



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES

ESDRAS EMANUEL MARIANO MOREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MINIESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO
CUSTO BASEADA NA PLATAFORMA ARDUÍNO**

QUIXADÁ

2019

ESDRAS EMANUEL MARIANO MOREIRA

DESENVOLVIMENTO DE UMA MINIESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO
BASEADA NA PLATAFORMA ARDUÍNO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Me. Francisco Helder
Candido dos Santos Filho

QUIXADÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M837d Moreira, Esdras Emanuel Mariano.

Desenvolvimento de uma miniestação meteorológica de baixo custo baseada na plataforma arduíno / Esdras Emanuel Mariano Moreira. – 2019.

48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Redes de Computadores, Quixadá, 2019.

Orientação: Prof. Me. Francisco Helder Candido dos Santos Filho.

1. Sistemas embarcados (Computadores). 2. Estação meteorológica. 3. Análise. I. Título.

CDD 004.6

ESDRAS EMANUEL MARIANO MOREIRA

DESENVOLVIMENTO DE UMA MINIESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO
BASEADA NA PLATAFORMA ARDUÍNO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Redes de Computadores do Campus Quixadá da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Tecnólogo em Redes de Computadores.

Aprovada em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Francisco Helder Candido dos Santos
Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Marcos Dantas Ortiz
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Michel Sales Bonfim
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho aos meus pais, “In Memoriam”, meus maiores e melhores orientadores na vida. Aqui estão os resultados dos seus esforços. Muito Obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Flaviana Mariano, que sempre me deu apoio e incentivo e hoje olha por mim do céu. Ao meu pai Erivan Moreira, que sempre me motivou a estudar “esse negócio de computador” e que hoje também está assistindo essa vitória lá de cima. “In Memoriam”.

Aos meus irmãos, Camila Rhanna e Iarly Batista, por serem os melhores. Aos meus tios: Erika Lídia, Juciano Mariano e Silvana Mariano, por cuidarem de mim na ausência dos meus pais, a minha comadre, Ana Paula, pelo carinho e ajuda, e a toda minha família que me apoiou até aqui.

Aos meus amigos: Miqueias Maia, Livya Gabriella, Wemenson Chaves e Juliana Costa, por estarem sempre presentes nos melhores momentos e me apoiarem nos mais difíceis.

Aos meus amigos da faculdade Jardel Gonçalves, por me ajudar desde o começo da jornada, Marcelo Martins, pelas orientações, Cássio, pelo apoio técnico, Igor Lima, Antônio Carlos e Matheus Cavalcante pela ajuda nesse trabalho. A todos os meus amigos, antigos e novos que a universidade me deu.

A esta universidade e aos meus professores: Livia Almada, Arthur Callado, Marcos Dantas, Wladimir Araújo, Emiliano Pontes, Júlio Serafim, João Marcelo, Rubens Nunes, que tiveram um papel muito importante na minha formação.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Quanto tu sair, ame tua metamorfose. Cuide de você, seja como for faz do teu jeito, sem tropeçar!

(Supercombo)

RESUMO

O uso de tecnologias na agricultura configura-se hoje como um novo campo de oportunidades para a inovação tecnológica. Levando isso em consideração, o presente trabalho tem o objetivo de implementar uma miniestação meteorológica para recuperação de dados ambientais através da comunicação sem fio, gerando dados que possam ser utilizados pelo usuário, e pesquisadores na área e agricultores. Esta miniestação foi construída a partir do microcontrolador ESP32 e sensores de baixo custo que realizam a leitura de umidade do ar, temperatura, chuva e umidade do solo. A miniestação armazena os dados e os compartilha usando uma rede *Wi-Fi* para o usuário. Por fim, realizou-se uma comparação dos dados obtidos na miniestação Meteorológica, com os dados de uma estação meteorológica convencional localizada no Campus da UFC na cidade de Quixadá.

Palavras-chave: Sistemas embarcados. Estação meteorológica. Análise.

ABSTRACT

The use of technologies in agriculture is today a new field of opportunity for technological innovation. Taking this into consideration, the present work aims to implement a meteorological mini station to recover environmental data through wireless communication, generating data that can be used by the user, researchers in the area and farmers. This mini station was built from the ESP32 microcontroller and low-cost sensors that read air humidity, temperature, rain, and soil moisture. The mini station stores the data and shares it using the Wi-Fi network to the user. Finally, a comparison was made of the data obtained from the Meteorological Mini Station with data from a conventional weather station located at the UFC Campus in the city of Quixadá.

