

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**SISTEMA PARA AUTOMAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE
BAIXO CUSTO**

THIAGO DE SOUZA BORGES

**PETROLINA, PE
2021**

THIAGO DE SOUZA BORGES

**SISTEMA PARA AUTOMAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE
BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IF Sertão PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção
de título de Engenheiro Agrônomo.

**PETROLINA, PE
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B732 Borges, Thiago de Souza.

Sistema para automação e manejo da irrigação de baixo custo / Thiago de Souza Borges. - Petrolina, 2021. 39 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2021. Orientação: Prof. Dr. Marlon Gomes da Rocha. Coorientação: Msc. Roniedson Fernandes da Silva Pequeno.

1. Ciências Agrárias. 2. Arduino. 3. Plataforma NodeMCU. 4. Controle de malha fechada. 5. ThingSpeak. I. Título.

CDD 630

**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Thiago de Souza Borges

**SISTEMA PARA AUTOMAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE
BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural.

Aprovada em: 13 de dezembro de 2021

Banca Examinadora

Marlon Gomes da Rocha:
99690071572

Assinado digitalmente por Marlon Gomes da Rocha:99690071572
DN: CN=Marlon Gomes da Rocha:99690071572, OU=IF-SERTÃOPE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, O=CIFESu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização:
Data: 2021.12.14 09:30:13
Font Reader Versão: 9.0.1

Orientador – Prof. Dr. Marlon Gomes da Rocha – IFSertaoPE

Jose Sebastiao Costa
de Sousa:05739906466

Assinado de forma digital por Jose Sebastiao Costa de Sousa:05739906466
Dados: 2021.12.13 19:23:25 -03'00'
Versão do Adobe Acrobat Reader: 2021.007.20099

Prof. Dr. José Sebastião Costa de Sousa – IFSertaoPE

Roniedson Fernandes da Silva
Pequeno:02060088305

Assinado de forma digital por Roniedson Fernandes da Silva Pequeno:02060088305
Dados: 2021.12.13 16:43:09 -03'00'

Prof. MSc. Roniedson Fernandes da Silva Pequeno – IFSertaoPE

RESUMO

Este trabalho apresenta como objetivo a construção de um protótipo de automação de irrigação com sistema de controle de malha fechada, visando a determinação do manejo da irrigação para facilitar o trabalho cotidiano dos pequenos produtores rurais, através do uso do microcontrolador NodeMCU v3 Lolin. O princípio de funcionamento do protótipo é baseado na aquisição de informações do sensor LM393 para determinação da umidade do solo visando o manejo edáfico da irrigação de maneira automática, enquanto que o sensor AM2302 fornece informações de temperatura e umidade relativa do ar para o manejo climatológico. Os valores de leitura do sensor de umidade do solo foram enviados ao NodeMCU v3 Lolin e interpretados pelo Arduino IDE, onde posteriormente exibirão no website ThingSpeak onde foram programados para o acionamento de uma motobomba. A resposta do sensor LM393 foi satisfatória, apresentando resultados de leitura de resistência no solo sensíveis a variação da umidade podendo ser usados em automação de sistemas de irrigação. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados foram confiáveis e apresentaram similaridade com os dados da estação meteorológica do INMET de Petrolina-PE. A partir das informações fornecidas pelo equipamento e dos preços dos componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo, considera-se viável a sua utilização para o manejo de irrigação eficiente e de baixo custo.

Palavras-chave: Arduino, Plataforma NodeMCU, Controle de malha fechada, ThingSpeak.

DEDICATÓRIA

A minha família pelo privilégio de oferecer-me uma educação de qualidade durante toda minha vida.

Em especial aos meus avós Antonia Alves Cardoso, Pedro Pereira Borges e Jesumira Soares Souza, sendo os principais autores pela minha formação acadêmica ligada à agricultura, pois foram eles que me proporcionaram o contato com a agricultura durante a infância e adolescência com momentos de muita felicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus por me presentear com muita saúde, física e mental a minha vida, e principalmente neste momento de pandemia que se encontra no mundo.

Agradeço imensamente ao IFSertãoPE *Campus* Petrolina Zona Rural por ter sido o berço da minha formação como Técnico em Agropecuária e agora em Agronomia.

Aos docentes do IFSertãoPE *Campus* Petrolina Zona Rural por possibilitarem meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Marlon Gomes da Rocha pelo convite ao Curso de Formação Inicial e Continuada sobre Internet das Coisas, pois através da temática do curso surgiu-se este projeto. Além de ser o orientador deste trabalho, demonstrou sua empatia e dedicação ao mesmo, como também os seus ensinamentos como docente durante o curso de Agronomia.

Ao professor Físico e Tecnólogo em Eletromecânica Roniedson Fernandes da Silva Pequeno do IFSertãoPE *Campus* Ouricuri por oferecer um Curso de Formação Inicial e Continuada sobre Programação Aplicada ao Arduino para os alunos e docentes do IFSertãoPE *Campus* Petrolina Zona Rural que serviram de embasamento para o desenvolvimento deste projeto, além de ser o mentor no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos, pelos incentivos, força e dedicação que sempre tiveram por mim.

EPÍGRAFE

“Pois quando a sabedoria entrar no
teu coração, e o conhecimento for
agradável a tua alma,

O bom siso te guardará e a
inteligência te conservará”

(Salomão)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais componentes em um sistema de controle	15
Figura 2: Composição da Planta no sistema de controle	16
Figura 3: Modelo de sistema controle da irrigação em malha aberta	17
Figura 4: Modelo de sistema de controle de irrigação em malha fechada	18
Figura 5: Ambiente de Desenvolvimento integrado do Arduino.....	20
Figura 6: Versões da plataforma NodeMCU.....	21
Figura 7: Interação entre os dispositivos IoT, ThingSpeak™ e MATLAB®	22
Figura 8: Fluxograma de metodologia	23
Figura 9: montagem do microcontrolador de irrigação com sistema de controle de malha fechada.....	23
Figura 10: Placa NodeMCU v3 Lolin	24
Figura 11: Sensor higrômetro modelo LM393	24
Figura 12: Avaliação da leitura do sensor higrômetro no solo.....	25
Figura 13: Sensor AM2302/DHT22	26
Figura 14: Bibliotecas adicionadas ao Arduino IDE.....	28
Figura 15: Canais abertos na plataforma de armazenamento de dados (ThingSpeak™)	28
Figura 16: teste de funcionamento dos sensores.....	29
Figura 17: Comparação entre os valores de temperatura do ar coletados pelo sensor com os registrados pela estação meteorológica	30
Figura 18: Comparação entre os valores de umidade relativa do ar coletados pelo sensor com os registrados pela estação meteorológica.....	31
Figura 19: Leitura dos valores obtidos pelo sensor higrômetro na escala Arduino ..	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Irrigação	12
2.2 Manejo da irrigação.....	12
2.3 Automação da irrigação.....	13
2.5 MICROCONTROLADOR	18
2.6 INTERNET DAS COISAS (IoT)	18
2.7 PLATAFORMA ARDUINO.....	19
2.8 PLATAFORMA NODEMCU.....	20
2.9 THINGSPEAK IoT	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo Geral.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Desenvolvimento do software.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6 CONCLUSÃO	33
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
8. REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui grande extensão territorial, abundância de recursos hídricos e clima favorável à produção de diversos alimentos. Atualmente, é um dos países que se destacam na produção agrícola e agropecuária no mundo. Isso ocorreu graças aos avanços na tecnologia, na ciência e na inovação, juntamente com políticas públicas e a competência dos agricultores (EMBRAPA, 2018). Como resultado gerou o aumento da demanda de alimentos, o que fez com que os produtores rurais buscassem por novas técnicas para multiplicar a produção de forma sustentável e utilizando uma área menor de plantio (AQEEL-UR-REHMAN citado por RIBEIRO et al., 2009).

Com a inserção da modernização da agricultura no Brasil, a irrigação foi uma das práticas agrícolas que possibilitou o incremento da produtividade na agricultura em diversas regiões do país, principalmente, na região do nordeste brasileiro, local onde a distribuição pluviométrica anual não é regular, o que torna de suma importância o uso de técnicas e tecnologias em prol de minimizar as perdas de água nas propriedades rurais. Logo, segundo Mantovani *et al.*, (2009) a agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável.

Por se tratar a irrigação de um suplemento tecnológico de alto custo apresenta objetivo principal a ser almejado a capacidade de proporcionar incrementos significativos na produção agrícola, pelo aumento da produtividade, a aplicação adequada de água, na quantidade certa e no momento exato (COELHO, *et al.*, 2002).

A introdução da tecnologia nos processos de produção familiar é escassa e os custos para a implantação de sistemas convencionais de irrigação são altos (BATALHA; BUAINAIN; SOUZA, 2005), devido ser necessário a aferição de diversos fatores sendo os mais importantes: condições edafoclimáticas, pedológicas, e a qualidade da água. Com o foco em aumentar os níveis de produção, todavia para os agricultores familiares e pequenos produtores a aquisição desses sistemas acabam tornando-se inacessível.

Diante do cenário, a introdução de microcontroladores na automação de sistemas de controle irrigação a cada dia torna-se um equipamento com a principal função para a aplicação da lâmina de irrigação, no período certo e quantidade correta,

afetando positivamente na produção agrícola e no uso da água (MARSCZAOKOSKI et al., 2013).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação

Na visão de Testezlaf et al. (2017) a definição de irrigação para grande maioria dos autores possui diversos significados, consolidando-se como uma técnica de aplicação da água de maneira satisfatória para as culturas visando o aumento da produção. Todavia, a irrigação não consiste apenas em uma técnica, mas também como uma ciência que possibilita o uso dos recursos hídricos a fim de reduzir os impactos negativos e focar nos positivos.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, “a irrigação, se bem planejada e executada, possibilita: o aumento da produção; o aumento da eficiência no uso da água, tanto em quantidade quanto em qualidade e regularidade; aumentar a diversidade de culturas, contribuindo significativamente no fomento da produção agropecuária e, conseqüentemente, no próprio PIB do país” (FAO, 2017, p. 19).

Paz et al. (2000) afirmaram que na maioria dos países as melhores práticas de irrigação objetivam o uso eficiente da água, baseado na extração pelas culturas assim programando a irrigação para evitar problemas erosivos e a salinização dos solos.

Fica claro que com o avanço da tecnologia novos equipamentos surgiram com o intuito de diminuir o desperdício de água, através de ferramentas que visam o manejo da irrigação de maneira precisa (CRUZ, 2009).

2.2 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação consiste em fornecer o recurso hídrico às plantas na quantidade necessária a fim de evitar o estresse hídrico, assim fomentando o incremento de produtividade e qualidade na produção (MARQUELLI *et al.*, 2011). Para Sousa (2020), o manejo da irrigação é a metodologia utilizada que se fundamenta em equações com a utilização de dados diários, a execução da irrigação (desde o acionamento da motobomba até o desligamento), e a manutenção para funcionamento adequado do sistema.

O manejo pode ser indicado através do balanço hídrico de água no solo (manejo climatológico), onde utiliza-se dados de evapotranspiração para a estimativa da umidade do solo ou por meio do acompanhamento real da umidade do solo (manejo edáfico) (SOUSA, 2020).

A evapotranspiração de referência também conhecida como E_{To} é um dado meteorológico que serve de critério para a estimativa da evapotranspiração dos cultivos - E_{Tc} (SOUSA, 2020) e a determinação do manejo climatológico. Dentre os métodos para determinação da evapotranspiração de referência existe o direto como o equipamento lisímetro, e os indiretos que se baseiam no emprego de equações empíricas sendo a de Hargreaves uma delas (HARGREAVES e SAMANI, 1985). De acordo com Fernandes *et al.* (2012), a equação pode ser determinada com apenas a variável climática temperatura do ar, porém, é necessário a calibração por meio dos coeficientes presentes na equação de Hargreaves.

Outra alternativa de manejo da irrigação é através do manejo edáfico que é baseado na determinação da umidade do solo (KLAR *et al.*, 1966), que é um índice básico para quantificar a água presente em amostras de solo, e sua determinação através de métodos diretos ou indiretos é de grande importância para o manejo da irrigação.

O método gravimétrico para determinação da umidade do solo é o mais usual e se baseia na retirada total da água contida no solo para posteriormente contabilizar o volume retirado, sendo o modelo utilizado para calibração dos métodos indiretos (CARVALHO, 2016). Enquanto que os métodos indiretos utilizam sensores que avaliam as propriedades físicas e obtêm resultados de acordo com a quantidade de água presente no solo (MENDES, 2006).

Para o manejo da irrigação, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada. Os principais, baseiam-se em medidas como a tensão da água no solo, moderação de nêutrons, resistência do solo à passagem de corrente elétrica e a constante dielétrica do solo (ADAMCHUK, 2004). Os sensores do tipo resistência e capacitância elétrica têm algumas vantagens por não requerer manutenção periódica e principalmente a sua aplicabilidade em sistemas de irrigação automatizados (MIRANDA, 2007).

2.3 Automação da irrigação

Nos dias atuais, a automação da irrigação na agricultura já é realidade para os produtores, devido a modernização dos equipamentos nos novos projetos de irrigação. A automação veio com a finalidade de fazer o controle automático das operações e a operação de maneira assistida. Logo, tal tecnologia permite monitorar,

controlar e até mesmo intervir em caso de problemas no sistema, em momento real, o que proporciona uma redução de custo de operação (GOMES, 2013).

Com o advento da automação da irrigação, uma diversidade de benefícios é obtida com o seu uso, apesar de apresentar altos custos na implantação, a maioria dos produtores rurais não dão significância para o manejo da irrigação. Na visão de SILVEIRA e STONE. 1994 apud ALBUQUERQUE, P. E. P. 2010 existem outros motivos para a baixa adesão ou procura dos produtores rurais por automação como: falta de informações edafoclimáticas, preço da energia, ênfase nos tratos culturais, ausência de acompanhamento técnico.

O uso de um sistema automatizado de irrigação proporciona controlar adequadamente a aplicação de água no cultivo, além de controlar as operações de fertirrigação e problemas externos que possam interferir na irrigação. Desse modo, diminui-se os déficits e possibilita melhorias no consumo de energia, água e na produção do cultivo (ALVARENGA; FERREIRA; FORTES, 2014). Apesar dos altos custos no investimento inicial, existe um grande potencial para os sistemas automatizados, principalmente, na região do nordeste brasileiro como forma de expandir a produção e diminuir o desperdício hídrico, sendo um recurso valioso nesta região.

2.4 Sistemas de controle

Os sistemas de controle basicamente são a interconexão de componentes (coisas), com uma plataforma que gere uma resposta favorável para o sistema (ALBUQUERQUE e SILVA, 2011).

De acordo com Gomes (2013) os sistemas de controle de irrigação constituem a maneira como os componentes físicos estão conectados, de tal forma que possibilite gerenciar, conduzir e até mesmo se autorregular o próprio equipamento ou outros.

Os principais componentes de um sistema de controle são: a Variável Manipuladora (Entrada), o Processo, e a Variável Controladora (Saída) (Figura 1).

Figura 1: Principais componentes em um sistema de controle



Fonte: o autor

A Variável Manipulada ou Entrada é a variável em que o sistema de controle atuará sobre o Atuador e o Processo propondo forçar a Variável Controlada a seguir o sinal de referência (ALMEIDA, 2017). Como exemplo, a angulação da abertura de um registro no sistema de irrigação é um mecanismo de entrada pois forçará o fluido a sair com uma velocidade e pressão requerida pelo usuário.

Na composição do sistema de controle o Processo é a parte do sistema físico a qual objetiva-se controlar (ALMEIDA, 2017), como exemplo tem-se o percurso de um fluido em uma tubulação.

Já a Variável Controlada (saída) consiste na última etapa do sistema de controle, ela é o processo físico que deverá seguir os valores de referência relatados pelo sistema de controle (ALMEIDA, 2017), como exemplificação a pressão de serviço no sistema de irrigação por gotejamento de 2 kgf/cm².

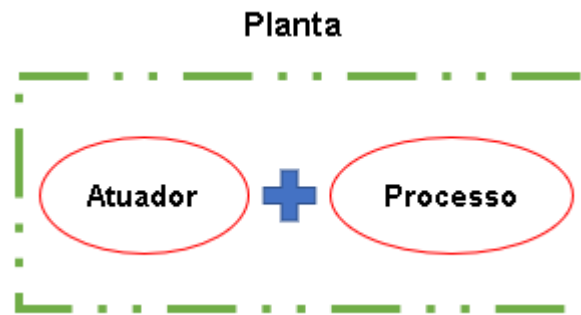
Além dos principais componentes em um sistema de controle existem outros como: o Controlador, o Atuador, a Planta e o Sensor. Enquanto que como propriedades se tem a Realimentação e o Distúrbio que proporcionam a adequação do sistema para diferentes tipos de sistemas de controle.

O dispositivo Controlador é responsável por receber o sinal de referência a ser utilizado pelo sistema e emitir o sinal de controle para o Atuador com a finalidade de forçar que a Variável Controlada do processo de referência seja realizada (ALMEIDA, 2017), a exemplo se tem os próprios controladores de irrigação presentes no mercado.

O Atuador é o equipamento que fica responsável por receber um sinal de controle e que atua fisicamente na etapa de Processo, modificando a resposta da Entrada (ALMEIDA, 2017). A válvula de controle elétrica apresenta essa função.

A Planta é a composição do sistema de controle formada pelo Atuador mais o Processo (ALMEIDA, 2017) como ilustrado na figura 2.

Figura 2: Composição da Planta no sistema de controle



Fonte: Autor próprio

Como último implemento se tem o Sensor que é o dispositivo que apresenta como objetivo aferir uma grandeza física do processo (umidade do solo - higrômetro, pressão, temperatura da água), essas grandezas serão convertidas em um sinal elétrico de tensão ou corrente para o monitoramento e medição desejado (ALMEIDA, 2017).

Já como propriedades de um sistema de controle se tem a Realimentação e o Distúrbio. A Realimentação é uma técnica presente no sistema de malha fechada no qual permite que a Variável Controlada do sistema seja comparada através de um sensor com a Variável Manipulada e essa informação será inserida na entrada do controlador (DiSTEFANO *et al.*, 2014), enquanto que o Distúrbio é surgimento de alguma interferência externa ao sistema que ocorra de maneira inevitável conseguindo afetar o sistema de controle (ALMEIDA, 2017), como exemplos se tem: a perda de pressão de um sistema devido a obstrução de uma tubulação, entupimento do filtro do sistema de irrigação etc.

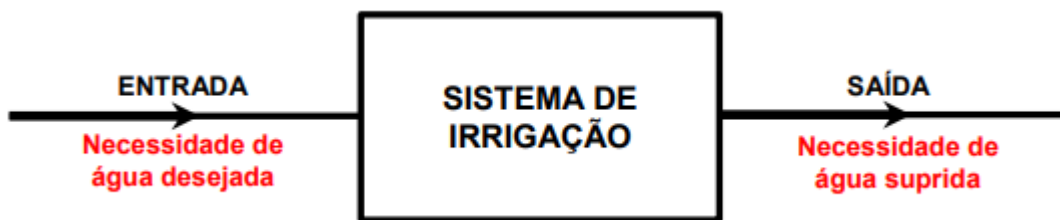
Para Biscaro (2014) o sistema de controle de irrigação é uma maneira que possibilita o uso da água de corretamente, no momento e quantidade necessária. Hoje em dia, os sistemas de controle possibilitam a automação de todo o sistema de irrigação.

Com o intuito de melhorar o processo de Saída nos sistemas de controle, a malha é o método para representação do fluxograma de dados no sistema, desde a entrada até a saída, podendo ser dividida em duas grandes categorias de sistema de controle: malha aberta e os de malha fechada (ARAUJO, 2020).

2.4.1 Sistema de controle em malha aberta

É o tipo de sistema de controle em que se utiliza um dispositivo atuador para controlar o processo de maneira direta sem a utilização da realimentação negativa (*negative feedback*), logo este tipo de sistema de controle não consegue identificar o valor da Variável Controlada (MARUYAMA, 2017). Esse tipo de sistema é bastante comercializado no Brasil, pois ele não avalia a necessidade hídrica das culturas e as variáveis climáticas, devido à ausência de sensores, apenas funcionando como um acionador de válvulas de acordo com a data e os períodos programados (JUNIOR, 2017) (Figura 3).

Figura 3: Modelo de sistema controle da irrigação em malha aberta



Autor: (JUNIOR, 2017).

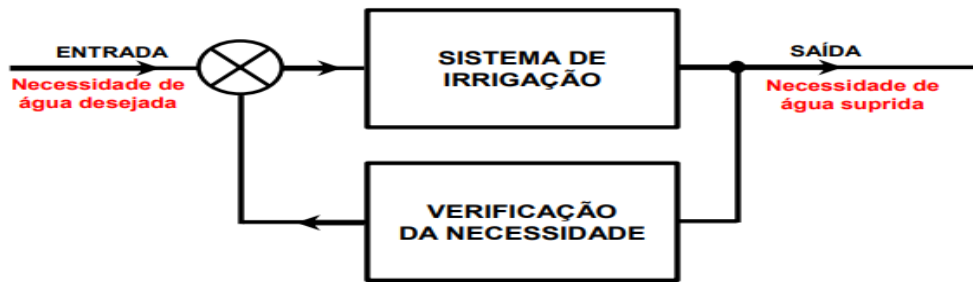
2.4.2 Sistema de controle de malha fechada

O sistema de controle de malha fechada é quando a saída ou a resposta desejada influencia na entrada do sistema (SISTEMAS DE CONTROLE I, 2003).

A realimentação é uma característica do sistema de malha fechada, que faz com que se diferencie da malha aberta. Devido permitir que a *output* (saída) seja comparada com a *input* (entrada) de maneira que a ação possa ser adaptada com alguma função da saída e da entrada do sistema de controle DiStefano *et al.* (2014).

Na malha fechada uma medida na saída tem como intuito comparar a informação almejada (KLUG, 2021). DiStefano *et al.* (2014) ainda afirma que esse tipo de sistema de controle a sua ação de controle depende do modo de saída. Logo, em um sistema de controle de irrigação em malha fechada sempre haverá um supervisor na Variável Controlada que atuará sobre o manejo da irrigação, como um sensor que ficará responsável pelo acionamento do sistema de irrigação em função de fatores edafoclimáticos ou pedológicos (JUNIOR, 2017) (Figura 4).

Figura 4: Modelo de sistema de controle de irrigação em malha fechada



Autor: (JUNIOR, 2017).

2.5 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é o componente principal para automação, pois é através do mesmo que as informações são recebidas para designar o acionamento dos dispositivos (FARIA, 2021).

Os microcontroladores eletrônicos são dispositivos que apresentam entradas e saídas programáveis, com a possibilidade de aplicação em várias áreas e apresentam baixo custo (FILHO, et al., 2019), podendo ser utilizado em uma diversidade de controles: umidade e temperatura do ar, máquinas pneumáticas e hidráulicas, temporizadores dentre outros (SILVA, 2006 citado por CRUZ, M. L. 2009). Tudo isso, visando facilitar o trabalho humano.

2.6 INTERNET DAS COISAS (IoT)

A internet das coisas, também conhecida como “*Internet of Things*” ou ainda IoT é um termo que surgiu dos avanços tecnológicos ligados a transmissão e a leitura de dados utilizando como base a internet (SANTOS *et al.*, 2016). A internet das coisas consiste em um sistema tecnológico a qual pode proporcionar diversas utilidades objetivando facilitar o cotidiano do homem (PARIHAR, 2019).

É interpretada como uma tendência recente em que grande quantidade de dispositivos (coisas) estão instalados e conectados à internet. A vantagem é que estes instrumentos conectados se comunicam com pessoas e outros instrumentos, como por exemplo, existem sensores responsáveis por gerar dados, que posteriormente serão armazenados na nuvem. A partir disso, os dados irão ser processados e

analisados para enfim obter informações importantes aos usuários (WHAT IS IOT, 2021).

De acordo com (SILVA, 2018) esta tecnologia pode ser inserida na agricultura através da realização do monitoramento da distribuição de água durante o turno de irrigação de jardins até áreas extensas, reduzindo o consumo de água e o gasto com energia.

Tem-se observado aumento na procura por este tipo de tecnologia devido sobretudo a sua utilidade em diferentes aplicações, capacidade de armazenamento das informações na nuvem, além da dinâmica na análise de dados. (RAMPIM, 2016 *apud* SILVA, 2018).

2.7 PLATAFORMA ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de desenvolvimento de protótipos e projetos eletrônicos que apresenta hardware e software - Arduino IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado). Um fato importante é que esta plataforma possibilita o desenvolvimento de projetos com baixo custo, apresenta softwares de simulação gratuitos e de fácil programação (ELETROGATE, 2017).

O equipamento físico como também o seu Ambiente de Desenvolvimento Integrado - IDE apresentam o conceito *open-source*, logo independente e eventualmente adaptam-se às necessidades dos seus usuários, sem apresentar restrições ao seu uso (ARDUINO, 2021).

“A maior vantagem do Arduino perante as outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização; pessoas que não são da área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto” (MCROBERTS. 2011, p. 20).

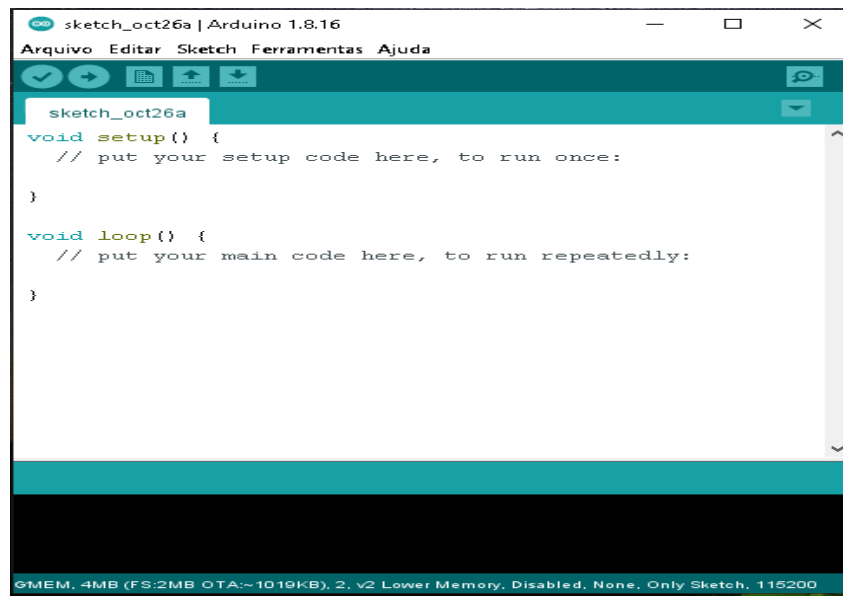
Além de que é comum o auxílio mútuo entre usuários da plataforma, tanto que no site da empresa existe um Fórum com exemplos de projetos e tira dúvidas (MCROBERTS, 2011).

O Arduino IDE, é o software, ou seja, é o local onde os usuários escrevem e fazem *upload* de códigos em tempo real. Sendo que estes códigos serão armazenados na nuvem. Uma característica importante é a sua capacidade de implantação nos sistemas operacionais Windows, Mac e Linux. O mais interessante é

que essa IDE aceita qualquer tipo de placa de software do Arduino (ARDUINO IDE, 2021).

Com algumas alterações, utiliza-se a linguagem de programação C/C++ e tem a finalidade de praticidade na produção da programação com projetos de baixo custo (FARIA, 2021). O software após, instalado e aberto apresenta a aparência da figura 5.

Figura 5: Ambiente de Desenvolvimento integrado do Arduino



Fonte: o autor

Vale ressaltar que a IDE do Arduino pode-se conectar com outros *hardwares* a exemplo o NodeMCU, para isso é necessário o *download* das bibliotecas, e a realização de *uploads* no *software* para posteriormente, ocorrer a interação entre *hardwares* e a IDE.

2.8 PLATAFORMA NODEMCU

O NodeMCU é uma plataforma de conceito aberto e da família ESP8266 criado para ser utilizado no desenvolvimento de projetos IoT. A plataforma é composta basicamente por um chip controlador (ESP8266 ESP-12E), uma porta micro USB (*Universal Serial Bus*) para alimentação e programação, conversor USB serial integrado e já possui WiFi nativo (OLIVEIRA, 2017) (Figura 6).

Figura 6: Versões da plataforma NodeMCU



Fonte: USINAINFO, 2021.

O NodeMCU v3 Lolin é um dos modelos da plataforma que ajuda na prototipagem voltada para IoT. O processo de desenvolvimento da linguagem de programação pode ser feito em linguagem de programação LUA, o que permite apenas com o uso de scripts para colocá-lo em funcionamento, ou também a IDE do Arduino como opção. Mostrando-se como um sistema de conexão *wireless*, e apresentando uma interface com entrada micro USB (INSTITUTO DIGITAL, 2021).

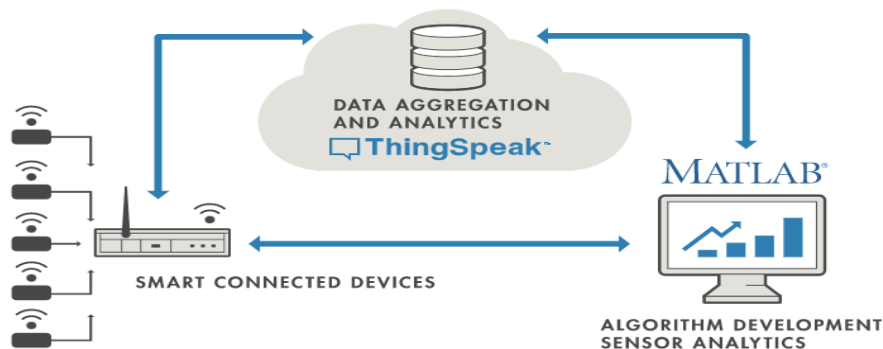
De acordo com o autor do site Autocore Robótica, o NodeMCU v3 Lolin apresenta programação e execução fáceis de desenvolver, pois através do esquema plug-and-play, ou seja, após conectar um cabo micro USB no kit é possível realizar a programação nas necessidades desejadas pelo usuário. O NodeMCU conecta-se à internet graças à integração presente em sua placa do chip Wifi ESP8266 - 12E com uma conexão wifi padrão de 802.11 b/g/n e uma antena embutida com alcance de sinal de 90 metros. O kit de desenvolvimento tem o regulador AMS1117 que permite a regularização da tensão para 3,3 v. O kit contém dez portas GPIO's (General Purpose Input/Output), que significa o conjunto de portas responsáveis pela entrada e saída de sinais digitais.

2.9 THINGSPEAK IoT

É uma plataforma analítica que possibilita ligar, visualizar e analisar o fluxo de dados em momento real na nuvem, com isso, ela fornece informações instantâneas dos dados adquiridos pelo protótipo no ThingSpeak™. Logo, o papel deste programa é a disposição momentânea dos dados, além da capacidade de executar o MATLAB® o que permite analisar e processar os dados assim que chegam à plataforma e disponibilizá-los para os usuários (THINGSPEAK, 2021).

Basicamente, de acordo com a figura 7, os sensores enviam os dados para o dispositivo IoT, que serão armazenados, analisados em tempo real por uma plataforma analítica como a ThingSpeak™, para posteriormente, o MATLAB® que é a plataforma de desenvolvimento e análise de dados, seja responsável por criar um histórico de dados coletados. Enfim, esses dados já presentes no software permitem que os usuários criem ou adaptem o protótipo ao sistema que os mesmos desejam.

Figura 7: Interação entre os dispositivos IoT, ThingSpeak™ e MATLAB®



Fonte: (THINGSPEAK, 2021)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um protótipo para automação da irrigação utilizando o sistema de controle de malha fechada, de baixo custo, baseado no conceito IoT através da plataforma NodeMCU v3 Lolin.

3.2 Objetivos específicos

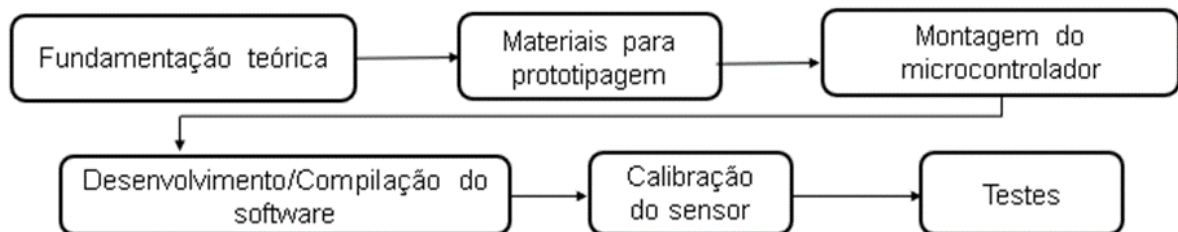
- Proporcionar a automação de um sistema de irrigação de baixo custo;
- Realizar o manejo da irrigação com fundamento na umidade do solo fornecidos pelo sensor higrômetro LM393.
- Disponibilização de informações de temperatura para o produtor determinar a Evapotranspiração de Referência.
- Utilizar a plataforma NodeMCU v3 Lolin para automação da irrigação.
- Avaliar viabilidade econômica do microcontrolador.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano *Campus Petrolina Zona Rural*, em Petrolina – PE, latitude 09° 23' 55" Sul e longitude 40° 30' 03" Oeste, altitude média de 420 m, onde o clima é semiárido tipo BSh, segundo a classificação de Köppen.

A seguir, apresenta-se o fluxograma de metodologia (Figura 8) utilizado no trabalho, com a finalidade de mostrar as principais etapas realizadas para o desenvolvimento do protótipo para sistema de controle de irrigação com malha fechada.

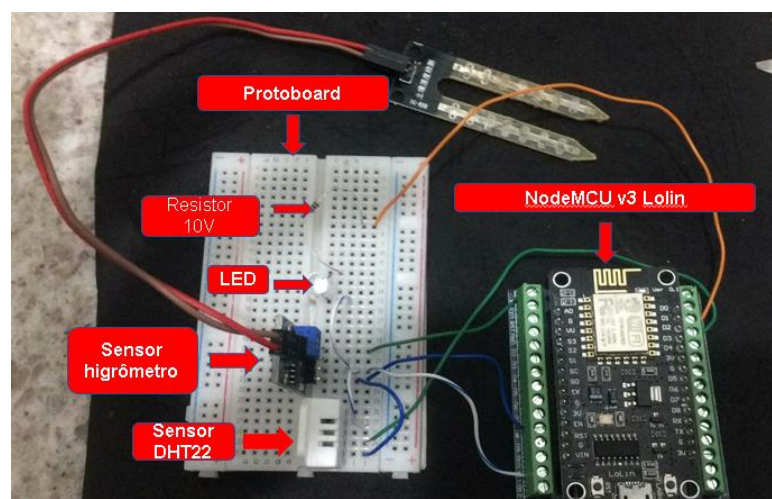
Figura 8: Fluxograma de metodologia



Fonte: o autor

Na montagem do microcontrolador de irrigação com sistema de controle de malha fechada, foi usado uma placa de desenvolvimento NodeMCU v3 Lolin sobre uma placa de expansão para arduino nano e sensores de temperatura e umidade relativa do ar e um sensor de umidade do solo (Figura 9).

Figura 9: montagem do microcontrolador de irrigação com sistema de controle de malha fechada



Fonte: o autor

A placa NodeMCU v3 Lolin, é um dispositivo que apresenta de forma integrada à um chip Wifi ESP8266 - 12E que permite a conexão via *wireless*, com o regulador AMS1117 que permite a regularização da tensão para 3,3 v. A placa contém dez portas GPIO's (General Purpose Input/Output), que são responsáveis pela entrada e saída de sinais digitais e porta micro USB (Figura 10). O componente foi responsável por receber a leitura dos dados advindos dos sensores e encaminhá-los para a plataforma de armazenamento ThingSpeak™.

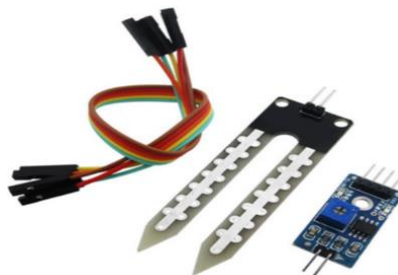
Figura 10: Placa NodeMCU v3 Lolin



Fonte: o autor

A umidade do solo foi obtida com a utilização do sensor higrômetro LM393 (Figura 11), desenvolvido pela MOTOROLA®. O equipamento apresenta dois eletrodos que são utilizados para conduzir corrente elétrica entre as partículas do solo e determinar o nível de umidade por meio da comparação com a resistência elétrica.

Figura 11: Sensor higrômetro modelo LM393



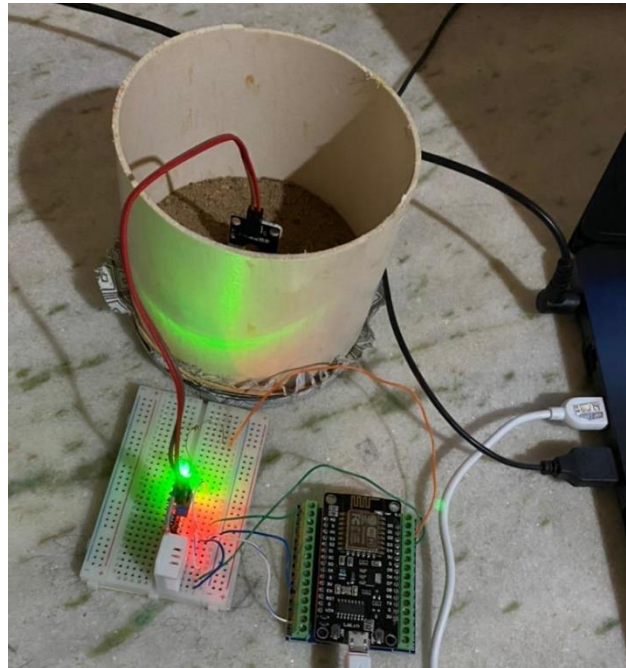
Fonte: (INSTITUTODIGITAL, 2021)

O sensor higrômetro tem um potenciômetro de ajuste de sensibilidade que fornece uma entrega de sinal que pode ser de 0 a 5 v (0 a 1023 na plataforma do Arduino), com uma fonte de alimentação de 3,3 v até 5 v, contendo saída analógica e digital.

A interligação entre a placa de desenvolvimento, os sensores e o módulo relé 5 v e o LED foram feitas com fios de cabo RJ45. O LED é responsável pela simulação do acionamento automático de uma motobomba para realização da irrigação quando o sensor registrar um valor referente a umidade no momento de irrigar.

O sensor de umidade do solo foi instalado em uma amostra de solo classificado como Argissolo Amarelo, apresentando umidade referente a capacidade de campo com 9,38%, pH igual a 7,33, condutividade elétrica 0,54 dS/m e densidade do solo de 1,60 g/cm³ para obtenção das leituras de acordo com a variação do teor de umidade (Figura 12).

Figura 12: Avaliação da leitura do sensor higrômetro no solo



Fonte: o autor

Foi feita uma primeira leitura com o solo seco (TFSA) e logo após, adicionou água até atingir a capacidade de campo (CC), momento que cessou a drenagem. Realizou-se nova leitura com umidade referente a CC e deixou o recipiente com solo exposto em ambiente aberto para ocorrer evaporação, realizando leituras com intervalos de uma hora por um período de 24 horas.

Baseado no manejo de irrigação com turno de rega fixo com intervalo de um dia, programou o microcontrolador para acionar automaticamente um conjunto motobomba no momento que a leitura do sensor atingir o valor lido 24 h após a realização da última irrigação e desligar quando o resultado da leitura diminuir para um valor registrado no momento em que o solo atingiu a umidade referente a capacidade de campo.

Para o manejo com turno de rega variável, insere-se no software o valor referente a umidade crítica do solo para determinada cultura, para que ocorra o acionamento da bomba e desligar quando o sensor higrômetro registrar o valor equivalente a umidade na capacidade de campo.

Outra forma de realizar o manejo da irrigação utilizando o equipamento é através dos dados de temperatura do ar coletado pelo sensor AM2302 modelo DHT22 fabricado pela empresa AOSONG® (Figura 13), que permite realizar leituras da temperatura de - 40 a + 80 graus Celsius, apresentando uma precisão na medição de $\pm 0,5$ °C e umidade relativa do ar entre 0 a 100% com uma precisão de $\pm 2\%$.

Figura 13: Sensor AM2302/DHT22



Fonte: O autor

O teste do sensor que afere a temperatura do ar foi feito coletando dados a sombra em um ambiente aberto e comparando com os dados da estação do INMET em Petrolina – PE, para o mesmo intervalo de tempo, com a finalidade de verificar a confiabilidade dos dados fornecidos pelo equipamento.

Com os dados de temperatura do ar é possível calcular a evapotranspiração de referência (ET_o) utilizando equações, a exemplo do método

proposto por Hargreaves & Samani (1985) para as condições semiáridas através da Equação 1.

$$ET_o = 0,0023 * Q_o * (T_{max} - T_{min})^{0,5} * (T_{med} + 17,8) \quad (1)$$

Em que: ET_o - Evapotranspiração de referência, ($mm\ d^{-1}$); Q_o - irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente; T_{max} - temperatura máxima do ar ($^{\circ}C$); T_{min} - temperatura mínima do ar ($^{\circ}C$); T_{med} a temperatura média do ar ($^{\circ}C$), no período considerado (PEREIRA et al., 2007).

A evapotranspiração de referência poderá ser calculada utilizando os dados de temperatura do ar obtidos utilizando o sensor descrito acima enquanto que a variável irradiância solar extraterrestre (Q_o) será obtida através da Tabela 1, conforme a latitude do local e o mês do ano.

Tabela 1. Valores de Radiação solar global extraterrestre para o hemisfério Sul

Tabela 1 . Radiação solar global extraterrestre (Q_o , expressa em mm de evaporação equivalente por dia), no 15º dia do mês correspondente, para o hemisfério Sul (Fonte: Camargo & Camargo, 1983).

Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Fonte: (PEREIRA et al., 2007).

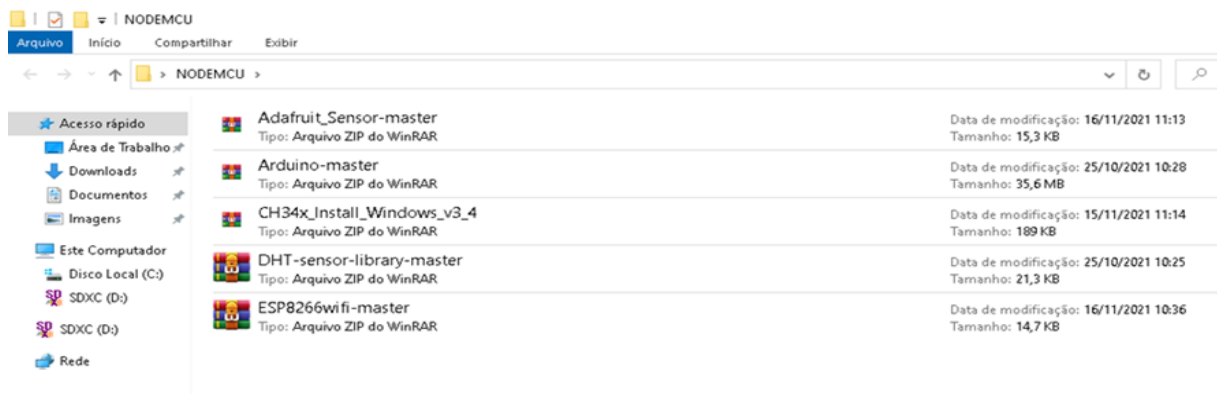
4.1 Desenvolvimento do software

O desenvolvimento do *software* e elaboração da programação no Arduino IDE, foi feita na linguagem de programação C/C++ usada para a leitura dos dados.

Para a inicialização da programação foi preciso realizar a inclusão das bibliotecas no Arduino IDE (Figura 14) para o reconhecimento dos sensores de

umidade do solo, temperatura e umidade relativa do ar como também o da placa NodeMCU.

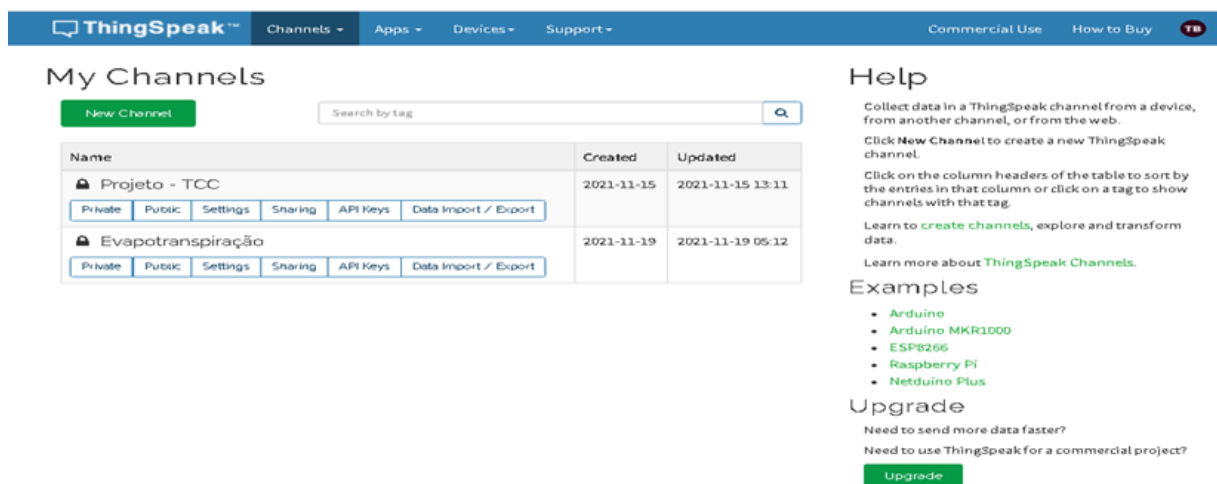
Figura 14: Bibliotecas adicionadas ao Arduino IDE



Fonte: o autor

Por seguinte, foi feita a codificação utilizada no protótipo e a compilação no Arduino IDE, com o intuito de identificação dos possíveis erros. Após compilação dos dados e o sucesso na parte de codificação, realizou-se a inscrição na plataforma de armazenamento de dados (ThingSpeak™) e a abertura de canais que foram responsáveis pela identificação das variáveis armazenadas (Figura 15).

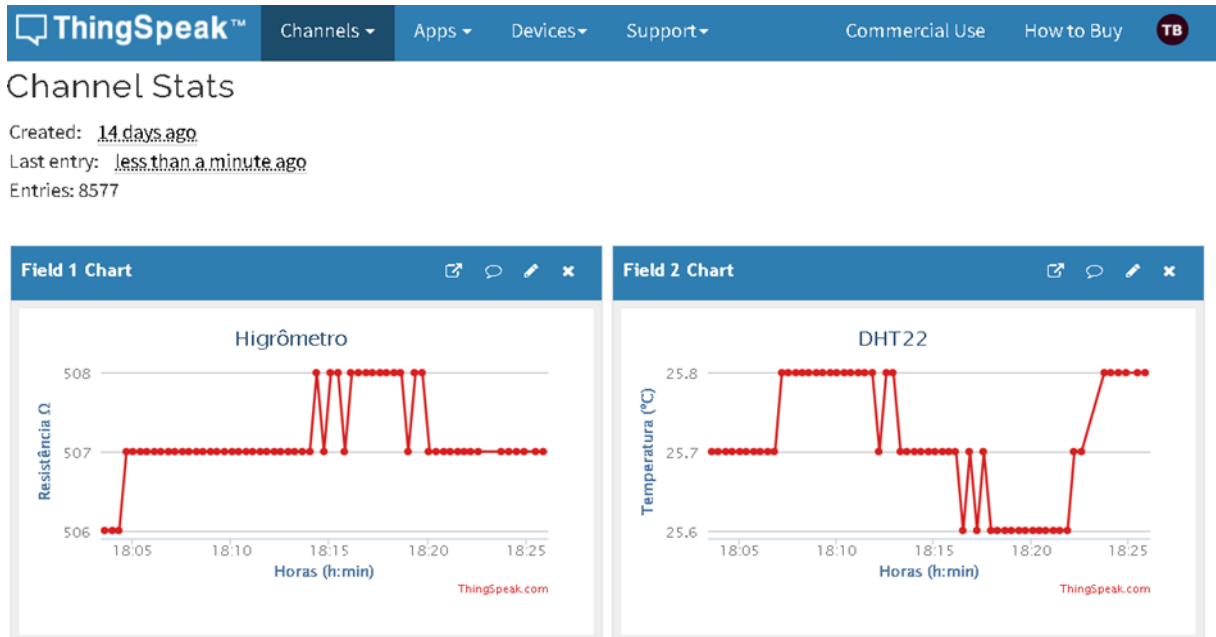
Figura 15: Canais abertos na plataforma de armazenamento de dados (ThingSpeak™)



Fonte: o autor

Após a abertura de canais foi feito o teste de funcionamento dos sensores, onde a plataforma MATLAB® reconheceu os dados advindos do ThingSpeak™ e criou uma análise dos dados imediatamente (Figura 16). Inicialmente tal procedimento foi apenas com a finalidade de verificar o funcionamento correto dos sensores.

Figura 16: teste de funcionamento dos sensores

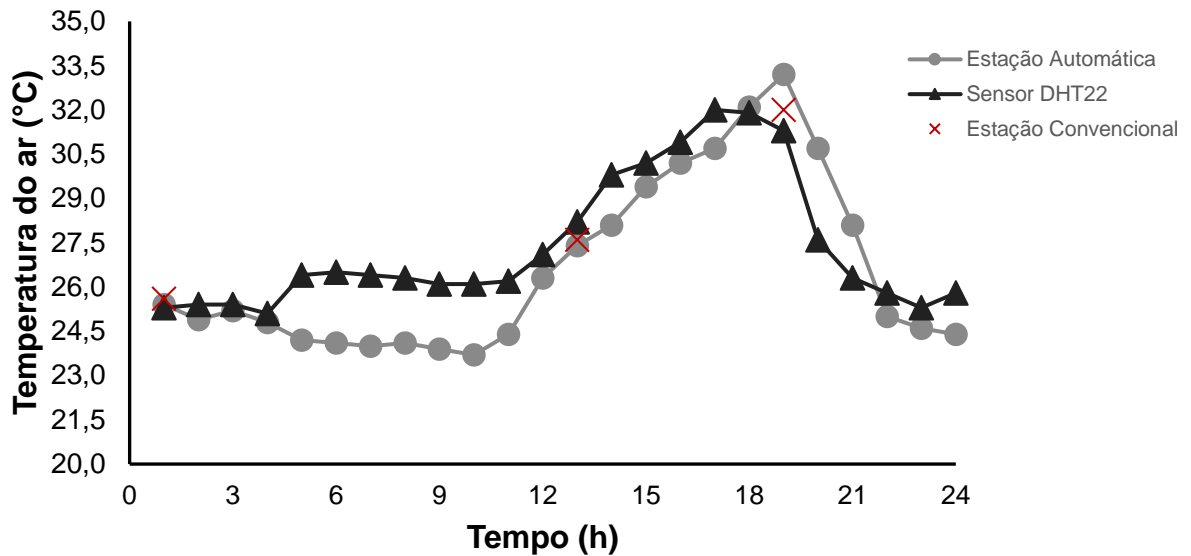


Fonte: o autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a aferição do sensor de temperatura que será usada para cálculo da ETo, foram coletados dados horários de temperatura e umidade relativa do ar em ambiente coberto e ventilado e comparado com os dados da estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em Petrolina - PE tomados como padrão. Observa-se na Figura 17 que os valores são confiáveis e apresentaram pouca variação em determinados horários do dia.

Figura 17: Comparação entre os valores de temperatura do ar coletados pelo sensor com os registrados pela estação meteorológica



Pode-se observar que às 00:00 hora, os valores registrados pela estação convencional, automática e pelo sensor DHT22 foram 25,6; 25,4 e 25,3 graus Celsius, respectivamente. Às 12:00 horas os valores foram 27,6; 27,4 e 28,2 °C e às 18:00 horas os valores registrados pelas estações e pelo sensor foram 32,0; 33,2 e 31,3 °C respectivamente. Observa-se que nesses três horários, os valores registrados pelas três fontes são muito próximos.

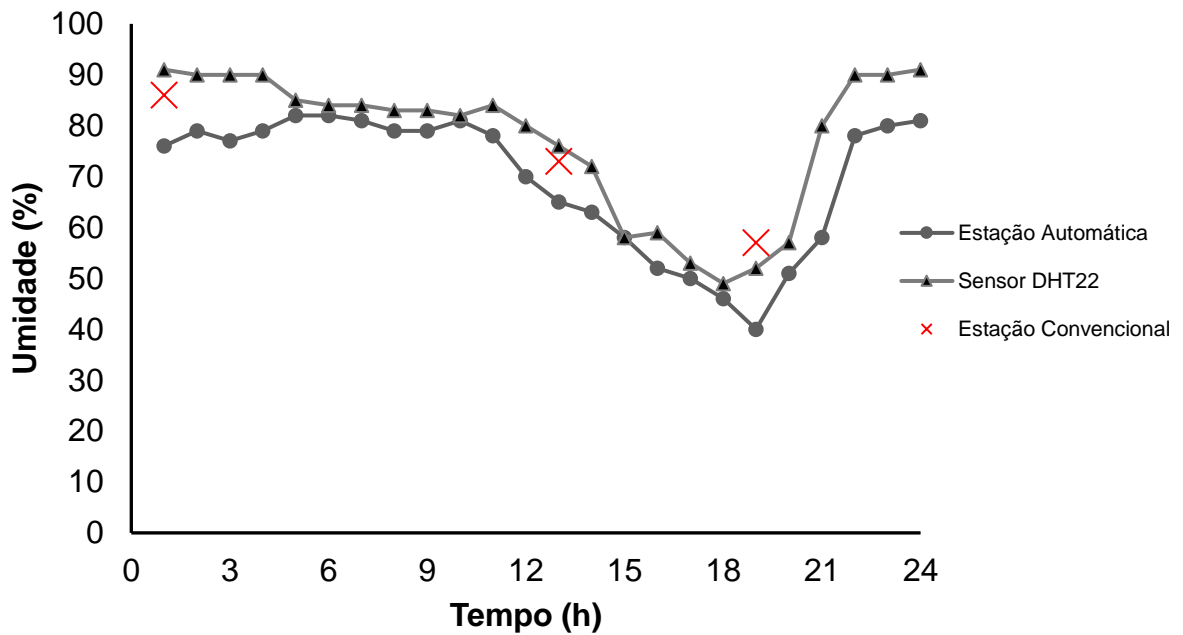
Nos demais horários, os valores tiveram diferenças maiores que podem estar relacionadas a circulação do vento no ambiente de coleta, já que no entorno da estação, o ambiente aberto favorece uma melhor circulação do ar do que em um bairro residencial onde o sensor foi instalado devido à proximidade do equipamento para armazenamento dos dados.

A similaridade dos dados obtidos a partir do sensor DHT22 instalado em um microcontrolador usando Arduino, com os dados oficiais registrados pela estação automática e analógica do INMET em Petrolina – PE, ratificou a confiabilidade do uso do sensor em um sistema de aquisição de dados de baixo custo para realizar o manejo da irrigação.

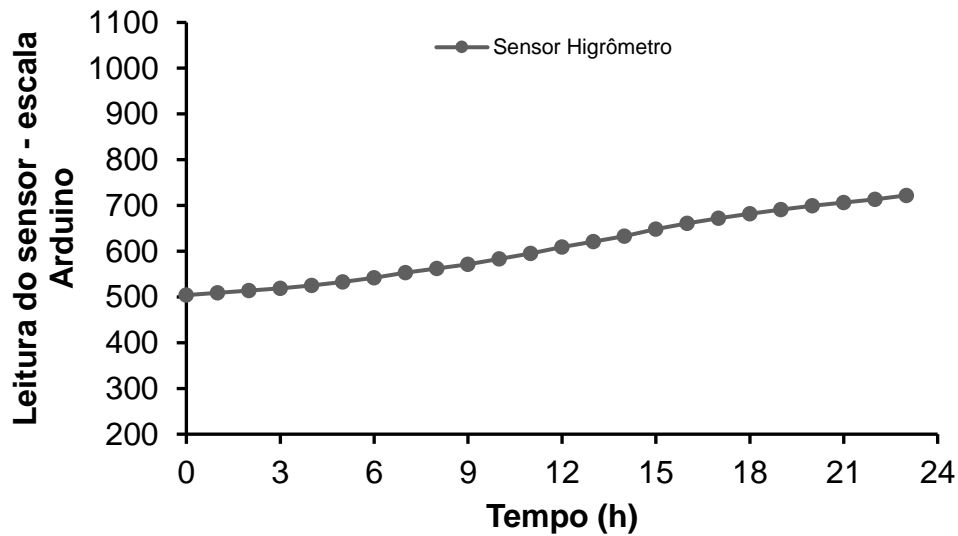
A Figura 18 apresenta os resultados do sensor de umidade relativa do ar DHT22 registrados no período de 24 h e comparados com os registros da estação automática e convencional do INMET. Podemos observar que existe uma similaridade entre os valores coletados pelas duas fontes de medidas, dando confiabilidade para uso dos dados para monitoramento e planejamento das atividades agrícolas em uma

propriedade. A diferença entre os valores comparados pode estar relacionado a distância entre os locais de coleta e as condições do local onde foi instalado o sensor que não era apropriado.

Figura 18: Comparação entre os valores de umidade relativa do ar coletados pelo sensor com os registrados pela estação meteorológica



Na figura 19 são apresentados os dados coletados pelo sensor higrômetro para aferição da umidade do solo. A partir dos resultados apresentados, observa-se que o valor obtido na saída analógica do Arduino IDE aumentou de aproximadamente 504, quando tinha um maior teor de água, para 722 conforme a umidade do solo diminuiu. Dessa forma, o equipamento apresentou boa resposta durante esse período de teste obtendo resultados satisfatórios.

Figura 19: Leitura dos valores obtidos pelo sensor higrômetro na escala Arduino

Observa-se que houve variação na inclinação da curva nos momentos de maior e menor evaporação da água do solo, mostrando a sensibilidade nas leituras quando ocorreram pequenas variações. Dessa forma, pode-se recomendar o uso do sensor para ser utilizado na automação de um sistema de irrigação, desde que calibrado para o tipo de solo, inserindo na programação os valores de trabalho do sensor LM393 na escala do Arduino IDE referente ao momento de ligar e desligar o sistema.

Outro parâmetro que justifica o uso do microcontrolador para automação e manejo baseado em dados edáficos e meteorológicos, é o custo para montar o equipamento (tabela 2).

Tabela 2. Custo dos equipamentos para montagem do protótipo

Produtos	Quantidade	Preço
Módulo Relé 2 Canais 5v	1	R\$ 14,70
Sensor de Umidade do Solo - Higrômetro	1	R\$ 20,73
Sensor DHT22/AM2302	1	R\$ 33,60
Protoboard 400 furos	1	R\$ 10,83
NodeMCU v3 Lolin ESP8266	1	R\$ 30,00
Fios de jumper M/F	40	R\$ 8,19
Total		R\$ 118,05

Fonte: INSTITUTODIGITAL,2021.

Para o desenvolvimento desse protótipo foi gasto aproximadamente R\$ 118,00, sendo um valor muito baixo quando comparado aos preços de equipamentos para automação encontrados no mercado (tabela 3).

Tabela 3. Custo de equipamentos presentes no mercado

Controladores	Preço
Temporizador Automático - Generic	R\$ 208,79
Controlador Rain Bird ESP-RZX-e	R\$ 426,33
Controlador Krain RPS 624	R\$ 2.234,90
Controlador Hunter X-core	R\$ 1.059,00

Além de ser um equipamento que poderá ser usado por pequenos agricultores que não tem acesso a dados meteorológicos coletados próximos ao local para usar alguma metodologia para manejar a irrigação. Assim, por ser um equipamento confeccionado com materiais de baixo custo, torna-se uma proposta viável para tal fim.

6 CONCLUSÃO

O protótipo para automação da irrigação utilizando o sistema de controle de malha fechada, apresentou respostas satisfatórias e cumprindo os objetivos estabelecidos.

O baixo custo apresentado com o desenvolvimento do projeto demonstra viabilidade do equipamento para quaisquer classes de produtores rurais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível expandir o projeto para novas calibrações, para diferentes classes de solo, e a utilização de outros sensores a qual o usuário desejar.

Por fim, espera-se este projeto seja útil tanto em esfera acadêmica, como também para aos interessados nesta área de conhecimento.

8. REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. **On –the-go soil sensors for precision agriculture**. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 44, p. 71-91, 2004.
- ALBUQUERQUE, A. C. M. L.; SILVA, D. R. C. **Introdução a Automação Industrial**. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_9.pdf>. Acesso em 28 out. 2021.
- ALMEIDA, H. L. S. **Introdução aos Sistemas de Controle**. Disponível em: <http://www.del.ufrj.br/~heraldo/eel660_slides_01_Introducao_ao_Sistemas_de_Control.pdf>. Acesso em 02 nov. 2021.
- ARAUJO, M. C. **Conceitos básicos de controle: Malha aberta x Malha fechada**. Disponível em: <<https://edu.ieee.org/br-ufcgras/conceitos-basicos-de-controle-malha-aberta-x-malha-fechada/>>. Acesso em 02 nov. 2021.
- ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. **Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar**. Sinergia, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, out. 2014.
- Apostila **Sistemas de Controle I**. UFRN. Natal-RN: Dep. de Engenharia de Computação e Automação, mar. 2003. Vol único, capítulo 1, 4-12.
- AQEEL-UR-REHMAN.; SHAIKH, Z. A. **Smart agriculture, Application of Modern High Performance Networks**. Bentham Science Publishers Ltd, pp. 120–129, 2009.
- ARDUINO. **What is Arduino?**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> . Acesso em: 24 out. 2021.
- ARDUINO IDE**. 2021. Disponível em: <<https://arduino.softonic.com.br/>>. Acesso em 01 out. 2021.
- BATALHA, M. O.; BUAINAIN, A. M.; SOUZA FILHO, H. M. Tecnologia de gestão e agricultura familiar. In: SOUZA FILHO, H. M.; BATALHA, M. O. (orgs.). **Gestão integrada à agricultura familiar**. São Carlos: EduFSCar, 2005. p. 1 – 19.
- BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação localizada: Automação**. Dourados, MS: Ed. UFGD. 2014.
- CARVALHO, M. S. de. **Sensor para monitoramento de umidade do solo utilizando energia solar**. 2016. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2016.
- COELHO, F. E.; OLIVEIRA, S. Á.; NETTO, A. O. A.; TEIXEIRA, C. H. A.; ARAÚJO, E. C. E.; BASSOI, H. L. **A cultura da Mangueira: Irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

CRUZ, T. M. L; **Estratégia de monitoramento e automação em sistemas de irrigação utilizando dispositivos de comunicação de redes de sensores sem fio.** 2009. 84f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciência Agrárias. Depto. De Engenharia agrícola, Fortaleza, 2009.

ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, XI, 2019, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Mato Grosso do Sul: DANTAS, I. S. da; ARAÚJO, J. M. M; MOREIRA, W. H; CONCEIÇÃO, F. R, 2019. p. 2.

DISTEFANO III, J. J; STUBBERUD, A. R; WILLIAMS I. J. **Sistemas de Controle: Introdução.** 2 ed. Porto Alegre: Booksman, 2014.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** Brasília, DF: Embrapa, p. 11, 2018.

ELETROGATE. **Arduino primeiros passos.** 2017. Disponível em: <<https://blog.eletragate.com/arduino-primeiros-passos/>>. Acesso em 02 nov. 2021.

FARIA, H. A. **Automação residencial: uma proposta simples e de baixo custo.** 2021. 51f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás Escola de Ciências Exatas e da Computação, 2021.

FERNANDES, D. S; HIENEMANN, A. B; PAZ, R. L. F; AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agrônômica.** Fortaleza, abr-jun. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rca/a/GqCjLfSYr7ggrDkwWYKsNzF/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em 21 out. 2021.

FILHO, A. C. M; RODRIGUES, J. P; PONTE, G. B. D. Sistema de automação para irrigação no cultivo protegido de alfaces com Arduino: Tecnologia de baixo custo. **8º Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu.** Botucatu – São Paulo, out. 2019. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/1952/2319>>

GOMES, H. P. **Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética.** João Pessoa, PB: Ed. UFPB, 2013.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from temperature.** Applied Engineering in Agriculture, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.

JUNIOR, R. A. A. **Controlador automático de irrigação, baseado na Aplicação de água em turnos de rega e lâminas variáveis.** 2017. 82f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017.

Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 23, 1966, Luiz de Queiroz,. **Anais...** São Paulo: KLAR, A. E; NOVA, N. A. V; MARCOS, Z. Z; CERVELLINI, A. 1966.

KLUG, M. **Sistemas de Controle - SIC.** Disponível em: <<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~michael.klug/SIC/control01.pdf>>. Acesso em 29 out. 2021.

MARQUELLI, W. P; OLIVEIRA, Á. S; COELHO, E. F; NOGUEIRA, L. C; SOUSA, V. F. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças:** Manejo da água de irrigação. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF: Valdemício Ferreira de Sousa, *et al.*, 2011.

MARUYAMA, N. **Introdução os sistemas de controle.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4183182/mod_resource/content/1/Aula1V2_017.pdf>. Acesso em 02 nov. 2021.

MARSCZAOKOSKI, F. G.; CRUZ, R. P; SILVA, W. A. E. **Sistema Microcontrolado de Irrigação Aplicado a Morangueiros.** 2013. 175 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MathWorks. MATLAB. 2021. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Acesso em 28 out. 2021.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos.** 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico:** Introdução. Tradução Rafael Zanolli. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MENDES, P. C. S. **Caracterização de um sensor para medição de umidade do solo com termo-resistor a temperatura constante.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia.

MIRANDA, F. R; SANTANA, M. G. S; SOUZA, C. C. M; OLIVEIRA, C. H. C. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, Jul.-Set. 2007. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/1953/195317584014.pdf>>. Acesso em 14 dez. 2021.

Módulo Sensor de Umidade do Solo – Higrômetro. **Instituto Digital.** Disponível em: <<https://www.institutodigital.com.br/produto/modulo-sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>>. Acesso em 07 nov. 2021.

OLIVEIRA, G. **NodeMCU – Uma plataforma com características singulares para o seu projeto IoT.** 2017. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-uma-plataforma-com-caracteristicas-singulares-para-o-seu-projeto-iot>>. Acesso em 02 nov. 2021.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias.** Ed: BORGHETTI, J. R; SILVA, W. L. C; NOCKO, H. R; LOYOLA, L. N; CHIANCA, G. K. Brasília, 2017.

PARIHAR, Y. S. **Internet of Things and Nodemcu**. A review of use of Nodemcu ESP8266 in IoT products. Mahoba - Índia, Jun. 2019 Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/337656615>>. Acesso em 22 out. 2021

PAZ V. P. S; TEODORO, R. E. F; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, Jan. 2000. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FWpZyigjywVwnxN8v4rbq9c/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 01 out. 2021.

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola. Meteorologia Agrícola 306. Piracicaba,SP, fev. 2007. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf>. Acesso em 25, nov, 2021.

PEREIRA, J. B. A. **Manual Prático de Irrigação**. EMATER-RIO. Niterói: Secretaria de Agricultura e Pecuária, 2014.

SANTOS, B. P; Silva, L. A; CELES, C. S; BORGES, J. B; PERES, B. S; VIEIRA, M. M; LOUREIRO, A. A. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. UFMG: Belo Horizonte - MG ,2016.

SANTOS, H. T; CARVALHO, D. F; SOUZA, C. F; MEDICI, L. O. Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, set/out. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p852-862/2015>>. Acesso em 01: nov. 2021

SILVEIRA, P. M; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994.

SILVA, L. A. **A INTERNET DAS COISAS: estudo sobre a aplicação da internet em um sistema de irrigação em uma plantação de milho**. 2018. 27f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Maranhão, *Campus de Codó*, 2018.

SILVA, R. A. **Programando microcontroladores PIC: Linguagem C**. Ed. Ensino Profissional – São Paulo, 183p., 2006.

SOUSA, J. S. C. Apostila de irrigação. Curso técnico em agricultura e curso técnico em agropecuária. Petrolina, PE. 2020.

TESTEZLAF, R; MATSURA, E. E; CARDOSO, J. L. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. FEAGRI. Campinas, 2017.

ThingSpeak. Learn more. 2021. Disponível em: <https://thingspeak.com/pages/learn_more>. Acesso em 27 out. 2021.

ThingSpeak. What is IoT. 2021. Disponível em: <https://thingspeak.com/pages/learn_more>. Acesso em 28 out. 2021.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36,9 Set. 2001.

Usinainfo. NodeMCU. 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/nodemcu-487>>. Acesso em 13 dez. 2021.