

Analizando a Confiabilidade com Ênfase no Desempenho de Sensores de Um Sistema IoT para o Gerenciamento Remoto da Irrigação

Analyzing Reliability with Emphasis on Sensor Performance of an IoT System for Remote Irrigation Management

André Luis Albuquerque
Pinheiro
IFCE campus Crato
aalbuquerque689@gmail.com

Alan Emanuel Santos
Figueiredo
IFCE campus Crato
aemmanuel138@gmail.com

Francisco Cleber da Conceição
Feitosa
UFPI
cleberfeitosa@ufpi.edu.br

Guilherme Álvaro R. M.
Esmeraldo
IFCE campus Crato
guilhermealvaro@ifce.edu.br

Francisco Gauberto
Barros dos Santos
IFCE campus Crato
gauberto@ifce.edu.br

Francisco Rondynelle
Rodrigues Sousa
IFCE campus Crato
rondynelle_17@hotmail.com

Robson Gonçalves
Fechine Feitosa
IFCE campus Crato
robsonfeitosa@ifce.edu.br

ABSTRACT

The present work describes a remote management system for localized irrigation, which emphasizes the reliability of the system and receives as input, sensor data, and activation information from the user; and, as an output, graphics are generated, in addition to the automation of irrigation activation. The analysis of the system reliability showed that: one of the soil moisture sensors showed corrosion problems after 10 days of use; it has been necessary to use an analog port multiplexer, due to the limited number of ports on the ESP8266; and, the printed circuit board presented better performance regarding connection failures between components, resistance and durability. For a more in-depth analysis of the soil moisture sensors, experiments have been carried out in four different scenarios, where the same corrosion problem was observed in the resistive hygrometer sensor (FC-28), after 10 days of use. In addition, the other sensors tested were: capacitive (SEN0193) and corrosion resistant (HD-38), where the SEN0193 presented better performance when compared to the others.

Keywords

Soil Sensors; IoT; Agriculture; Irrigation

RESUMO

O presente trabalho descreve um sistema de gerenciamento remoto da irrigação localizada, com ênfase na confiabilidade

do sistema, que recebe como entrada, dados de sensores, e informações de acionamento oriundas do usuário; e, como saída, são gerados gráficos, além da automação do acionamento da irrigação. A análise da confiabilidade do sistema mostrou que: um dos sensores de umidade do solo apresentou problemas de corrosão após 10 dias de uso; foi necessário utilizar um multiplexador de portas analógicas, devido o número limitado de portas do ESP8266; e, a placa de circuito impresso apresentou melhores resultados com relação a problemas de falhas de conexão entre componentes, resistência e durabilidade. Para uma análise mais aprofundada dos sensores de umidade do solo, foram realizados experimentos em quatro diferentes cenários, onde observou-se o mesmo problema de corrosão, do sensor resistivo higrômetro (FC-28), após 10 dias de sua utilização. Além disso, os outros sensores testados foram: capacitivo (SEN0193) e resistente a corrosão (HD-38), onde o SEN0193 apresentou melhor desempenho, quando comparado aos demais.

Palavras-Chave

Sensores de Solo; IoT; Agricultura; Irrigação

CCS Concepts

Applied computing → Agriculture; •Hardware → Hard-ware reliability; Sensors and actuators; •General and reference → Measurement;

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos líderes na produtividade agropecuária mundial e, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) [5], em 2021, o agronegócio brasileiro foi responsável por 27,4% do PIB nacional. O semi árido nordestino tem a irrigação como grande aliada, devido a sua condição climática com precipitação pluviométrica baixa, irregular e elevadas temperaturas. Segundo [7], o manejo racional da irrigação tem possibilitado uma maior produtividade e menor custo de produção. Logo,

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

a definição de estratégias para otimizar a irrigação é de grande importância no processo de planejamento de utilização dos recursos e tomada de decisão em agricultura irrigada [4].

Ao mesmo tempo, a Tecnologia da Informação e Comunicação surge como uma área do conhecimento que, munida com técnicas, ferramentas computacionais e equipamentos eletrônicos, possibilita a automação dos sistemas de irrigação. A cada dia é possível observar mais aplicações nas áreas agrárias que utilizam recursos tecnológicos, como por exemplo: no auxílio à tomada de decisão; na automação de processos rotineiros; e, na coleta, armazenamento e extração de informações meteorológicas, climáticas e sensoriais [3].

Diante do exposto, o presente trabalho apresenta um sistema de automação de irrigação baseado nas tecnologias da IoT (*Internet of Things*) [6] e controlado remotamente por uma plataforma Web, que permite criar uma infraestrutura entre o mundo físico e o mundo real [2], com ênfase na confiabilidade do sistema.

O restante do artigo está dividido da seguinte maneira: na Seção 2 apresentam-se alguns trabalhos da literatura que são relacionados ao presente trabalho; na Seção 3 é detalhada a metodologia adotada; a Seção 4 apresenta e discute os resultados encontrados; e, por fim, na Seção 5 são demarcadas algumas conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Diante dos constantes avanços no campo da tecnologia, e da demanda cada vez maior por soluções inteligentes, é possível encontrar na literatura trabalhos relacionados à solução aqui apresentada. Em [2] apresenta-se um sistema para automatizar a quantidade de água dispensada para a rega, onde foi utilizado o sensor *Soil Moisture* para leitura da umidade do solo, e o sensor DHT22 para temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, foram utilizados interruptores relé para o acionamento de uma motobomba DC e de um ventilador DC. O microcontrolador ESP8266 foi utilizado para receber as leituras dos sensores e enviar os comandos de acionamento fornecidos pelo usuário, via WiFi, através da plataforma Blynk IoT. As vantagens do sistema consistiram de economia de água e de tempo de monitoramento, visto que o produtor não precisa se deslocar até o campo para avaliar a necessidade de realizar irrigação.

Em [9], os autores propõem um sistema de controle de culturas agrícolas utilizando IoT, com o conceito de rede de sensores e atuadores sem fio. O sistema está dividido entre nós de sensores e atuadores com comunicação via LoRa, um *gateway* de controle que realiza o envio dos dados, um banco de dados e uma interface Web para visualização e controle do estado do sistema. Foram utilizados: Arduino Uno R3, para obter as leituras dos sensores; sensor DHT11, para leitura da umidade relativa e temperatura do ar; sensor VEML6070, para detectar os níveis de radiação ultravioleta; sensor capacitivo para leitura da umidade do solo; e sensor de chuva resistivo, utilizado para detecção de chuvas. Além disso, foram utilizados módulos relé para o acionamento dos equipamentos de controle do ambiente e o Raspberry Pi como *gateway*. O sistema apresentou desempenho confiável nos testes realizados.

Já em [1], é apresentado um sistema para controle e monitoramento do cultivo agrícola no campo, através de sensores de umidade do solo e do clima. O sistema funciona de forma automática, com base em valores de referências pré-

estabelecidas. Os dados foram obtidos por meio de sensores de umidade do solo; temperatura e umidade relativa do ar (DHT11); e, o sensor ultrassônico HC-SR04 para medir o nível do reservatório de água. Foram utilizados interruptores relé para o acionamento da bomba do reservatório e do ventilador. Os atuadores e sensores foram conectados a um Arduino Uno para leitura e acionamento, respectivamente; e, para a conexão com a Internet, utilizou-se um módulo WiFi ESP8266. Para armazenamento e visualização dos dados, foi utilizada a plataforma Web ThingSpeak. Esse sistema permitiu melhorar a produtividade da lavoura, porém apresentou desperdício no uso de água e energia.

Por fim, o trabalho em [8] apresenta o sistema *GreenHouse Management System*, que traz um método para a irrigação baseada no sensoriamento do solo. O trabalho apresenta uma comparação entre a irrigação por agendamento e uma baseada na leitura dos sensores. São utilizados os sensores de umidade do solo, temperatura e umidade relativa do ar; além disso, utilizou-se um ESP8266 junto com a tecnologia de comunicação *wireless* XBee. Os testes foram realizados em estufas com culturas de pimentão, e os parâmetros para a irrigação foram fornecidos por um agrônomo. Foi desenvolvido um método para calibração dos sensores de umidade do solo, e todos os dados foram armazenados em um banco de dados, o qual permite a visualização dos dados coletados. Segundo descrição dos resultados no artigo [8], o método de sensoriamento proposto apresentou eficiência ao economizar até 1,5 L/planta/dia.

A Tabela 1 sumariza as principais características dos sistemas da literatura apresentados nesta seção. É possível observar que: todos os sistemas se preocuparam em realizar a leitura de sensores de temperatura e umidade do ar; apenas um não utilizou sensores de umidade do solo; apenas um dos sistemas apresentados não utilizou relés como atuador; apenas um sistema não utilizou ESP8266; houve uma diversidade de plataformas para gerência dos dados na nuvem, sendo ThingSpeak a mais utilizada; e, por fim, apenas no trabalho em [9] e no presente trabalho houve uma preocupação em analisar a confiabilidade do sistema. Observa-se então que, para o desenvolvimento do presente trabalho, além de tratar a confiabilidade, buscou-se elaborar um sistema de automação de irrigação robusto, com a presença de uma variedade de sensores, atuadores e interface gráfica intuitiva, bem como um modelo de comunicação de dados condizente com o que está sendo adotado na literatura atual.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho aqui apresentado foi dividido em etapas. Inicialmente, realizou-se uma revisão de literatura sobre: desenvolvimento de sistemas Web, IoT e desenvolvimento de hardware. A metodologia de validação dos protótipos das telas foi realizada com base nos princípios relativos à usabilidade, como: ergometria, simetria, cores, números de cliques e organização da informação. O microcontrolador utilizado foi o NodeMCU ESP8266, responsável pela interface de comunicação entre os sensores e atuadores de hardware e seu gerenciamento via Internet. O ESP8266 foi utilizado devido sua simplicidade de configuração para comunicação via rede sem fio, além de seu baixo custo [6].

Para a programação do ESP8266 foi utilizada a plataforma IDE do Arduino na versão 1.8.9 baseado na linguagem de programação C++ nativa do Arduino. A escolha dessa plataforma deu-se devido a sua praticidade e por não haver

Tabela 1: Comparativo entre abordagens para automação de irrigação

Trabalho	Sensores	Atuadores	Micro-controlador	Interface gráfica	Comunicação	Confiabilidade
[2]	Soil Moisture; DHT22.	2 relés DC (motobomba e ventilador)	ESP8266	Blynk	Wifi	–
[9]	DHT11; VEML6070; Sensor capacitivo de umidade do solo; sensor de chuva resistivo.	Módulos relé	Arduino Uno R3 e Raspberry Pi	Web	LoRa	Sim
[1]	DHT11; sensor ultrassônico HC-SR04.	Interruptores relé (bomba do reservatório e ventilador)	Arduino Uno e ESP8266	ThingSpeak	Wifi	–
[8]	Sensor de umidade do solo; Sensor de umidade e temperatura do ar.	–	ESP8266	Armazenados em um banco de dados	XBee	–
Proposta do presente trabalho	DHT11; Sensores de umidade do solo: capacitivo (SEN0193), resistivo higrômetro (FC-28) e resistente a corrosão (HD-38); Sensor de chuva resistivo; Sensor LDR.	2 Módulos relés; 2 Solenóides de Fluxo de Água.	NodeMCU ESP8266	Web; ThingSpeak	Wifi	Sim

custo de aquisição. Para a implementação do Sistema Web, foram utilizadas ferramentas *open-source* como Sistema Operacional Ubuntu, na versão 18.04, linguagem de marcação HTML5 e CSS3, além da integração com a plataforma Web ThingSpeak IoT. Para modelagem do esquemático de hardware utilizou-se a ferramenta Fritzing na versão 0.9.4. Para validação do sistema foram realizados experimentos em diferentes cenários, como: uma pequena horta caseira; um viveiro de mudas; e, cenários controlados para análise de desempenho de sensores de umidade. Foram testadas diferentes configurações de sistemas com a utilização de sensores e atuadores acoplados em uma *proto-board*. Também, visando aumentar a confiabilidade das conexões entre componentes eletrônicos, foram desenvolvidas placas de circuito impresso, com uma capacidade maior para o acoplamento de sensores e atuadores, conforme detalhado nas próximas seções.