Keywords: Embedded Systems. Weather station. Analyze

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama básico de um sistema embarcado dotado de um microcontrolador monitorando o ambiente.	16
Figura 2 – Diagrama de bloco do Chip ESP32.	17
Figura 3 – Sensor DTH22.	19
Figura 4 – Sensor CS215 e alojamento.	20
Figura 5 – Sensor de chuva YL-83.	20
Figura 6 – Sensor de umidade do solo.	21
Figura 7 – Estação meteorológica da UFC - campus Quixadá	23
Figura 8 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos	27
Figura 9 – Esquema do projeto	28
Figura 10 – Miniestação montada. Em cima: Parte superior da miniestação. Em baixo: Parte interior da miniestação.	29
Figura 11 – local de experimentos	32
Figura 12 – Estações instaladas.	32
Figura 13 – Página WEB da miniestação	34
Figura 14 – Dados referente a umidade nos dias 19 a 20 de novembro	36
Figura 15 – Dados referente a umidade nos dias 20 a 22 de novembro	37
Figura 16 – Dados referente a temperatura nos dias 19 a 20 de novembro	39
Figura 17 – Dados referente a temperatura nos dias 21 a 22 de novembro	40
Figura 18 – Miniestação - 19 a 20 de Novembro	42
Figura 19 – Estação UFC - 19 a 20 de Novembro	42
Figura 20 – Miniestação - 21 a 22 de Novembro	43
Figura 21 – Estação UFC - 21 a 22 de Novembro	43
Figura 22 – Todos os dados da miniestação - Média - 21 a 22 de Novembro	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações do sensor DTH22	18
Quadro 2 – Especificações do sensor de temperatura e umidade - SDI12 CSL	19
Quadro 3 – Atributos da estação da UFC	22
Quadro 4 – Quadro de trabalhos relacionados	26
Quadro 5 – Materiais presentes na miniestação e seus valores médios.	28
Quadro 6 – valores médios de estações meteorológicas.	29
Quadro 7 – Valores médios da umidade das estações meteorológicas - dia 01.	37
Quadro 8 – Valores médios da umidade das estações meteorológicas - dia 02.	38
Quadro 9 – Valores médios de Temperatura das estações meteorológicas - dia 01.	40
Quadro 10 – Valores médios de Temperatura das estações meteorológicas - dia 02.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>14</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>14</i>
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Agricultura de precisão	15
2.2	Sistemas embarcados	15
<i>2.2.1</i>	<i>Microcontrolador ESP32</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Sensores</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2.1</i>	<i>Sensor de temperatura e umidade - DTH22 arduino</i>	<i>18</i>
<i>2.2.2.2</i>	<i>Sensor de temperatura e umidade convencional - CS215</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2.3</i>	<i>Sensor de chuva</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2.4</i>	<i>Sensor de umidade do solo</i>	<i>21</i>
2.3	Estação meteorológica	21
<i>2.3.1</i>	<i>Estação baseline</i>	<i>21</i>
2.4	Wi-Fi	23
3	TRABALHOS RELACIONADOS	25
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
4.1	Material	27
4.2	Viabilidade econômica	28
4.3	Montagem da miniestação	29
4.4	Construção da parte lógica	30
<i>4.4.1</i>	<i>Criação de um datalogger</i>	<i>30</i>
<i>4.4.2</i>	<i>Implantação do Wi-Fi na miniestação</i>	<i>31</i>
4.5	Coletar dos dados das estações	31
5	EXPERIMENTOS	32
5.1	Configuração dos experimentos	32
5.2	Coletas dos dados	33
6	RESULTADOS	34
6.1	Coleta dos dados	34

6.2	Análise das coletas	35
6.2.1	<i>Umidade relativa</i>	36
6.2.2	<i>Temperatura</i>	39
6.2.3	<i>Proporção umidade e temperatura</i>	42
6.2.4	<i>Chuva</i>	43
6.2.5	<i>Visão geral dos dados da miniestação</i>	44
7	CONCLUSÃO, DISCUSSÕES E TRABALHOS FUTUROS	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A produção de novas tecnologias para a agricultura através da interdisciplinaridade com as ciências da computação, configura-se hoje como um novo campo de oportunidades para a inovação tecnológica, tendo visto que outrora o estado da arte não possibilitava a implementação de ferramentas mais robustas e sofisticadas (BARRIVIERA; CANTERI, 2008). Outro fator desfavorável a este setor dava-se, ainda, por meio do campo social e trabalhista no qual se vivia, o que não provocava o interesse da parte rural (BARRIVIERA; CANTERI, 2008).

A Agência Nacional de Águas - ANA (2017) reforça a importância de criar estratégias para o manejo de recursos hídricos, de modo a reduzir o desperdício e eliminar custos. Com o atual estado da tecnologia, o desenvolvimento de aplicações voltadas para a automação do campo é uma realidade já vivenciada em diversas experiências (SANTOS *et al.*, 2018; MARTINEZ-COB; TEJERO-JUSTE, 2004; EDAN *et al.*, 2009).

Segundo Inamasu e Bernardi (2014), uma dessas estratégias é ter o levantamento de dados sobre o ambiente agrícola. Para tanto, pode-se utilizar soluções tecnológicas. O uso de dispositivos embarcados para a captura desses dados pode ser uma solução de baixo custo e eficiente. Estes equipamentos são capazes de capturar, armazenar e transportar dados. Um dos meios de transporte de dados se dá pela comunicação sem fio. A troca de informações por este tipo tecnologia têm o benefício de melhorar a mobilidade, sendo uma frente de rápido crescimento e que permite aos usuários acessarem redes e serviços sem um meio físico, utilizando diferentes protocolos, como *Wi-Fi* e *Bluetooth* (FERRO; POTORTI, 2005). Apesar dessa facilidade, o acesso a rede mundial de internet no meio agrícola ainda é limitado (ESTADÃO, 2019).

Neste contexto, considerando as possibilidades observadas, este trabalho tem como objetivo implementar uma miniestação meteorológica para recuperação de dados ambientais através de comunicação sem fio, local, utilizando recurso de baixo custo, baseado na plataforma de prototipagem Arduino. Além disso, os dados gerados a partir da miniestação podem ser utilizados futuramente para auxiliar no uso inteligente dos recursos hídricos.

Esta monografia está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, são apresentados os termos e conceitos necessários para entender o trabalho. Na Capítulo 3, são apresentados três trabalhos relacionados com o presente trabalho. O Capítulo 4 contém os procedimentos metodológicos que foram realizados durante a execução do trabalho. O Capítulo 5 é apresentado como foram realizados os experimentos. O Capítulo 6 discorre acerca dos dados coletados e dos resultados observados. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões finais do trabalho.

1.1 Objetivos

A seguir, serão apresentados os objetivos deste trabalho.

1.1.1 *Objetivo Geral*

Implementar uma miniestação meteorológica baseada na plataforma *Arduíno*, com o objetivo geral de contribuir no uso eficiente dos recursos hídricos na agricultura, em cenários sem acesso a *internet*.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- a) Prototipação da miniestação.
- b) Implantar a tecnologia *Wi-Fi* na miniestação para coleta dos dados.
- c) Desenvolver funções de coleta de dados.
- d) Coletar dados da miniestação fruto desse trabalho e da estação localizada na UFC (*baseline*).
- e) Validação da miniestação através da comparação da solução proposta com a estação da UFC .

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo, será apresentada uma visão geral sobre os conceitos abordados neste trabalho para um melhor entendimento da problemática tratada.

2.1 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão é uma abordagem de gerenciamento do campo usando tecnologia da informação. Uma dessas tecnologias é o sensoriamento remoto e a coleta de dados. A partir desses dados, pode-se melhorar o retorno de insumos e também reduzir os impactos ambientais (FERRÁNDEZ-PASTOR *et al.*, 2018). Segundo Coelho *et al.* (2004), é de suma importância ter o conhecimento sobre a irrigação e sua capacidade, aplicando uma tecnologia flexível referente a distribuição espacial da água. Um exemplo seria um sistema de irrigação por aspersão, através da instalação de electro-válvulas em nós chave da rede.

A agricultura de precisão é organizada com um sistema controlado em três etapas. Na primeira etapa é realizado a leitura, que consiste no levantamento e obtenção de dados sobre o que se deseja entender. A segunda etapa consiste na interpretação dos dados, fazendo um planejamento das operações a serem executadas no campo. Por fim, a terceira etapa realiza a execução de alguma ação escolhida. Juntas essas três etapas formam um ciclo (INAMASU; BERNARDI, 2014).

Neste trabalho, utilizara-se o primeiro estágio da organização da agricultura de precisão, a coleta de dados.

2.2 Sistemas embarcados

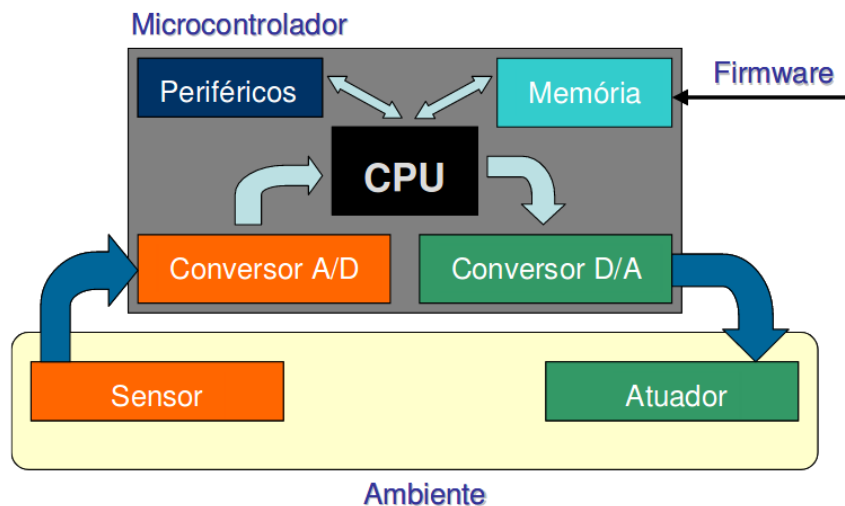
Segundo Cunha (2007), um sistema embarcado deve ser mais que um simples computador, ele é um sistema completo e independente, preparado para realizar uma determinada tarefa delegada a ele. Diferente dos computadores complexos que executam sistemas operacionais que podem suportar a utilização de diversas aplicações, os sistemas embarcados são construídos para executar apenas uma tarefa pré-determinada. Segundo Ossada e Martins (2010), o componente mais importante de um sistema embarcado é chamado de microcontrolador (MC), nele vem embutido a unidade central de processamento e os seguintes periféricos: barramentos de comunicação, memória volátil RAM (*Random-access memory*), memória não-volátil EEPROM (*electrically erasable programmable read-only memory*), conversor analógico-digital

(AD), conversor digital-analógico (DA), entre outros componentes.

O microcontrolador interage diretamente com os sensores do sistema, estes são responsáveis por monitorar o ambiente ou equipamento que está sendo controlado e enviar os sinais elétricos para o microcontrolador. Com base nos sinais enviados pelos sensores, e nos parâmetros definidos pelo usuário, o microcontrolador realiza o processamento necessário resultando no envio de sinais para atuadores e outros dispositivos relacionados que podem-se ser adicionados.

A Figura 1 ilustra o diagrama de um sistema embarcado de controle de ambiente, com módulos sensores aplicados.

Figura 1 – Diagrama básico de um sistema embarcado dotado de um microcontrolador monitorando o ambiente.



Fonte: Chase e Almeida (2007)

Segundo Barros e Cavalcante (2010), um microcontrolador pode incluir uma ampla pluralidade de dispositivos, como, por exemplo, conversores analógico-digitais e digital-analógicos, temporizadores, contadores, interfaces seriais, memória de instruções e/ou dados, controladores de interrupção, geradores de clock, controladores de memória, etc.

Há diversas categorias de componentes eletrônicos que podem ser adicionados a placa, orientados e programados para uma tarefa estabelecida. Esta plataforma faz uso de um microcontrolador com a finalidade de obter e transferir o fluxo de informações de forma dirigida por uso de *software* (SILVA *et al.*, 2014). Uma dessas tecnologias é a plataforma Arduino.

A definição de Arduino nasceu na Itália no ano de 2005, com o propósito de produzir um dispositivo para coordenar projetos e protótipos construídos, com custo inferior a outras plataformas disponíveis no mercado. A plataforma Arduino é *open-source*, ou seja, sua redistri-

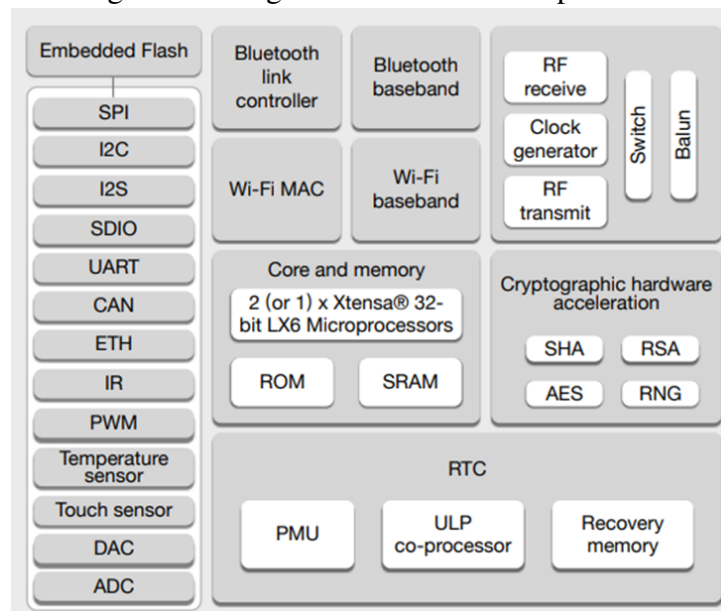
buição é livre, constituída em *hardware* e *software* designado as áreas de automação e robótica (SILVA *et al.*, 2014).

A plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* Arduino aplicado no módulo controlador ESP32, detalhado na subseção a seguir, foi utilizada neste trabalho para a configuração da miniestação.

2.2.1 Microcontrolador ESP32

O módulo ESP32 é um dispositivo IoT (Internet das Coisas). Ele é constituído por um microprocessador *dual core* Tensilica Xtensa de 32 bits com suporte à rede *Wi-Fi* 802.11 b/g/n e *bluetooth* versão 4.2, e com a memória flash integrada (MINATEL, 2017). O ESP32, possui 34 pinos GPIO (general-purpose input/output), ou seja, portas programáveis de entrada e saída de dados que são usadas para dispor uma interface entre os periféricos e os microprocessadores. Dentre os pinos GPIO, o ESP32 possui alguns tipos diferentes, dentre estes os pinos somente digitais, os habilitados para analógico, habilitados para toque capacitivo e entre outros. Os pinos GPIOs habilitados para toque capacitivo e GPIOs analógicos podem ser configurados como GPIOs digitais (ESPRESSIF, 2019).

Figura 2 – Diagrama de bloco do Chip ESP32.



Fonte: Fernando K (2018)

O diagrama apresentado na Figura 2 detalha o funcionamento do chip. Nota-se que, o ESP32 possui *dual core*, uma área para controlar o *Wi-Fi*, e outra que controla o *Bluetooth*.

Além disso, ele trabalha com aceleração de *hardware* para criptografia, que permite a conexão com LoRa (Long Range), rede de longa distância que permite uma conexão até 15 km, somente com a utilização de uma antena (FERNANDO K, 2018).

O ESP32 utiliza o sistema de arquivos chamado *SPI Flash File System* (SPIFFS). O SPIFFS é alocado em uma parte da memória. Essa parte é dividida em blocos lógicos, que são divididos em páginas lógicas, onde temos 4 MB de memória SPI flash nele (KOLBAN, 2017). O SPIFFS não suporta o uso de diretórios, porém pode-se produzir uma estrutura de nomeação de arquivo como se fosse diretórios. Para este trabalho a memória de 4 MB com a biblioteca *SPIFFS*^{1 2} foi suficiente para salvar nossos dados, pois, foram armazenados apenas uma quantidade específica de coletas em um arquivo.

2.2.2 Sensores

A utilização de sensores com a capacidade de capturar informações para auxiliar na agricultura vem ajudando no cultivo de plantações (PIX FORCE, 2016). Os sensores são equipamentos utilizados para medir fenômenos físicos tais como temperatura, pressão atmosférica, umidade e entre outros. Geralmente, os sensores possuem um elemento transdutor que fornecem um sinal elétrico que converte uma forma de energia em outra ou altera uma determinada grandeza elétrica, como resistência, capacitância ou indutância (SEIÇA, 2017).

A seguir são detalhados os sensores que foram utilizados neste trabalho.

2.2.2.1 Sensor de temperatura e umidade - DTH22 arduino

O DHT22 é um sensor de temperatura e umidade. Sua especificação é detalhada no Quadro 1. Ele realiza leituras de temperaturas entre -40 a +80 graus Celsius e umidade entre 0 a 100%, sendo muito fácil de usar com microcontroladores. A precisão (margem de erro) do sensor para medição de temperatura é de cerca de 0,5° graus Celsius e para umidade é de 5% (OLIVEIRA E, 2016).

Quadro 1 – Especificações do sensor DTH22 .

	Umidade	Temperatura
Faixa de medição	0 a 100%	-40 °C a + 80 °C
Precisão	+/- 5%	+/- 0,5 °C

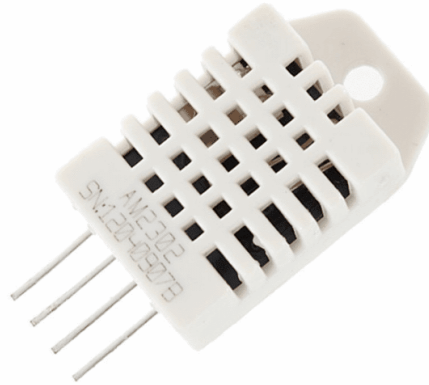
Fonte: Campbell Scientific (2019)

¹ <https://github.com/pellepl/spiffs>

² https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

A Figura 3 ilustra o sensor DHT22:

Figura 3 – Sensor DTH22.



Fonte: Oliveira E (2016)

2.2.2.2 Sensor de temperatura e umidade convencional - CS215

O CS215 é um sensor de temperatura e umidade relativa, que utiliza um elemento digital de umidade e temperatura que faz medições precisas e estáveis (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2019). No Quadro 2 é apresentado as especificações do sensor citado.

Quadro 2 – Especificações do sensor de temperatura e umidade - SDI12 CSL .

	Umidade	Temperatura
Faixa de medição	0 a 100%	-40 °C a + 70 °C
Precisão	+/- 4%	+/- 0,4 °C

Fonte: Campbell Scientific (2019)

Quando exposto à luz solar, o CS215 usa um alojamento de proteção contra radiação, exemplificado na Figura 4. Este sensor é utilizado na estação da UFC, que servirá de referência de comparação com a miniestação construída neste trabalho.

Figura 4 – Sensor CS215 e alojamento.



Fonte: Adaptado de Campbell Scientific (2019)

2.2.2.3 *Sensor de chuva*

Este sensor pode ser usado para monitorar uma variedade de condições climáticas, como gotas de chuva ou neve. O sensor verifica se há ou não presença de chuva. O limite entre tempo seco e chuva pode ser ajustado através do potenciômetro presente no sensor, que regulará a saída digital D0. O módulo de controle, ilustrado na Figura 5, tem 2 pinos que vão se comunicar com a placa do sensor, e na outra extremidade, 4 pinos de sinal e alimentação: A0 (sinal analógico), D0 (sinal digital), GND (terra) e Vcc (alimentação). A alimentação vai de 3.3 à 5 volts(ADILSON THOMSEN, 2014).

Figura 5 – Sensor de chuva YL-83.



Fonte: Adilson Thomsen (2014)

2.2.2.4 *Sensor de umidade do solo*

O sensor de umidade do solo é ideal em projetos de jardins inteligentes, com ele é possível desenvolver por exemplo, um sistema que rega automaticamente as plantas, que acione uma mangueira sempre que a umidade do solo estiver baixa. O sensor de umidade do solo funcionam detectando a umidade presente no chão. Quando o sensor detecta uma quantidade de umidade no solo, o valor lido pelo pino analógico aumenta, quando não há, esse valor diminui (AUTOCORE, 2019).

Na Figura 6 é mostrado o sensor de umidade do solo utilizado nesse trabalho.

Figura 6 – Sensor de umidade do solo.



Fonte: AutoCore (2019)

2.3 **Estação meteorológica**

Uma estação meteorológica é um conjunto de sensores que capturam diversos parâmetros meteorológicos. Esses sensores, convertem eventos físicos em sinais elétricos e são capazes de registrar, por exemplo, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar, chuva, pressão atmosférica entre outras variáveis (BRAGA *et al.*, 2011).

2.3.1 *Estação baseline*

A seguir, será detalhado as características da estação meteorológica da UFC, responsável pela medição das condições climáticas, a fim de comparação utilizada nos experimentos deste trabalho.

A estação meteorológica encontra-se instalada no campus da Universidade Federal do Ceará, na cidade de Quixadá. Ela serviu como *baseline* para as análises, salientando que a estação não recebe manutenções frequentes de especialistas. Abaixo, no Quadro 3, é possível observar os componentes da estação e seus respectivos modelos.

Quadro 3 – Atributos da estação da UFC

ITEM	MODELO	QUANTIDADE
Coletor de dados 900MHz-5 S.E.	CR206	01
Bateria 12VDC 7AH.	BAT 12V.7	01
Painel/Gerador/Módulo Solar 10W	KS10	01
Caixa plástica selada IP67 com suportes	CSB2916	01
Sensor de direção e velocidade do vento	03002-L	01
Sensor de temperatura e umidade relativa	CS215-L	01
Cabo 4M	CS215-L12	01
Abrigo termométrico 6 pratos R.M. Young	41303-5A	01
Sensor de radiação solar global	Apogee	01
Cabo 4M	CS300-L12	01
Base de nivelamento CS300	CSB18356	01
Pluviômetro R.M. Young 0.2MM/Tip	52203	01
Tripe de metal alumínio 3M com braço superior para sensores	CSB-CM10	01
Suporte para sensor de radiação solar	CM225	01
Braço superior de alumínio com adaptador CM210	-	01
Suporte para sensor de vento em ângulo reto	CM220	01
Transmissor de dados spread spectrum 910 a 918 MHz	RF401	01
Antena 900MHz para RF401	ANTRF401	01

Fonte: Caminha (2017)

Semanalmente os dados são coletados via radio e publicados no Github: <<https://github.com/npi-ufc-qxd/dataset-estacao-meteorologica>>. A estação da UFC é mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Estação meteorológica da UFC - campus Quixadá



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4 Wi-Fi

A rede *Wi-Fi*, conhecida também pelo padrão IEEE 802.11 (GAST, 2005; ARBAUGH *et al.*, 2002), estabelece uma série de padrões para a criação de redes locais sem fios (WLAN) para dispositivos como telefones celulares que precisam de instalação rápida. A partir disso, a tecnologia *Wi-Fi* pode fornecer uma conectividade *wireless* segura, confiável e rápida entre os mais variados dispositivos eletrônicos (MESQUITA, 2018).

O *Wi-Fi* opera em dois modos, ativo e passivo, usando procedimentos de digitalização, autenticação e associação (ABEDI *et al.*, 2013). O procedimento de digitalização é aplicado para descobrir os endereços MAC e outros parâmetros dos dispositivos *Wi-Fi* na área de cobertura do terminal, independentemente de o *Wi-Fi* estar no modo ativo ou passivo (FERRO; POTORTI, 2005).

A arquitetura básica de uma rede IEEE 802.11 é formada por equipamentos (*clusters*) denominados *Basic Service Set (BSS)*. Ela é caracterizada por um conjunto de estações que pretendem comunicar entre si, dentro de uma área comum, denominada de *Basic Service Area (BSA)*. Uma estação (STA) implementa as camadas físicas (PHY) e de acesso ao meio (MAC) e

tem acesso ao meio físico de transmissão, essa estação pode ser qualquer dispositivo que seja configurado com essas camadas (WESTCOTT *et al.*, 2011, P.28).

- **Infraestruturada:** Deve haver um *access point (AP)* que define o alcance e coordena as comunicações entre os dispositivos pertencentes à BSS. portanto, o AP funciona como um intermediário entre todas as comunicações, não havendo comunicação direta entre os dispositivos.
- **Não infraestruturada:** Nessa topologia as estações existentes se comunicam diretamente entre si. