019.

ALIBABA. **Xiaomi Redmi 4 Prime 3GB 32GB**. Disponível em: https://www.alibaba.com/product-detail/Good-price-redmi-all-phone-with_60584508878.html. Acesso em: 13 maio 2019.

ALVES, M.C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terraplano e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, SP**. Ilha Solteira. 2001. Ilha Solteira: UNESP, 83p. Tese Livre Docente

AMAZON. **Placa Raspberry PI 3 Model B Quadcore 1.2ghz 1Gb Wifi Bluetooth**. 2019. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Placa-Raspberry-Quadcore-1-2ghz-Bluetooth/dp/B01CD5VC92>. Acesso em: 05 mai. 2019.

ANDRADE JUNIOR, A. S; RODRIGUES, B. H. N; BASTOS, E. A; SILVA C. R. **Seleção de métodos e avaliação do desempenho de sistemas de irrigação pressurizados**. Teresina: Embrapa Meio-norte, 2005. 44 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/68910/selecao-de-metodos-e-avaliacao-do-desempenho-de-sistemas-de-irrigacao-pressurizados>. Acesso em: 01 jul. 2018.

ARAÚJO, N. **Irrigação subterrânea: 7 dicas para garantir uma produção mais eficiente**. 2016. Disponível em: <https://sfagro.uol.com.br/irrigacao-subterranea-qualidade>. Acesso em: 08 jul. 2018.

ARDUINO. **Introduction**. 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 02 jul. 2018.

ASAWA, G. L. **Irrigation and Water Resources Engineering**. New Delhi: Newage International (p) Limited, Publishers, 2008. 623 p. Disponível em: [https://fcaib.edu.ng/books/Engineering/Irrigation and Water Resources - G.L. Asawa.pdf](https://fcaib.edu.ng/books/Engineering/Irrigation%20and%20Water%20Resources%20-%20G.L.%20Asawa.pdf). Acesso em: 02 jul. 20018.

AYARS, J. E.; PHENE, C. J; HUTMACHER, R. B; DAVIS, K. R; SCHONEMAN, R. A; VAIL, S. S; MEAD, R. M. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agricultural Water Management**, v. 42, n. 1, p. 1–27, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377499000256>.

AZEVEDO, J. A. **Controle da Irrigação para Uso Racional de Água e de Energia**. Planaltina: Embrapa, 2002. 4 p. Disponível em: http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2002/comtec/comtec_83.pdf. Acesso em: 02 jul. 2018.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. **TENSIÔMETRO: DISPOSITIVO PRÁTICO PARA CONTROLE DA IRRIGAÇÃO**. 1999. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76016/1/cirtec-01.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

BEER, D.; PENFOLD-MOUNCE, R. Celebrity Gossip and the New Melodramatic Imagination. **Sociological Research Online**, v. 14, n. 2, p. 1–12, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5153/sro.1878>.

BEUTLER, A. N; CENTURIOM, J. F; SOUZA, Z. M; ANDRIOLI, I; ROQUE, C. G. et al . Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002 . Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BIOSEMENTES. **Gotejador autocompensante**. Disponível em: <https://www.biosementes.com.br/loja/item/Gotejador-autocompensante-idrop-PC-2%2C2-L%7B47%7Dh-pacote-com-10-pecas.html>. Acesso em: 13 maio 2019.

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>.

BRUINSMA, J. **The resource outlook to 2050**: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? 2009. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-ak971e.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018.

BUSKE, T. C; ROBAINA, A. D; PEITER, M. X; TORRES, R. R; ROSSO, R. B; BRAGA, F. V. A. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO POR DIFERENTES FONTES DE AQUECIMENTO. **Irriga, Botucatu**, Botucatu, v. 2, n. 19, p.315-324, jun. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280768121_DETERMINACAO_DA_UMIDA_DE_DO_SOLO_POR_DIFERENTES_FONTES_DE_AQUECIMENTO. Acesso em: 12 mar. 2019.

CARLESSO, R. *et al.* Estimativa do consumo de água das culturas. *In*: CARLESSO, R. *et al.* **Usos e benefícios da coleta automática de dados meteorológicos na agricultura**. Santa Maria: UFSM, 2007. Cap. 7. p. 77-100.

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.

CHUKALLA, A. D.; KROL, M. S.; HOEKSTRA, A. Y. Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: Effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 12, p. 4877–4891, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-19-4877-2015>.

COELHO, E. F; OLIVEIRA, A. M. G; SILVA, J. G. F; COELHO FILHO, M. A; CRUZ, J. L. **Irrigação e fertirrigação na cultura do mamão**. Brasília: Livraria Embrapa, 2011. 32 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55939/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap15.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018.

COELHO, E. F; SILVA, T. S. M; SANTANA JUNIOR, E. B; PARIZOTTO, I. **Método simplificado de determinação da umidade do solo para uso em manejo de irrigação em agricultura familiar**. Cruz das Almas, Ba: Embrapa, 2013. 4 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94110/1/ComunicadoTecnico-155.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

COLLARES, G. L; REINERT, D. J; REICHERT, J. M; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, Nov. 2006. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006001100013>. Acesso em 12 mar. 2019.

COSTA, M.C. **Efeito de diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade na cultura do meloeiro**. Botucatu, 1999. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

COUTO, L; SANS, L. M. A. **Requerimento de Água das Culturas**. 2002. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/circul20ID-UoAGww7j62.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

D'ÁVILA, J. H. T. **Modelo para simulação e dimensionamento da irrigação por aspersão convencional, considerando a uniformidade de distribuição de água, o custo do sistema e a produtividade da cultura**. 2000. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7696>. Acesso em: 02 jul. 2018.

DINIZ, A. M. **SISTEMA AUTOMATIZADO DE AQUISIÇÃO, EM TEMPO REAL, DE UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NA IRRIGAÇÃO**. 2017. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel, 2017. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2995/2/AnibalM_Diniz2017.pdf. Acesso em: 19 mar. 2019.

DURSON, M. OZDEN, S. 2011. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**. Technical Education Faculty, Gazi University. Turkey. Ankara.

ELETRÔNICA, Bau da. **Relé 1 canal 5V**. Disponível em: <http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-rele-5v.html>. Acesso em: 13 maio 2019.

ELETRÔNICA, Bau da. **Valvula Solenoide para Água 12V 90°**. Disponível em: http://www.baudaeletronica.com.br/valvula-solenoide-para-agua-12v-90-x-va-09.html?gclid=EAIalQobChMI8ZfcucLi4glVW1gNCh24hwybEAQYCCABEGKm2vD_BwE. Acesso em: 11 julho 2019.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006, 306 p.

EVANS, R. G.; SADLER, E. J. Methods and technologies to improve efficiency of water use. **Water Resources Research**, v. 44, n. 7, 2007. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2007WR006200>.

EUCLIDES FILHO, K; FONTES, R. R; CONTINI, E; CAMPOS, F. A. A. **O papel da ciência e da tecnologia na agricultura do futuro**. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, p.98-111, 2011. Bimestral. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/930906/o-papel-da-ciencia-e-da-tecnologia-na-agricultura-do-futuro>. Acesso em: 02 jul. 2018.

FALKENMARK, M. Growing water scarcity in agriculture: Future challenge to global water security. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 2002, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0410>.

FAO. **How to Feed the World in 2050**. 2009. Food and Agriculture Organization. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf. Acesso em: 3 jul. 2018.

FAO. **The State of Food and Agriculture: Innovation in family farming**. 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4040e.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2018.

FARIAS, J. R. B. *et al.* Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 3, n. 9, p.415-421, dez. 2001. Disponível em: <http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap4.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FELIPEFLOP. **Sensor Capacitivo de Umidade do Solo**. 2019. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-capacitivo-de-umidade-do-solo/>. Acesso em: 14 out. 2019.

FERREIRA, E. *et al.* **Avaliação de Diferentes Tubos de Acesso para Medição da Umidade do Solo Através do Uso de Sonda de Nêutrons**. Seropédica, RJ: Embrapa, 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/624278/1/doc059.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

FERNANDES, J. N. V.; MARQUES, D. V.; NASCIMENTO, R. S.; BORGES, V. P. **Determinação de Coeficientes de Cultivo de culturas agrícolas em Uruçuí-PI com Índice Espectral de Vegetação**. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2016, Campina Grande-PB. Anais do I CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO [...], 2016. Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/conidis/trabalhos/TRABALHO_EV064_MD1_SA3_ID2278_24102016193756.pdf.

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>.

FRENZEL J., L. **Eletrônica moderna: fundamentos, dispositivos, circuitos e sistemas**. São Paulo: Mcgraw-hill, 2016.

FRIZZONE, J. A. **OS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO**. 2017. Departamento de Engenharia de Biosistemas - – ESALQ/USP. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 02 jul. 2018.

GOLDBERG, D.; SHMUELI, M. Drip Irrigation - A Method Used Under Arid and Desert Conditions of High Water and Soil Salinity. **Transactions of the ASAE**, v. 13, n. 1, p. 38, 1970. St. Joseph, MI: ASAE. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.38529>.

GOMES, E.P.; ÁVILA, M.R.; RICKLI, M.E.; PETRI, F.; FEDRI, G. Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiuá, Estado do Paraná. **Irriga, Botucatu**, v.15, n.4, p.373-385, 2010.

GONÇALVES, C. R. **Unidade de controle e automação para gestão de sistemas de irrigação utilizando energia solar e redes IEEE 802.11**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/899/2/CESAR%20RENNO%20GONCALVES.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2019.

GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 9, n. 1, p.45-50, dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/0D/rbeaa/v9n1/v9n1a07.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

GUIMARÃES, V. G. **Automação e Monitoramento de Sistemas de Irrigação na Agricultura**. Brasília, Fevereiro 2011.

GULCH, C. **Movement seeks to bring back flood irrigation in some areas - Capital Press**. 2016. Disponível em: <https://coyotegulch.blog/2016/11/25/movement-seeks-to-bring-back-flood-irrigation-in-some-areas-capital-press>. Acesso em: 08 jul. 2018.

HENRIQUE, F. de A.N.; DANTAS, R.T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.594-599, 2007. DOI: 10.1590/S1415-43662007000600007.

HORNINK, G. G; HORNINK, E. N.; HENRIQUE, A. H₂O – O Ciclo da Vida. In: HORNINK, Gabriel Gerber; HORNINK, Erica Nicacio; HENRIQUE, André. **H₂O – O Ciclo da Vida**. Alfenas, Mg: Gabriel Gerber Hornink, 2016. p. 28-28.

INCTEI. **Autopropelido**. 2019. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/inctei/galeria_rotador/galeria_inctei.html. Acesso em: 06 maio 2019.

KARVINEN, K.; KARVINEN, T.; KINOSHITA, L. **Primeiros passos com sensores: perceba o mundo usando eletrônica, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2014. 160 p.

KELLEY, L. **Three phase power: The first choice for irrigation energy**. 2013. Michigan State University Extension. Disponível em: http://msue.anr.msu.edu/news/three_phase_power_the_first_choice_for_irrigation_energy. Acesso em: 02 jul. 2018.

LIVRE, M. **Caixa Organizadora Sanremo Sr961 48 Litros Com Tampa E Trava**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1230643682-caixa-organizadora-sanremo-sr961-48-litros-com-tampa-e-trava-_JM?quantity=1&variation=37055401642#position=1&type=item&tracking_id=327f81bf-ff82-4aad-81c9-a90955ea4126/. Acesso em: 14 out. 2019.

LONGO, L. **INTERNET DAS COISAS: USO DE SENSORES E ATUADORES NA AUTOMAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESIDENCIAL**. 2015. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5899/1/PB_COENC_2015_2_02.pdf. Acesso em: 01 abr. 2019.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELO, J. M.; DE JUAN, J. A.; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 190–198, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.006>.

LOPULISA, C.; RISMANESWATI; RAMLAN, A.; SURYANI, I. The emerging roles of agricultural insurance and farmers cooperatives on sustainable rice productions in

Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 157, p. 012070, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/157/1/012070>.

LUCAS, J. F. R. **Obtenção da curva de retenção da água no solo pela câmara de compressão triaxial e pelo papel filtro**. 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel, 2010. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2782/1/Juliana%20Fenner%20Ruas%20Lucas.pdf>.

LUCENA, V.; NEVES, C. & DUARTE, L. & VIANA, N. 2007. **OS DEZ MAIORES DESAFIOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: AS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO**.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.. Coeficiente de cultura do meloeiro irrigado com água salina estimado por modelo matemático. **Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p.1273-1278, ago. 2008.

MARSCZAOKOSKI, F. G.; CRUZ, R. P.; SILVA, W. A. **SISTEMA MICROCONTROLADO DE IRRIGAÇÃO APLICADO A MORANGUEIROS**. 2013. 199 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica/automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_1_07/2012_1_07_final.pdf. Acesso em: 18 mar. 2019.

MARTÍNEZ, J.; RECA, J. Water use efficiency of surface drip irrigation versus an alternative subsurface drip irrigation method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 140, n. 10, 2014. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84926363290&doi=10.1061%2F%28ASCE%29IR.1943-4774.0000745&partnerID=40&md5=4c8530ff7aaf7250fc5b95ff267956b5>.

MEDEIROS, P. H. S. **SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO PARA PLANTAS CASEIRAS**. 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2018. Disponível em: http://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1199/1/MONOGRRAFIA_SistemaIrriga%C3%A7%C3%A3oAutomatizado.pdf. Acesso em: 18 mar. 2019.

MEYER, G. L. **Controle de sistemas de irrigação com monitoramento via programação**. 2005. 79 f. Monografia de graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

MIRANDA, E. P; MARTINS; G. S; CARMO; F. F; LIMA; L. D. P; SILVA; F. M. **Uso do forno de microondas na determinação da umidade de um solo francosiltoso**. In: IV WINOTEC WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO. Inovagri, Fortaleza, 2012.

MONK, S. **Raspberry Pi Cookbook**. United States Of America: O'reilly Media, 2014.

MORAES, M. J; OLIVEIRA FILHO, D; VIEIRA, G. H. S; SCARCELLI, R. O. C. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p.875-882, set. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662011000900001>.

MORANDO, R; SILVA, A. O; CARVALHO, L. C; PINHEIRO, M. P. M. DÉFICIT HÍDRICO: EFEITO SOBRE A CULTURA DA SOJA. **Journal Of Agronomic Sciences, Umuarama**, v. 3, n. 1, p.114-129, 2014. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V3NE/10.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

NAANDANJAIN. **Jain Irrigation vence concorrência de Micro irrigação na Índia**. 2018. Disponível em: <https://naandanjain.com.br/jain-irrigation-vence-concorrenca>. Acesso em: 08 jul. 2018.

OLIVEIRA, L. F. C.; ROQUE, C. G. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, Mg, v. 3, n. 4, p.60-64, out. 2016.

OLIVEIRA, P. A; SIMON, E. J. O consumo de energia elétrica produtiva e o valor produção agropecuária na região de Botucatu. **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 5., 2004, Campinas. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200024&lng=en&nrm=abn.

OLIVEIRA, S. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2017. 240 p.

OLIVEIRA, V. **Irrigação por Gotejamento**. 2016. Disponível em: <http://agronegociointerior.com.br/irrigacao-por-gotejamento>. Acesso em: 08 jul. 2018.

OXER, J.; BLEMINGS, H. **Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware (Technology in Action)**. United States Of America: Apress, 2009.

PACHECO, F. P. **Água residuária de suinocultura aplicada em cobertura na cultura do milho com cultivo sequencial de aveia preta**. 2012. 67 f. dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2012.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, L. S. Water, Agriculture and Food: Challenges and Issues. **Water Resources Management**, v. 31, n. 10, p. 2985–2999, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1664-z>.

PERRONI, B.L.T.; FARIA, L.C.; CARVALHO, J.A.; OLIVEIRA, H.F.E. Influência do custo da energia elétrica e do material da tubulação na velocidade econômica de bombeamentos. **Irriga**, Botucatu, v.20, n. 1, p. 13-20. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n1p13>.

PETRY, M. T; ZIMMERMANN, F. L; CARLESSO, R; MICHELON, C. J; KUNZ, J. H. DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO AO MILHO CULTIVADO SOB SISTEMAS DE SEMEADURA DIRETA E PREPARO CONVENCIONAL. **R. Bras. Ci. Solo**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p.531-539, maio 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n3/a13v31n3.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

PIHUT. **MCP3008 - 8-Channel 10-Bit ADC With SPI Interface**. 2019. Disponível em: <https://thepihut.com/products/adafruit-mcp3008-8-channel-10-bit-adc-with-spi-interface>. Acesso em: 06 maio 2019.

RASPBERRY PI. **WHAT IS A RASPBERRY PI?** 2018. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi>. Acesso em: 02 jul. 2018.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, v.121, p.1-18, 2013. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.12.019.

REIS, J. S. **SISTEMA DE CONTROLE APLICADO À AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**. 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6523/8/CP_COAUT_2015_1_05.pdf. Acesso em: 18 mar. 2019.

RIBEIRO, M. A. **Automação industrial**. 4. ed. Salvador: Tek, 1999. 498 p.

RODIĆ, A. D. **Automation And Control, Theory And Practice**. India: Intech, 2009.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. Santa Maria: Ctism - Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2016. 102 p. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18451/material/rte_automacao_industrial.pdf. Acesso em: 01 jul. 2018.

ROSSATO, L. **ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO DO BRASIL**. 2002. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Inpe, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2003/08.21.10.48/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SAAVEDRA, O. F. C. **ESTIMATIVA DA UMIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI E DE LST NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA ILHA DO BANANAL**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/07.13.21.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2019.

SAMMIS, T.W. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.5, p.701-4, 1980.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. DÉFICIT HÍDRICO E OS PROCESSOS MORFOLÓGICO E FISIOLÓGICO DAS PLANTAS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p.287-294. 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SANTOS, V. **O uso eficiente do Pivot Central em Marrocos**. 2015. Disponível em: <https://www.irrigacao.net/pivot/o-uso-eficiente-do-pivot-central-em-marrocos>. Acesso em: 06 maio 2019.

SILVA, L. R. *et al.* **COMPARAÇÃO DO MÉTODO DA ESTUFA COM MÉTODO DO FORNO ELÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO FEIJÃO CARIOCA TIPO 1**. 2018. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sicaracuai/81707-comparacao-do-metodo-da-estufa-com-metodo-do-forno-eletrico-para-determinacao-da-umidade-do-feijao-carioca-tipo-1>. Acesso em: 02 maio 2019.

SILVA, E. L.; GERVÁSIO, E. S. USO DO INSTRUMENTO TDR PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM DIFERENTES CAMADAS DE UM LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Pb, v. 3, n. 3, p.417-420, jan. 1999. Disponível em: <http://agriambi.com.br/revista/v3n3/417.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SILVA, D. G; ESTEVES, B. S; PAES, H. M. F; SOUSA; E. F. **IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO**. 2012. Disponível em: http://www.microbacias.rj.gov.br/conteudo/compartilhados/pesquisa_participativa_apoio_tecnico/33%20-%20Irriga%C3%A7%C3%A3o%20por%20Aspers%C3%A3o.pdf. Acesso em: 06 maio 2019.

SOUZA FILHO, J. L. M; GOMES, Siguifrid. Avaliação e desempenho de equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decenal irrigacionista. **Acta Sci. Agron**, Maringá, v. 4, n. 29, p.433-443, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/html/3030/303026575001>. Acesso em: 12 mar. 2019.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. D. A.; RASSINI, J. B. **Determinação de matéria seca e umidade em solos e plantas com uso de forno de microondas doméstico**. EMBRAPA: Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP. 2002, 9p.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Feagri - Faculdade de Engenharia Agrícola, 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.

TESTEZLAF, R. **Sistemas Automáticos de Controle em Irrigação**. UNICAMP. Disponível em: <http://webensino.unicamp.br/disciplinas/FA876-055506/apoio/14/Automa.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2013.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 50, p. 20260–4, 2011. National Academy of Sciences. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.

TOCCI, R. J; WIDMER, N. S; MOSS, G. L. **Sistemas Digitais, princípios e aplicações**. 10 edição. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2007.

TOLEDO, E.; TONI, F. **Existe um processo de esvaziamento populacional nas regiões rurais brasileiras?**. Revista do Desenvolvimento Regional - Faccat, Taquara, Rs, v. 13, n. 1, p.89-107, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26767/coloquio.v13i1.381>.

TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G. S.; PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 311-320, June 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000200014>.

UNGER, P.W.; CASSEL, D.K. Tillage implement disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. **Soil Tillage Research**, v.19, p.363-382, 1991.

XU, M.; BAI, X.; PEI, L.; PAN, H. A research on application of water treatment technology for reclaimed water irrigation. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 35, p. 15930–15937, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.020>.

ANEXO A - CÓDIGO FONTE - RASPBERRY PI

```
#!/usr/bin/python
# -*- coding: utf-8 -*-
#author Diogo Giomo

from gpiozero import MCP3008
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import datetime
import requests
import sqlite3
import sys

conn=sqlite3.connect('/home/pi/Desktop/mestrado/client_raspberry/database/automation.db')

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

sensor_1 = MCP3008(1)
sensor_2 = MCP3008(2)
sensor_3 = MCP3008(3)

SERVER_ADDRESS = 'https://app-212.herokuapp.com'

PIN_RELE_SOLENOID = 18

TURN_ON_RELE = 0
TURN_OFF_RELE = 1

GPIO.setup(PIN_RELE_SOLENOID, GPIO.OUT)

GPIO.output(PIN_RELE_SOLENOID, TURN_OFF_RELE)

INITIAL_DELAY_SYSTEM = 30

DELAY_READ_SENSORES_WHEN_SOLENOID_OFF = 5400
DELAY_READ_SENSORES_WHEN_SOLENOID_ON = 30

SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR = 0
SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR_LIMIT = 1200

S1 = {'start' : 434, 'stop' : 412}
S2 = {'start' : 445, 'stop' : 422}
S3 = {'start' : 341, 'stop' : 313}
```

```

def read_sensors_first_time():
    sensor_1_v = sensor_1.raw_value
    sensor_2_v = sensor_2.raw_value
    sensor_3_v = sensor_3.raw_value

    check_sensors_values(sensor_1_v, sensor_2_v, sensor_3_v)

def read_sensors():

    if GPIO.input(PIN_RELE_SOLENOID) == TURN_OFF_RELE:
        time.sleep(DELAY_READ_SENSORES_WHEN_SOLENOID_OFF)

        sensor_1_v = sensor_1.raw_value
        sensor_2_v = sensor_2.raw_value
        sensor_3_v = sensor_3.raw_value
        check_sensors_values(sensor_1_v, sensor_2_v, sensor_3_v)
    else:
        global SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR
        SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR = SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR +
DELAY_READ_SENSORES_WHEN_SOLENOID_ON
        print ('SOLENOID_ACCUMULATOR' + ': ' +
str(SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR))

        if SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR >= SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR_LIMIT:
            GPIO.output(PIN_RELE_SOLENOID, TURN_OFF_RELE)
            sys.exit()

        time.sleep(DELAY_READ_SENSORES_WHEN_SOLENOID_ON)

        sensor_1_v = sensor_1.raw_value
        sensor_2_v = sensor_2.raw_value
        sensor_3_v = sensor_3.raw_value
        check_sensors_values(sensor_1_v, sensor_2_v, sensor_3_v)

def check_sensors_values (sensor_1_v, sensor_2_v, sensor_3_v):
    print('sensor_1: ' + str(sensor_1_v))
    print('sensor_2: ' + str(sensor_2_v))
    print('sensor_3: ' + str(sensor_3_v))

    dateAndTime = datetime.datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")

    if ((sensor_1_v >= S1['start']) or
        (sensor_2_v >= S2['start']) or
        (sensor_3_v >= S3['start'])):

```

```

        GPIO.output(PIN_RELE_SOLENOID, TURN_ON_RELE)
    elif ((sensor_1_v <= S1['stop']) and
          (sensor_2_v <= S2['stop']) and
          (sensor_3_v <= S3['stop'])):
        GPIO.output(PIN_RELE_SOLENOID, TURN_OFF_RELE)
    global SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR
    SOLENOID_TIME_ACCUMULATOR = 0

save_in_database('SENSOR_1', sensor_1_v, dateAndTime)
save_in_database('SENSOR_2', sensor_2_v, dateAndTime)
save_in_database('SENSOR_3', sensor_3_v, dateAndTime)

send_data_to_server('SENSOR_1', sensor_1_v, dateAndTime)
send_data_to_server('SENSOR_2', sensor_2_v, dateAndTime)
send_data_to_server('SENSOR_3', sensor_3_v, dateAndTime)

if GPIO.input(PIN_RELE_SOLENOID) == TURN_ON_RELE:
    save_in_database('SOLENOID', 'ON', dateAndTime)
    send_data_to_server('SOLENOID', 'ON', dateAndTime)
else:
    save_in_database('SOLENOID', 'OFF', dateAndTime)
    send_data_to_server('SOLENOID', 'OFF', dateAndTime)

def save_in_database(collection, value, dateAndTime):
    try:
        curs=conn.cursor()

        obj = (str(value), dateAndTime);
        curs.execute("""insert into """ + collection.lower() + """(value,
date) values (?,?)""", obj)
        conn.commit()
        curs.close()
    except Exception as e:
        print (e)

def send_data_to_server(collection, value, dateAndTime):
    try:
        response = requests.post(SERVER_ADDRESS, json={
            'collection':collection,
            'value': value,
            'date': dateAndTime
        }, timeout = 10)
        print(response.status_code)

```

```
except Exception as e:  
    print (e)  
  
def init():  
    time.sleep(INITIAL_DELAY_SYSTEM)  
    read_sensors_first_time();  
    while True:  
        read_sensors()  
  
init()
```

ANEXO B - CÓDIGO FONTE - SERVIDOR

```
const express = require('express');
const bodyParser = require('body-parser');
const cors = require('cors');
const app = express();
app.use(bodyParser.json());

app.use(cors());

const MongoClient = require('mongodb').MongoClient;
const ObjectID = require('mongodb').ObjectID;

const uri = 'mongodb://admin:*****.mlab.com:****/irrigation';
let db = null;

MongoClient.connect(uri, { useNewUrlParser: true }, (err, client) => {
  if (err) return console.log(err);

  db = client.db('irrigation');

  let port = process.env.PORT;
  if (port == null || port == '') {
    port = 3000;
  }

  app.listen(port, () => {
    console.log('ExpressJS: Port: 3000');
  });
});

app.get('/:collection', (req, res) => {
  const collection = req.params.collection;
  db.collection(collection).find({}).toArray(function (err, result) {
    if (err) throw err;
    res.send(result);
  });
});
});
```

```

app.get('/:collection/:limit', (req, res) => {
  const collection = req.params.collection;
  const limit = parseInt(req.params.limit);

  db.collection(collection).aggregate([
    $project: {
      value: true,
      collection: true,
      date: {
        $dateFromString: {
          dateString: '$date'
        }
      }
    }
  ], { $sort: { date: -
1 } }, { $limit: limit }]).toArray(function (err, result) {
  if (err) throw err;
  res.send(result);
});
});

app.post('/', (req, res) => {
  const data = req.body;
  const collection = data.collection;
  if (collection) {
    db.collection(collection).insertOne(data, (err, result) => {
      res.send(data);
    })
  }
});

```

ANEXO C - IMAGENS DO APLICATIVO

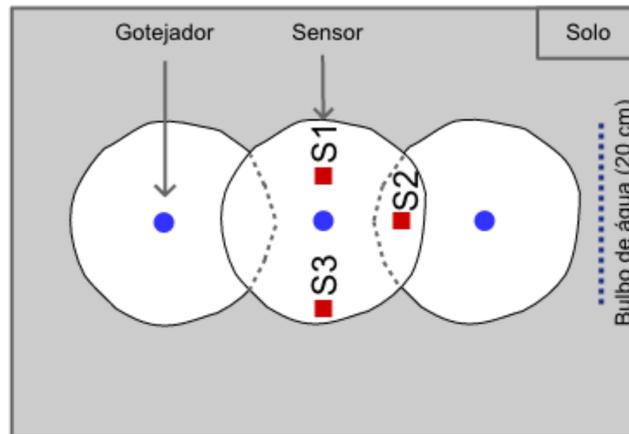
The screenshot shows a mobile application interface with a blue header bar. The header bar contains the time '8:09' on the left and signal, Wi-Fi, and battery icons on the right. Below the header, the text 'Dias de irrigação' is centered. The main content area displays a list of irrigation events, each consisting of a date and an irrigation time, with a blue water drop icon to the right of each entry. The events are listed in descending chronological order.

Data	Tempo de irrigação	
23/10/2019	01:00 Minuto(s)	
18/10/2019	00:30 Minuto(s)	
13/10/2019	01:30 Minuto(s)	
12/10/2019	00:30 Minuto(s)	
11/10/2019	00:30 Minuto(s)	
10/10/2019	01:00 Minuto(s)	
09/10/2019	00:30 Minuto(s)	
07/10/2019	01:00 Minuto(s)	



Posição dos sensores

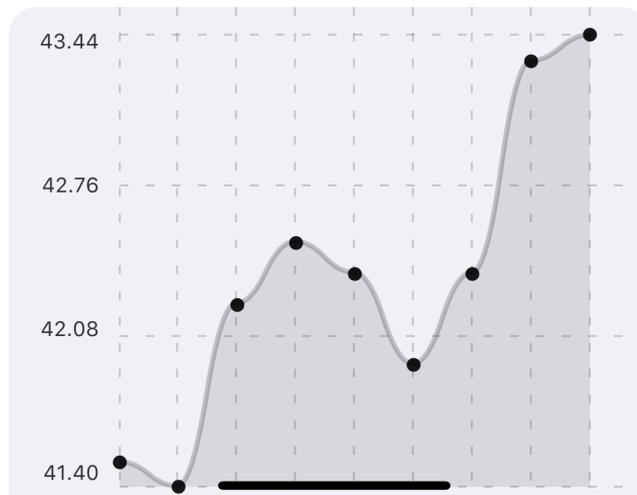
Comprimento (65 cm)



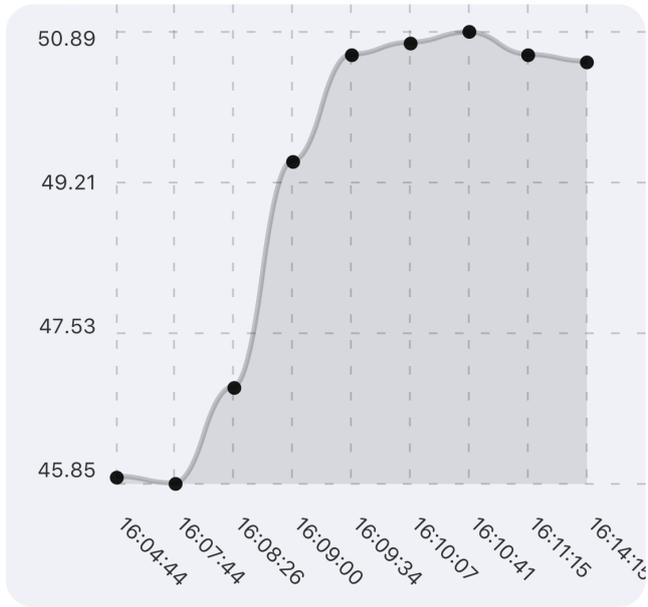
Caixa plástica

Umidade (%) x Tempo (HH:mm:ss)

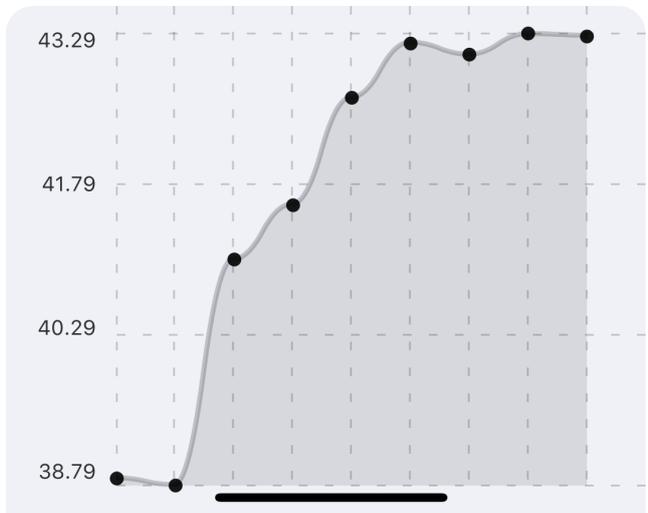
Sensor 1



Sensor 2



Sensor 3



ANEXO D - CÓDIGO FONTE - APLICATIVO

```
import React, { useCallback, useState, useEffect } from "react";
import {
  StyleSheet,
  FlatList,
  View,
  Text,
  ScrollView,
  TouchableHighlight,
  Dimensions,
  Image
} from "react-native";
import axios from "react-native-axios";
import Icon from "react-native-vector-icons/FontAwesome";

import { LineChart } from "react-native-chart-kit";
import { Header } from 'react-native-elements';

const VIEW = {
  LIST: "LIST",
  CHARTS: "CHARTS"
};

const SENSOR = {
  SENSOR_1: "S1",
  SENSOR_2: "S2",
  SENSOR_3: "S3"
};

export default function List() {
  const [view, setView] = useState(VIEW.LIST);
  const [items, setItems] = useState([]);
  const [solenoidData, setSolenoidData] = useState(new Map());
  const [s1Data, setS1Data] = useState([]);
  const [s1ChartData, setS1ChartData] = useState({ x: [], y: [] });
  const [s2Data, setS2Data] = useState([]);
  const [s2ChartData, setS2ChartData] = useState({ x: [], y: [] });
  const [s3Data, setS3Data] = useState([]);
  const [s3ChartData, setS3ChartData] = useState({ x: [], y: [] });
  const [currentDate, setCurrentDate] = useState('')
```

```

const onPressItem = date => {
  setS1ChartData(getChartData(date, s1Data, SENSOR.SENSOR_1));
  setS2ChartData(getChartData(date, s2Data, SENSOR.SENSOR_2));
  setS3ChartData(getChartData(date, s3Data, SENSOR.SENSOR_3));
  setCurrentDate(date);
  setView(VIEW.CHARTS);
};

function getChartData(date, sensorData, sensor) {
  const finalSDates = [];
  const items = solenoidData.get(date);
  for (let item of items) {
    const filtered = sensorData.filter(itemF => itemF.date === item.date)
[0];
    if (filtered) finalSDates.push(filtered);
  }
  const chartS = getSensorStructure(finalSDates, sensor);
  const x = chartS.map(item => item.dateChart).reverse();
  const y = chartS.map(item => item.value).reverse();
  return { x, y };
}

async function fetchSolenoidData() {
  const result = await axios(
    "https://app-212.herokuapp.com/SOLENOID/"
  );

  const solenoidData = getSolenoidStructure(result.data);
  const items = [];
  for (key of solenoidData.keys()) {
    items.push({ key });
  }
  setSolenoidData(solenoidData);
  setItems(items);
}

async function fetchS1Data() {
  const result = await axios(
    "https://app-212.herokuapp.com/SENSOR_1/"
  );

```

```

    );
    const s1 = result.data;
    const dataS1WithDateSorted = getOnlyDate(s1).sort(function (a, b) {
      new Date(b.date) - new Date(a.date);
    });
    setS1Data(dataS1WithDateSorted);
  }

  async function fetchS2Data() {
    const result = await axios(
      "https://app-212.herokuapp.com/SENSOR_2/"
    );
    const s2 = result.data;
    const dataS2WithDateSorted = getOnlyDate(s2).sort(function (a, b) {
      new Date(b.date) - new Date(a.date);
    });
    setS2Data(dataS2WithDateSorted);
  }

  async function fetchS3Data() {
    const result = await axios(
      "https://app-212.herokuapp.com/SENSOR_3/"
    );
    const s3 = result.data;
    const dataS3WithDateSorted = getOnlyDate(s3).sort(function (a, b) {
      new Date(b.date) - new Date(a.date);
    });
    setS3Data(dataS3WithDateSorted);
  }

  useEffect(() => {
    fetchSolenoidData();
    fetchS1Data();
    fetchS2Data();
    fetchS3Data();
  }, []);

  function getOnlyDate(values) {
    return values.map(item => {
      const date_ = item.date.split("T")[0];

```

```

    return {
      ...item,
      date_
    };
  });
}

function getSolenoidStructure(dataSolenoid) {
  const dataSolenoidWithDateSorted = getOnlyDate(dataSolenoid).sort(function (
    a,
    b
  ) {
    new Date(b.date) - new Date(a.date);
  });

  const dateKeys = new Set(
    dataSolenoidWithDateSorted.map(item => item.date_)
  );

  const dataMap = new Map();

  for (let itemSet of dateKeys.values()) {
    const filteredData = dataSolenoidWithDateSorted.filter(
      item => item.date_ === itemSet
    );

    const filteredDataON = filteredData.filter(
      (item, index) => (item.value === "ON")
    );
    if (filteredDataON.length === 0) {
      continue;
    }

    const filteredDataONSize = filteredDataON.length;

    const firstON = filteredDataON[0];
    const lastON = filteredDataON[filteredDataONSize - 1];

    const indexFirstON = dataSolenoidWithDateSorted

```

```

    .map(item => item.date)
    .indexOf(firstON.date);
const indexLastON = dataSolenoidWithDateSorted
    .map(item => item.date)
    .indexOf(lastON.date);

let arrFinalSolenoidData = [];

arrFinalSolenoidData.push(dataSolenoidWithDateSorted[indexFirstON -
2]);
arrFinalSolenoidData.push(dataSolenoidWithDateSorted[indexFirstON -
1]);
arrFinalSolenoidData = [...arrFinalSolenoidData, ...filteredDataON];
arrFinalSolenoidData = [
    ...arrFinalSolenoidData,
    dataSolenoidWithDateSorted[indexLastON + 1]
];

dataMap.set(itemSet, arrFinalSolenoidData);
}
return dataMap;
}

function getSensorStructure(dataSensor, sensor) {
    let filteredData = dataSensor.map(item => {
        const value = calcR(item.value, sensor);
        return {
            ...item,
            value
        };
    });

    interpolationTopItem(filteredData);
    interpolationBottomItem(filteredData);

    filteredData.shift();
    filteredData.pop();

    filteredData = filteredData.map(item => {
        return {

```

```

        ...item,
        dateChart: item.date.split("T")[1].split(".")[0]
    };
});
return filteredData;
}

function interpolationTopItem(filteredData) {
    let itemInterpolationA = filteredData[1];

    const dateInterpolationA = new Date(itemInterpolationA.date);
    dateInterpolationA.setMinutes(dateInterpolationA.getMinutes() + 3);
    filteredData.splice(1, 0, {
        ...itemInterpolationA,
        date: dateInterpolationA.toISOString()
    });

    const firstItem = filteredData[0];
    const thirdItem = filteredData[2];
    let valueInterA = interpolation(
        firstItem.value,
        thirdItem.value,
        new Date(firstItem.date).getTime(),
        dateInterpolationA.getTime(),
        new Date(thirdItem.date).getTime()
    )
        .toFixed(3)
        .slice(0, -1);

    itemInterpolationA = filteredData[1];
    filteredData.splice(1, 1);
    filteredData.splice(1, 0, {
        ...itemInterpolationA,
        value: valueInterA
    });
}

function interpolationBottomItem(filteredData) {
    const filteredDataSize = filteredData.length;
    let itemInterpolationB = filteredData[filteredDataSize - 2];

```

```

const dateInterpolationB = new Date(itemInterpolationB.date);
dateInterpolationB.setMinutes(dateInterpolationB.getMinutes() - 3);
filteredData.splice(filteredData.length - 1, 0, {
  ...itemInterpolationB,
  date: dateInterpolationB.toISOString()
});

const firstInverseItem = filteredData[filteredDataSize];
const thirdInverseItem = filteredData[filteredDataSize - 2];

let valueInterB = interpolation(
  firstInverseItem.value,
  thirdInverseItem.value,
  new Date(firstInverseItem.date).getTime(),
  dateInterpolationB.getTime(),
  new Date(thirdInverseItem.date).getTime()
)
  .toFixed(3)
  .slice(0, -1);

itemInterpolationB = filteredData[filteredData.length - 2];

filteredData.splice(filteredDataSize - 1, 1);
filteredData.splice(filteredDataSize - 1, 0, {
  ...itemInterpolationB,
  value: valueInterB
});
}

function roundDecimal(value) {
  return value.toFixed(3).slice(0, -1);
}

function calcR(value, sensor) {
  switch (sensor) {
    case SENSOR.SENSOR_1:
      return roundDecimal(-0.1374 * value + 99.662);
    case SENSOR.SENSOR_2:
      return roundDecimal(-0.1326 * value + 99.032);
  }
}

```

```

    case SENSOR.SENSOR_3:
      return roundDecimal(-0.1073 * value + 76.668);
    default:
      0;
      break;
  }
}

function interpolation(y1, y3, x1, x2, x3) {
  return y3 - ((x3 - x2) * (y3 - y1)) / (x3 - x1);
}

function renderChart(x, y) {
  return (
    <LineChart
      data={{
        labels: x,
        datasets: [
          {
            data: y
          }
        ]
      }}
      width={Dimensions.get("window").width - 6}
      height={350}
      chartConfig={{
        yLabelsOffset: 30,
        backgroundGradientFrom: "#eff3ff",
        backgroundGradientTo: "#efefef",
        decimalPlaces: 2,
        color: (opacity = 255) => `rgba(0, 0, 0, ${opacity})`,
        style: {
          borderRadius: 16
        }
      }}
      bezier
      style={{
        marginVertical: 8,
        borderRadius: 16
      }}

```

```

        verticalLabelRotation={45}
      />
    );
  }

function renderTextChart(text) {
  return (
    <View
      style={{
        flex: 1,
        alignItems: "center"
      }}
    >
      <Text
        style={{
          fontSize: 22,
          color: "#797C84"
        }}
      >
        {text}
      </Text>
    </View>
  );
}

function getIrrigationTime(data) {
  const seconds = data.filter(item => item.value === "ON").length * 30;
  return `${new Date(seconds * 1000).toISOString().substr(14, 5)} Minuto(
s)`;
}

function formatPtBrDate(date) {
  return new Date(date)
    .toISOString()
    .substr(0, 10)
    .split("-")
    .reverse()
    .join("/");
}

```

```

return (
  <>
    {view === VIEW.CHARTS && (
      <>
        <Header
          leftComponent={{ icon: 'chevron-
left', size: 32, color: '#fff', onPress: () => setView(VIEW.LIST) }}
          centerComponent={{ text: `Curvas sensores (${formatPtBrDate(cur
rentDate)})`, style: { color: '#fff' } }}
        />
        <ScrollView
          style={{

        }}
        >
        <View
          style={{
            flex: 1,
            alignItems: "center"
          }}
        >
        </View>

        <View
          style={{
            flex: 1,
            alignItems: "center"
          }}
        >
        <Text
          style={{
            fontSize: 18,
            color: "#797C84",
            fontWeight: "bold"
          }}
        >
          Posição dos sensores
        </Text>
        <View>
          <Image

```

```

        source={require('../res/images/solo_gotejador.png')} />
    </View>
    <Text
      style={{
        fontSize: 18,
        color: "#797C84",
        fontWeight: "bold"
      }}
    >
    </Text>
    <Text
      style={{
        fontSize: 18,
        color: "#797C84",
        fontWeight: "bold"
      }}
    >
      Umidade (%) x Tempo (HH:mm:ss)
    </Text>

    </View>
    {renderTextChart("")}
    {renderTextChart("Sensor 1")}
    {renderChart(s1ChartData.x, s1ChartData.y)}
    {renderTextChart("Sensor 2")}
    {renderChart(s2ChartData.x, s2ChartData.y)}
    {renderTextChart("Sensor 3")}
    {renderChart(s3ChartData.x, s3ChartData.y)}
  </ScrollView>
</>
)}
{view === VIEW.LIST && (
  <>
    <Header
      centerComponent={{ text: 'Dias de irrigação', style: { color: '
#fff' } }}
    />

    <View style={styles.container}>
      {items !== null && items !== undefined && (

```

```

<FlatList
  data={items}
  renderItem={({ item }) => {
    const key = item.key;
    const data = solenoidData.get(key);
    return (
      <TouchableHighlight
        onPress={() => {
          onPressItem(key);
        }}
      >
        <View
          style={{
            flexDirection: "row"
          }}
        >
          <View
            style={{
              flex: 1
            }}
          >
            <Text style={styles.item}>`Data: ${formatPtBrDat
e(
          key
        )}`</Text>
            <Text style={styles.item}>
              `Tempo de irrigação: ${getIrrigationTime(data)}
            </Text>
          </View>
          <View
            style={{
              padding: 10,
              alignItems: "center",
              justifyContent: "center"
            }}
          >
            <Icon name="tint" size={32} color="#29B9F8" />
          </View>
        </View>
      </View>
    );
  }}

```

```
        </TouchableHighlight>
      );
    }}
    ItemSeparatorComponent={() => {
      return (
        <View
          style={{
            height: 1,
            width: "100%",
            backgroundColor: "#E5E2E1"
          }}
        />
      );
    }}
  />
)}
</View>
</>
)}
</>
);
}
```

**ANEXO E - DADOS COLETADOS (30/09/2019) – VÁLVULA SOLENÓIDE/
SENSOR 1/ SENSOR 2 E SENSOR 3****Válvula solenóide:**

```
{
  "_id": "5d92bcfce6bfa70004a32967",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T23:41:53.000Z"
},
{
  "_id": "5d92a7d82a1fa30004855b68",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T22:11:42.000Z"
},
{
  "_id": "5d9292b548664f0004728f67",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T20:41:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d927d94e366cd00047f56a9",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T19:11:23.000Z"
},
{
  "_id": "5d9268735156b800046e1c05",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T17:41:19.000Z"
},
{
  "_id": "5d92535774ec9d0004236c0f",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
```

```
"date": "2019-09-30T16:11:15.000Z"
},
{
  "_id": "5d92533574ec9d0004236c0b",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:10:41.000Z"
},
{
  "_id": "5d92531374ec9d0004236c07",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:10:07.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252f174ec9d0004236c03",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:09:34.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252cf74ec9d0004236bff",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:09:00.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252ae74ec9d0004236bfb",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:08:26.000Z"
},
{
  "_id": "5d92528c74ec9d0004236bf7",
  "value": "ON",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T16:07:44.000Z"
},
{
  "_id": "5d923d67d906d50004247033",
```

```
"value": "OFF",
"collection": "SOLENOID",
"date": "2019-09-30T14:37:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d922847bbb41500043015fb",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T13:07:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d921309e5e1b30004c167c8",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T11:36:46.000Z"
},
{
  "_id": "5d91fde632c1420004e4a88d",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T10:06:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d91e8c48747310004a94772",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T08:36:25.000Z"
},
{
  "_id": "5d91d3a095ffaf000429a4af",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T07:06:11.000Z"
},
{
  "_id": "5d91be7b75b4c900049f3299",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T05:36:01.000Z"
},
}
```

```

{
  "_id": "5d91a9591f2e6800046a878f",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T04:05:51.000Z"
},
{
  "_id": "5d91943725e615000472ded6",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T02:35:42.000Z"
},
{
  "_id": "5d917f15c4ebe30004f5f29e",
  "value": "OFF",
  "collection": "SOLENOID",
  "date": "2019-09-30T01:05:30.000Z"
}
]

```

Sensor 1:

```

[[
  {
    "_id": "5d92bcf9e6bfa70004a32964",
    "value": 375,
    "collection": "SENSOR_1",
    "date": "2019-09-30T23:41:53.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d92a7d62a1fa30004855b65",
    "value": 375,
    "collection": "SENSOR_1",
    "date": "2019-09-30T22:11:42.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9292b348664f0004728f64",
    "value": 378,
    "collection": "SENSOR_1",
    "date": "2019-09-30T20:41:32.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d927d92e366cd00047f56a6",
    "value": 382,
    "collection": "SENSOR_1",
    "date": "2019-09-30T19:11:23.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9268705156b800046e1c02",
    "value": 383,
    "collection": "SENSOR_1",

```

```
"date": "2019-09-30T17:41:19.000Z"
},
{
  "_id": "5d92535474ec9d0004236c0c",
  "value": 410,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:11:15.000Z"
},
{
  "_id": "5d92533274ec9d0004236c08",
  "value": 417,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:10:41.000Z"
},
{
  "_id": "5d92531074ec9d0004236c04",
  "value": 420,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:10:07.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252ef74ec9d0004236c00",
  "value": 417,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:09:34.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252cd74ec9d0004236bfc",
  "value": 416,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:09:00.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252ab74ec9d0004236bf8",
  "value": 418,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:08:26.000Z"
},
{
  "_id": "5d92528974ec9d0004236bf4",
  "value": 424,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T16:07:44.000Z"
},
{
  "_id": "5d923d65d906d50004247030",
  "value": 398,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T14:37:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d922845bbb41500043015f8",
  "value": 394,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T13:07:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d922823bbb41500043015f4",
  "value": 400,
  "collection": "SENSOR_1",
```

```
"date": "2019-09-30T13:06:58.000Z"
},
{
  "_id": "5d921307e5e1b30004c167c5",
  "value": 397,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T11:36:46.000Z"
},
{
  "_id": "5d91fde332c1420004e4a88a",
  "value": 389,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T10:06:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d91e8c18747310004a9476f",
  "value": 382,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T08:36:25.000Z"
},
{
  "_id": "5d91d39e95ffaf000429a4ac",
  "value": 371,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T07:06:11.000Z"
},
{
  "_id": "5d91be7875b4c900049f3296",
  "value": 372,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T05:36:01.000Z"
},
{
  "_id": "5d91a9561f2e6800046a878c",
  "value": 373,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T04:05:51.000Z"
},
{
  "_id": "5d91943425e615000472ded3",
  "value": 373,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T02:35:42.000Z"
},
{
  "_id": "5d917f13c4ebe30004f5f29b",
  "value": 374,
  "collection": "SENSOR_1",
  "date": "2019-09-30T01:05:30.000Z"
}
]]
```

Sensor 2:

```
[[
  {
    "_id": "5d92bcfae6bfa70004a32965",
    "value": 377,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T23:41:53.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d92a7d72a1fa30004855b66",
    "value": 379,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T22:11:42.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9292b448664f0004728f65",
    "value": 378,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T20:41:32.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d927d92e366cd00047f56a7",
    "value": 376,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T19:11:23.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9268715156b800046e1c03",
    "value": 381,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T17:41:19.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d92535574ec9d0004236c0d",
    "value": 365,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T16:11:15.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d92533374ec9d0004236c09",
    "value": 363,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T16:10:41.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d92531174ec9d0004236c05",
    "value": 364,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T16:10:07.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9252ef74ec9d0004236c01",
    "value": 365,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T16:09:34.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d9252ce74ec9d0004236bfd",
    "value": 374,
```

```
"collection": "SENSOR_2",
"date": "2019-09-30T16:09:00.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252ac74ec9d0004236bf9",
  "value": 393,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T16:08:26.000Z"
},
{
  "_id": "5d92528a74ec9d0004236bf5",
  "value": 401,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T16:07:44.000Z"
},
{
  "_id": "5d923d66d906d50004247031",
  "value": 385,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T14:37:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d922845bbb41500043015f9",
  "value": 400,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T13:07:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d922824bbb41500043015f5",
  "value": 403,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T13:06:58.000Z"
},
{
  "_id": "5d921308e5e1b30004c167c6",
  "value": 397,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T11:36:46.000Z"
},
{
  "_id": "5d91fde432c1420004e4a88b",
  "value": 392,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T10:06:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d91e8c28747310004a94770",
  "value": 385,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T08:36:25.000Z"
},
{
  "_id": "5d91d39f95faf000429a4ad",
  "value": 375,
  "collection": "SENSOR_2",
  "date": "2019-09-30T07:06:11.000Z"
},
{
  "_id": "5d91be7975b4c900049f3297",
  "value": 372,
```

```

    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T05:36:01.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d91a9571f2e6800046a878d",
    "value": 370,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T04:05:51.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d91943525e615000472ded4",
    "value": 370,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T02:35:42.000Z"
  },
  {
    "_id": "5d917f13c4ebe30004f5f29c",
    "value": 368,
    "collection": "SENSOR_2",
    "date": "2019-09-30T01:05:30.000Z"
  }
}

```

Sensor 3:

```

{
  "_id": "5d92bcfbe6bfa70004a32966",
  "value": 290,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T23:41:53.000Z"
},
{
  "_id": "5d92a7d82a1fa30004855b67",
  "value": 290,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T22:11:42.000Z"
},
{
  "_id": "5d9292b448664f0004728f66",
  "value": 298,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T20:41:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d927d93e366cd00047f56a8",
  "value": 304,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T19:11:23.000Z"
},
{
  "_id": "5d9268725156b800046e1c04",
  "value": 317,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T17:41:19.000Z"
},
{
  "_id": "5d92535674ec9d0004236c0e",
  "value": 311,
  "collection": "SENSOR_3",

```

```
"date": "2019-09-30T16:11:15.000Z"
},
{
  "_id": "5d92533474ec9d0004236c0a",
  "value": 313,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:10:41.000Z"
},
{
  "_id": "5d92531274ec9d0004236c06",
  "value": 312,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:10:07.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252f074ec9d0004236c02",
  "value": 317,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:09:34.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252cf74ec9d0004236bfe",
  "value": 327,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:09:00.000Z"
},
{
  "_id": "5d9252ad74ec9d0004236bfa",
  "value": 332,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:08:26.000Z"
},
{
  "_id": "5d92528b74ec9d0004236bf6",
  "value": 353,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T16:07:44.000Z"
},
{
  "_id": "5d923d67d906d50004247032",
  "value": 332,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T14:37:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d922846bbb41500043015fa",
  "value": 312,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T13:07:32.000Z"
},
{
  "_id": "5d922824bbb41500043015f6",
  "value": 343,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T13:06:58.000Z"
},
{
  "_id": "5d921308e5e1b30004c167c7",
  "value": 332,
  "collection": "SENSOR_3",
```

```
"date": "2019-09-30T11:36:46.000Z"
},
{
  "_id": "5d91fde532c1420004e4a88c",
  "value": 315,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T10:06:36.000Z"
},
{
  "_id": "5d91e8c38747310004a94771",
  "value": 286,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T08:36:25.000Z"
},
{
  "_id": "5d91d39f95ffaf000429a4ae",
  "value": 273,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T07:06:11.000Z"
},
{
  "_id": "5d91be7a75b4c900049f3298",
  "value": 273,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T05:36:01.000Z"
},
{
  "_id": "5d91a9581f2e6800046a878e",
  "value": 275,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T04:05:51.000Z"
},
{
  "_id": "5d91943625e615000472ded5",
  "value": 278,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T02:35:42.000Z"
},
{
  "_id": "5d917f14c4ebe30004f5f29d",
  "value": 285,
  "collection": "SENSOR_3",
  "date": "2019-09-30T01:05:30.000Z"
}]
```