4. RESULTADOS

4.1 Horta Doméstica

O primeiro cenário foi aplicado em uma pequena horta doméstica, com dimensões de 150cm x 50cm, com 10 mudas de cheiro verde (*Allium fistulosum L.*), conforme ilustrado na Figura 1 (f). Com período de execução de 27 de outubro à 05 de novembro de 2020. Utilizaram-se dois métodos de acionamento, o manual e o automático. O modo automático funciona a partir da leitura do sensor de umidade solo, nele, o solenóide é acionado e desligado automaticamente. O modo manual funciona através do Web Server, Figura 1 (a), que permite o controle de acionamento do solenóide e monitoramento dos valores lidos. Os materiais utilizados foram: 02 Sensores de Umidade e Temperatura DHT11; Sensor de Umidade do Solo (Higrômetro FC-28); Sensor LDR; Sensor de chuva; e, Solenóide de Fluxo de Água, Figura 1 (d). Para o armazenamento dos dados foi utilizada a plataforma

*ThingSpeak IoT*¹, que também permite o monitoramento dos sensores em tempo real, contabilizando 24.276 envios de dados para a plataforma, Figura 1 (b).

A comunicação entre os sensores, o solenóide, e o ThingSpeak IoT é realizada através do NodeMCU Esp8266, que também permite a execução do Web Server. O envio de dados para a plataforma ThingSpeak IoT se dá a cada 30 segundos, sendo esse período de tempo recomendado pela própria plataforma. Nessa plataforma os gráficos são atualizados a cada novo envio de dados. O sensor de umidade do solo utilizado para o primeiro cenário apresentou bons resultados apenas durante 10 dias, apresentando leituras incorretas no último dia, fazendo com que o sistema fosse desligado. Conforme observado na Figura 1 (c) a resistência estava danificada, sendo esse o principal defeito. No entanto, os sensores de temperatura e umidade do ar (DHT11) não apresentaram falhas, e a precisão estava em conformidade com as especificações dos fabricantes. Sensores, como LDR e sensor de chuva, não foram utilizados por apresentarem falhas de funcionamento.

4.2 Viveiro de Mudanças

Os experimentos do segundo cenário foram realizados no viveiro de mudas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE *campus* Crato, com dimensão de 20m x 20m, com produção diversificada de mudas de hortaliças folhosas, Figura 1 (g). O objetivo foi verificar em campo o desempenho do sensor de umidade capacitivo (SEN0193). Com período de execução de 08 à 10 de março de 2021. Os materiais utilizados foram: Arduino UNO, sensor capacitivo de umidade do solo (SEN0193), módulo de leitura/escrita em cartões SD, com cartão com capacidade

¹Plataforma para armazenamento dos dados. Disponível em: <https://thingspeak.com/>. Último acesso em: 19 mai. 2022.

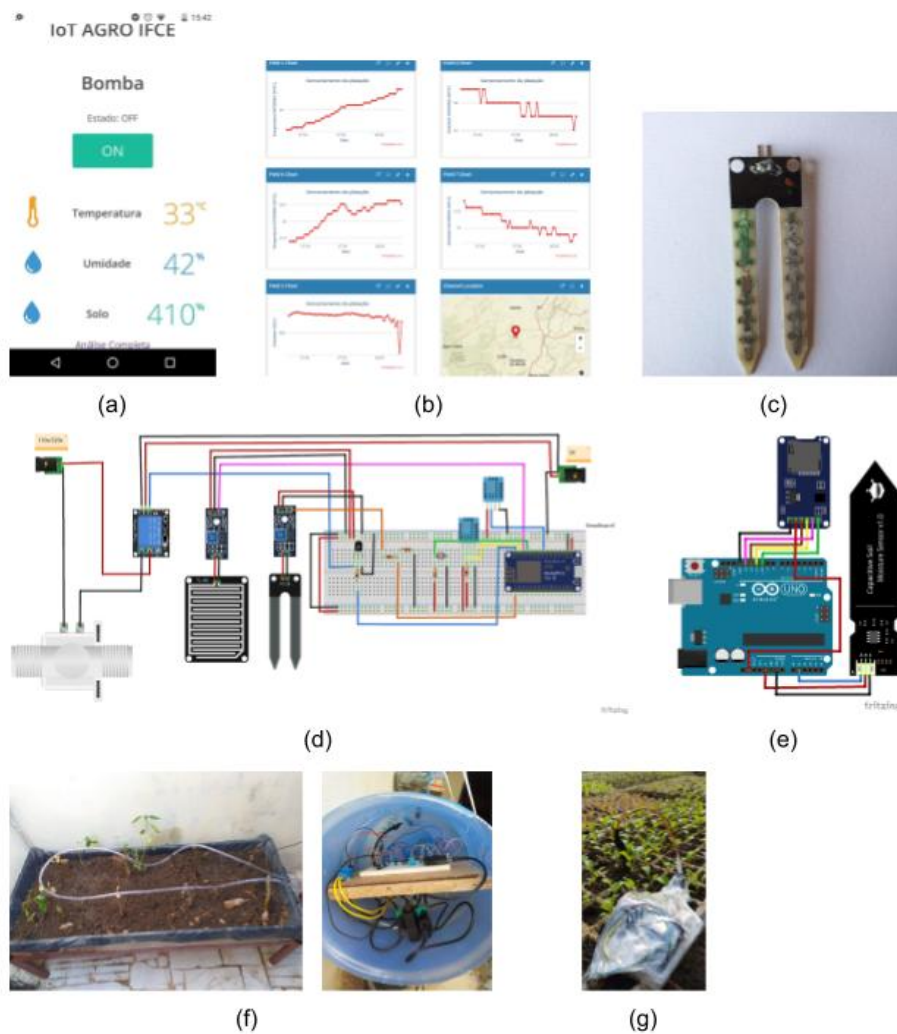


Figura 1: (a) Interface para dispositivo mobile. (b) Dados dos sensores via ThingSpeak. (c) Sensor após experimento do cenário 1. (d) Esquemático para cenário 1. (e) Esquemático para cenário 2. (f) Sistema instalado no cenário 1. (g) Sistema instalado no cenário.

SENSOR UMIDADE DO SOLO

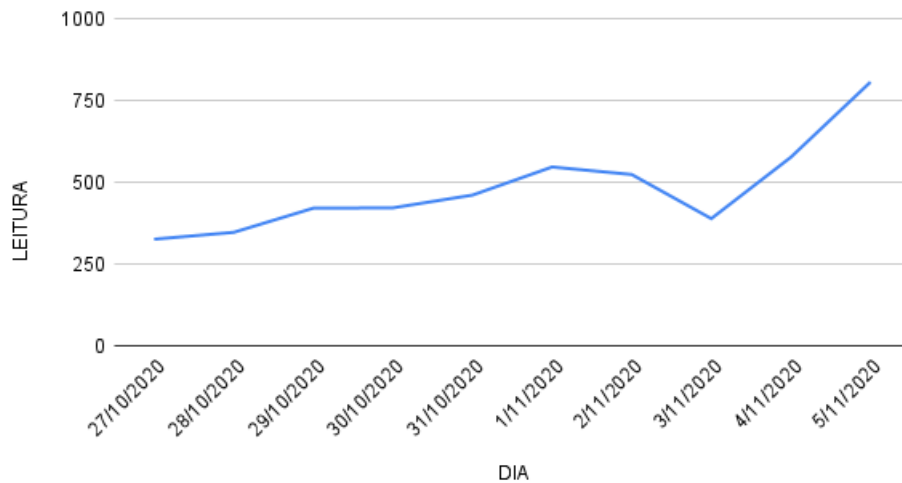


Figura 2: Gráfico com leituras do sensor de umidade do solo.

de 2GB; fonte de 9V, Figura 1 (e). Os maiores desafios nesse experimento foram: a calibragem do sensor capacitivo (SEN0193) para realizar as leituras da umidade do solo; e o acesso à fonte de alimentação (acesso em campo). O desenvolvimento do protótipo para a leitura da umidade do solo, durante os dois dias, serviu para coletar a média das leituras dos sensores capacitivos, conforme ilustrado na Figura 2, para assim, obter-se um parâmetro real utilizado para calibrar o sistema.

Para os cenários foram utilizadas diferentes abordagens para realizar as ligações entre os componentes eletrônicos. A primeira abordagem consistiu no uso de uma *protoboard*, pois se tratava do primeiro protótipo; logo, havia a necessidade de validação dos componentes eletrônicos que seriam utilizados nos experimentos. Assim, adotou-se um cenário simples, reforçando ainda que as placas eram diferentes, mas o esquema elétrico era o mesmo. Com a *protoboard* observou-se que a corrente elétrica era interrompida devido a conexão entre os *jumpers* e a placa, que desconectavam com frequência. Além disso, a *protoboard* utilizada, por ser pequena, não possuía a quantidade de conexões necessárias.

Para contornar tais problemas utilizou-se uma placa de circuito impresso perfurada, Figura 3 (a), que permite o encaixe e a soldagem dos componentes eletrônicos. Ela fornece uma maior segurança entre as conexões, o que evitaria o mau contato, apresentado na *protoboard*; no entanto, seu manuseio deve ser delicado, logo, qualquer movimento e transporte inadequado poderia resultar em quebra de contato. Outro problema constatado, estava relacionado à durabilidade: como a placa ficaria em um ambiente com muitas intempéries, por exemplo, vento, sol, chuva e umidade, isso faria com que a oxidação dos contatos resultasse em um mau funcionamento da placa.

Para solucionar alguns dos problemas citados, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso, confeccionada manualmente, Figura 3 (b), seguindo o mesmo esquema elétrico das soluções anteriores. Com esta nova placa, os problemas de contato e oxidação foram amenizados, pois as linhas de

comunicação entre componentes eletrônicos estão impressos na própria placa, o que garante uma conexão bem mais segura entre componentes eletrônicos. Destaca-se um outro ponto positivo nesta abordagem, onde, da forma como a placa foi concebida, ela permite a reutilização de componentes eletrônicos, por exemplo, caso haja falhas no microcontrolador, o processo de troca do componente se torna bastante simplificado.

De todas as abordagens de composição do circuito eletrônico, a que apresentou melhores resultados foi a que empregou a placa de circuito impresso confeccionada manualmente, que conseguiu realizar leituras mais precisas por ter conexões mais confiáveis entre componentes eletrônicos. Quando observado o custo total para aquisição de materiais e desenvolvimento das placas, constatou-se que em todas as abordagens os custos ficaram na mesma faixa de valores.

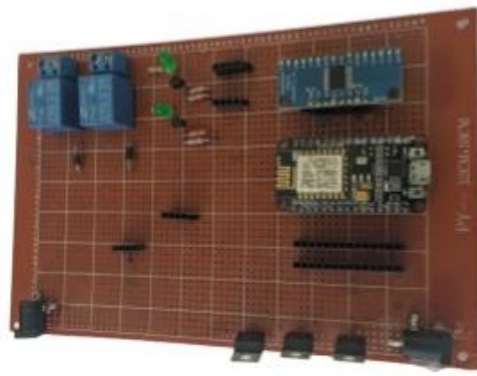
4.3 Cenários Experimentais

Além dos experimentos citados, foram realizados experimentos em cenários controlados, em diferentes combinações de umidade do solo, para analisar o desempenho exclusivamente dos sensores de umidade. Conforme detalhado nas subseções a seguir e ilustrado na Figura 22. Nesses cenários os sensores foram: sensor 01, capacitivo (SEN0193); sensor 02, resistivo higrômetro (FC-28); e, sensor 03, resistente a corrosão (HD-38).

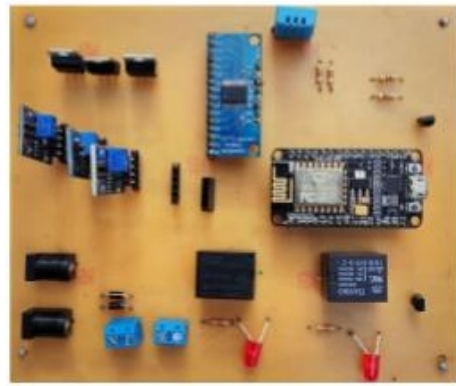
4.3.1 Cenário 01

Analisando a Figura 4, é possível observar uma variação mínima nos sensores 01 e 02, para identificar solos com baixa umidade. O sensor 03 identificou uma leve oscilação de umidade, mesmo quando o solo estava totalmente seco. Os valores: máximo, mínimo e média, no período completo observado, de 19 à 23 de julho de 2022 estão detalhados conforme a Tabela 2.

Analisando a diferença entre os valores máximo e mínimo: o sensor 01 apresentou uma variação de 11,82%; o sensor 02 apresentou uma variação de 07,32%; e, o sensor 03 apresen-



(a)



(b)

Figura 3: Placa de circuito impresso (a) perfurada e (b) confeccionada manualmente.

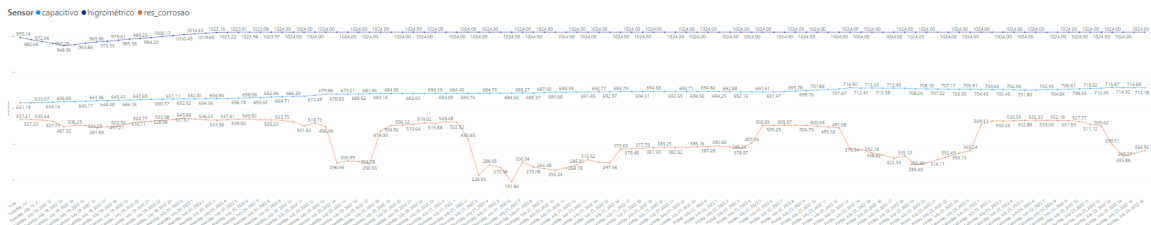


Figura 4: Comparativo da variação dos valores lidos (em média por hora) pelos sensores no período de 19/07/2022 à 23/07/2022.



Figura 5: Comparativo da variação dos valores lidos (média por hora) pelos sensores no período de 19/07/2022 a 21/07/2022.

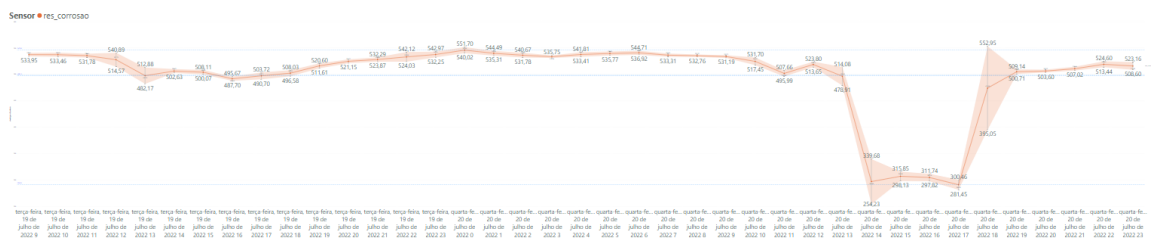


Figura 6: Sensor Resistente a Corrosão cenário 1 completo

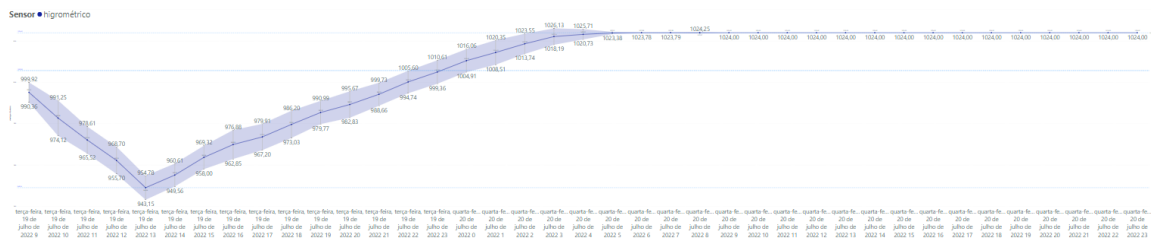


Figura 7: Sensor Higrométrico cenário 1 completo

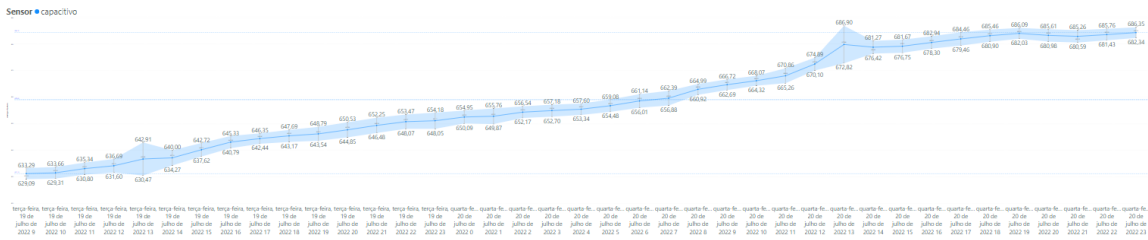


Figura 8: Sensor Capacitivo cenário 1 completo

Tabela 2: Detalhamento dos valores máximo, mínimo e média dos 3 sensores no período de 19/07/2022 a 23/07/2022.

Sensor	Máximo	Mínimo	Média
Sensor 1	715,87	631,19	684,14
Sensor 2	1024	948,96	1017,13
Sensor 3	545,86	191,96	434,93

tou uma variação de 64,83%. Logo, o sensor 03 apresentou a maior oscilação nos valores de leitura, em um cenário onde não houve oscilação de umidade. Já o sensor 02 apresentou a menor oscilação nos valores de leitura, no mesmo cenário.

4.3.2 Cenário 02

No cenário 02, a variação de umidade foi realizada manualmente, ou seja, foi adicionada água ao recipiente monitorado pelos sensores, em 4 momentos, por volta das 18h dos dias 23, 24, 25 e 26 de julho de 2022. O sensor resistente a corrosão (sensor 03) continuou a apresentar grandes variações na leitura dos seus valores, quando comparado ao cenário 01, o que pode indicar defeito no sensor, ou que ainda é necessário realizar alguma melhoria na sua calibragem, para uma leitura mais precisa. O sensor higrômetro (sensor 02) apresentou variação no dia 26 no momento em que foi adicionada a água (uma variação para valores aferidos referentes a solo seco) o que pode indicar problemas de danificação do sensor.

Logo, analisando os gráficos nas Figuras 9 e 10 é possível observar que os sensores 01 e 02 capturaram a tendência de acúmulo de umidade, o que foi refletido pela queda e estabilização dos valores lidos. Contudo, o sensor 02 apresentou uma falha na leitura a partir da última adição de água. Já o sensor 03 detectou a presença de umidade apenas na primeira adição de água, nas demais o sensor não foi capaz de detectar oscilações de umidade.

4.3.3 Cenário 03

No cenário 03, a variação de umidade também foi realizada manualmente, ou seja, foi adicionada água ao recipiente monitorado pelos sensores, em um único momento, contudo, diferentemente do cenário 02, no cenário 03 o recipiente ficou totalmente encharcado. Logo, analisando o gráfico da Figura 13 é possível observar que apenas o sensor 01 capturou a tendência de acúmulo de umidade, o que foi refletido pela estabilização dos valores lidos. Os sensores 02 e 03 apresentaram falha na leitura e não foram capazes de detectar a constância na umidade.

4.3.4 Cenário 04

No cenário 04, a variação de umidade também foi real-

izada manualmente, ou seja, foi adicionada água ao recipiente monitorado pelos sensores, em 6 momentos, contudo, diferentemente dos cenários 02 e 03, o recipiente ficou totalmente encharcado, mas permitindo drenagem. Logo, analisando o gráfico na Figura 17, e seu detalhamento nos gráficos das Figuras 18 à 20, é possível observar que os sensores 01 e 02 capturaram alterações de umidade. Por um lado, o sensor 01 apresentou valores que indicam que o solo permanecia úmido, por outro lado, o sensor 02 indicou o oposto, apresentando valores que indicam que o solo permanecia seco no mesmo período. É importante destacar que o sensor 02 identifica por um pequeno espaço de tempo a presença de umidade; o que pode indicar que as trilhas da resistência mais próximas à extremidade do sensor podem ter sido danificadas; logo, as trilhas que ainda funcionam são aquelas mais próximas à superfície do solo, as quais ficam secas mais rapidamente, conforme ilustrado na Figura 21. Já o sensor 03 apresentou valores de difícil interpretação, o que sugere uma forte possibilidade do mesmo estar danificado ou necessitar de alguma calibração adicional que os autores desconhecem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um sistema de gerenciamento remoto da irrigação localizada. Foram realizados experimentos em diferentes cenários e avaliada a confiabilidade dos sensores e do sistema como um todo. As leituras da umidade do solo utilizando um sensor higrômetro (FC-28) em uma horta doméstica, em um intervalo de 10 dias, apresentou problemas de corrosão. Já a realização dos testes de umidade e temperatura do ar, com o sensor DHT11, não apresentaram falhas. Outro problema observado foi o número limitado de portas do ESP8266, sendo necessária a utilização de um multiplexador de portas analógicas, deixando o sistema com maior custo e menor precisão de leitura dos sensores, além de consumir boa parte das portas digitais diminuindo o número de atuadores que podem ser conectados.

Com o desenvolvimento do sistema através da utilização de *protoboard*, placa perfurada e placa de circuito impresso, foi possível testar diversos problemas de falhas de conexão entre componentes, resistência e durabilidade; sendo a placa de circuito impresso aquela que não apresentou falhas de conexão entre componentes. Também foi possível observar que a configuração do microcontrolador NodeMCU ESP8266, quando utilizado como ponto de acesso à rede, apresentou falhas, chegando a travar sua execução em alguns momentos.

Como trabalhos futuros pretende-se utilizar a plataforma ESP32, que apresenta um maior número de portas para comunicação com periféricos e sensores, além de possuir uma capacidade de armazenamento e processamento maior; e, a utilização de sensores industriais mais robustos, devido os

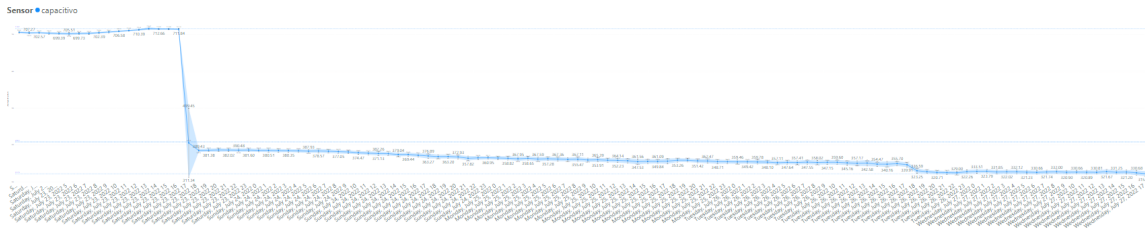


Figura 9: Variação dos valores lidos (média por hora) do sensor 01, no período de 23/07/2022 a 27/07/2022.

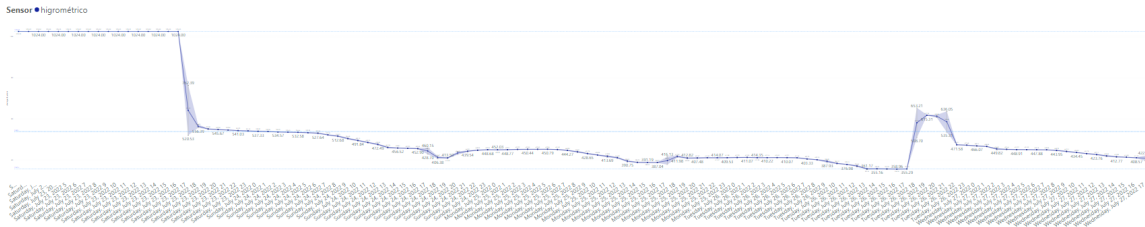


Figura 10: Variação dos valores lidos (média por hora) do sensor 02, no período de 23/07/2022 a 27/07/2022.

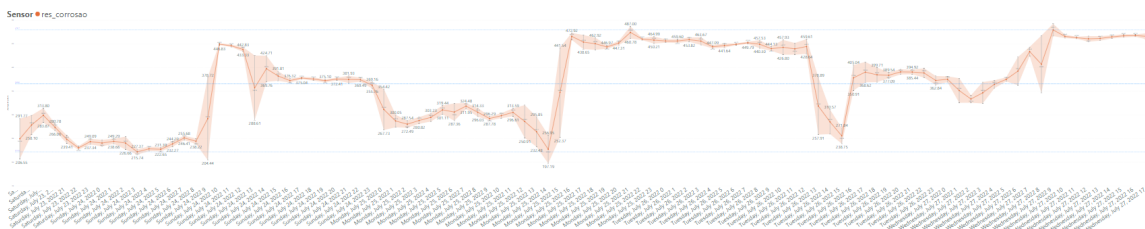


Figura 11: Variação dos valores lidos (média por hora) do sensor 03, no período de 23/07/2022 a 27/07/2022.

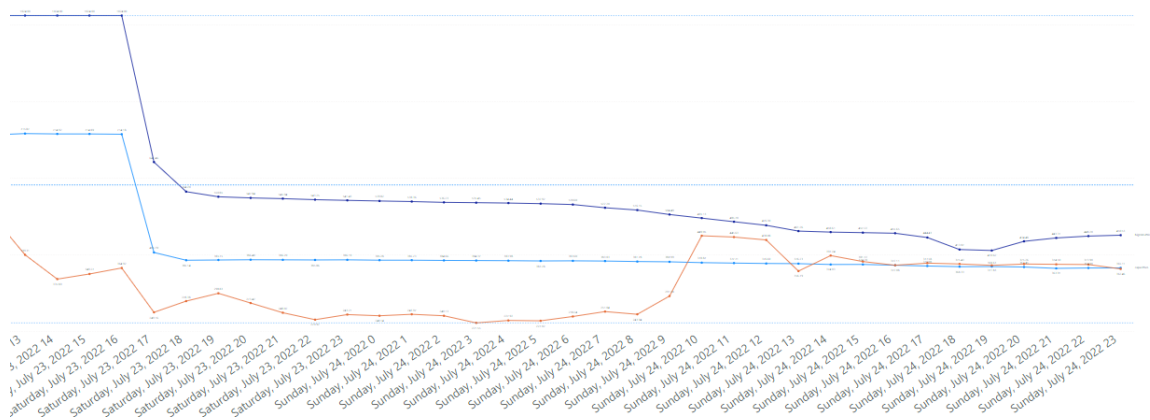


Figura 12: Comparativo dos valores lidos (média por hora) dos 3 sensores, no período de 23/07/2022 a 24/07/2022.

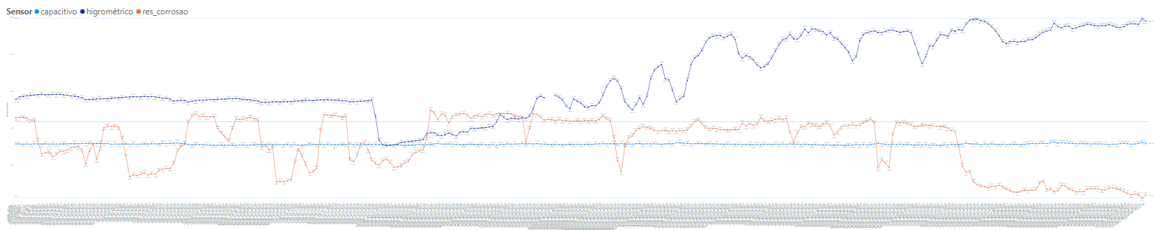


Figura 13: Variação dos valores lidos (média por hora) dos 3 sensores, no período de 27/07/2022 a 09/08/2022.

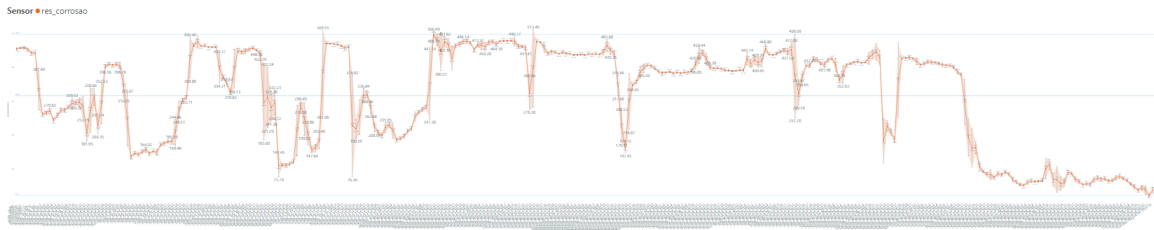


Figura 14: Sensor Resistente a Corrosão cenário 3 completo.

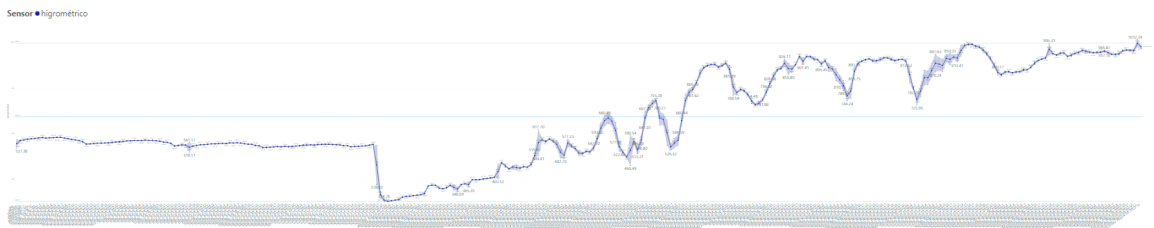


Figura 15: Sensor higrométrico cenário 3 completo.

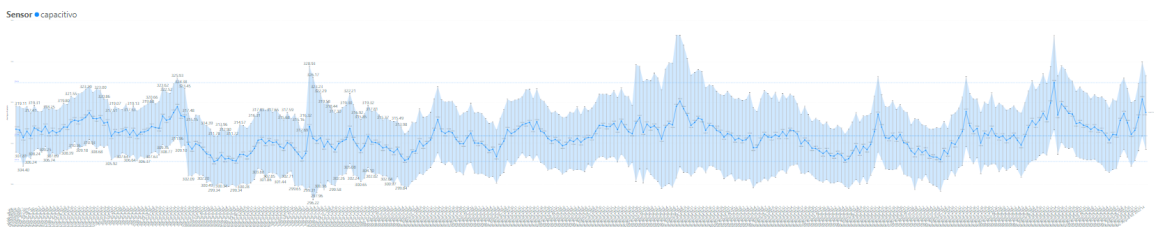


Figura 16: Sensor capacitivo cenário 3 completo.

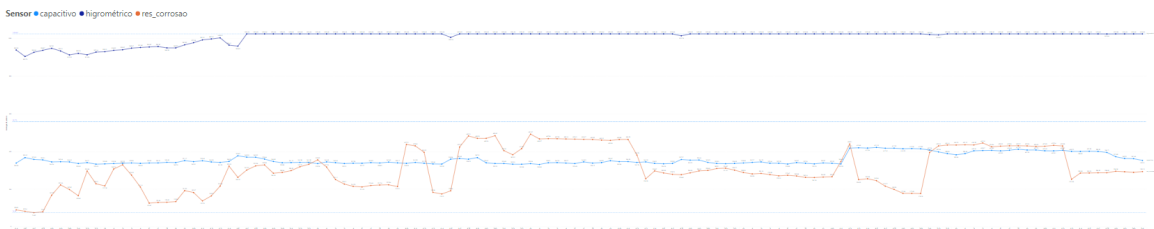


Figura 17: Variação dos valores lidos (média por hora) dos 3 sensores, no período de 09/08/2022 a 14/08/2022.

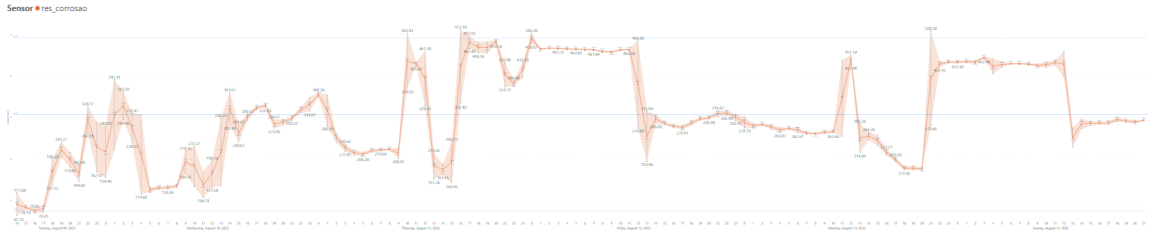


Figura 18: Sensor Resistente a Corrosão cenário 4 completo.



Figura 19: Sensor higrométrico cenário 4 completo.

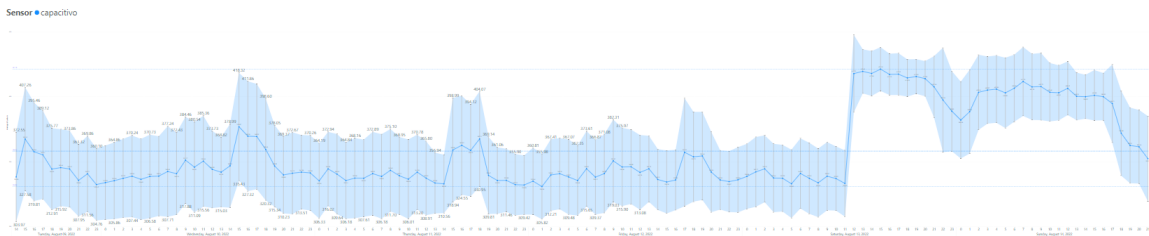


Figura 20: Sensor capacitivo cenário 4 completo.

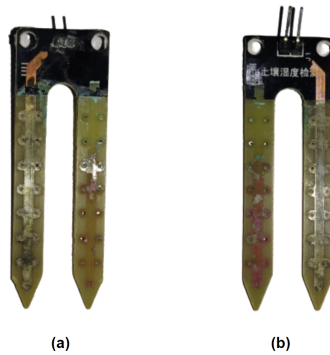


Figura 21: Sensor Higrométrico após a finalização do último cenário.

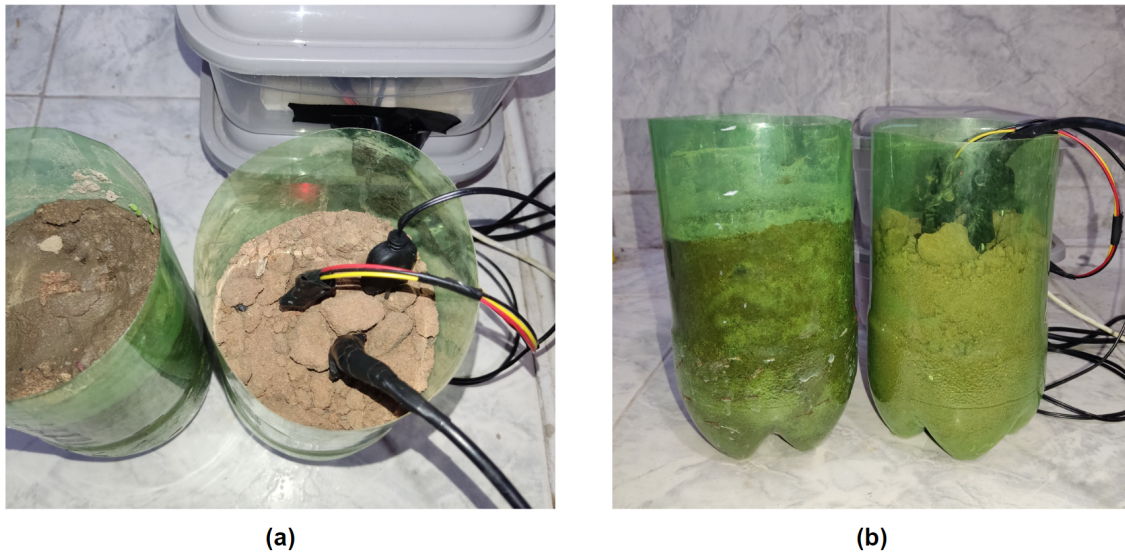


Figura 22: Exemplo dos materiais utilizados nos cenários experimentais.

resultados apresentados. Além disso, efetuar uma análise mais detalhada sobre os fatores de ruídos que podem impactar nos resultados; e, analisar experimentos em outros cenários com culturas, tamanhos e com condições meteorológicas diversas.

6. AUTORES ADICIONAIS

Francisco Rondynelle Rodrigues Sousa (IFCE campus Crato, email: rondynelle_17@hotmail.com).

7. REFERÊNCIAS

- [1] E. M. E. Ahmed, K. H. B. Abdalla, and I. khider Eltahir. Farm automation based on iot. In *2018 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, pages 1–4. IEEE, 2018.
- [2] R. Assaf and I. Ishaq. Improving irrigation by using a cloud based iot system. In *2020 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, pages 28–31. IEEE, 2020.
- [3] R. Barriviera and M. G. Canteri. *Informática básica aplicada às ciências agrárias*. EDUEL, 2008.
- [4] A. Borges, A. da Silva, D. d. C. Batista, F. Moreira, J. Flori, J. d. M. Oliveira, J. Araújo, J. Pinto, J. d. C. Castro, M. de MOURA, et al. Sistema de produção da bananeira irrigada. *Embrapa Semiárido-Sistema de Produção (INFOTECA-E)*, 2009.
- [5] CEPEA. Pib do agronegócio brasileiro tem crescimento de 8,3% em 2021. <https://www.cnnbrasil.com.br/business/pib-do-agronegocio-brasileiro-tem-crescimento-de-83-em-2021/>, March 2022.
- [6] S. de Oliveira. *Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI*. Novatec Editora, 2017.
- [7] B. C. L. B. Heinze. A importância da agricultura irrigada para o desenvolvimento da região nordeste.

Master's thesis, Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada da Ecobusiness School/FGV, Brasília Distrito Federal - Brasil, 2002.

- [8] I. Mat, M. R. M. Kassim, A. N. Harun, and I. M. Yusoff. Iot in precision agriculture applications using wireless moisture sensor network. In *2016 IEEE Conference on Open Systems (ICOS)*, pages 24–29. IEEE, 2016.
- [9] A. Sánchez-Mompó, H. Barbier, W.-J. Yi, and J. Saniie. Internet of things smart farming architecture for agricultural automation. In *2021 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*, pages 159–164. IEEE, 2021.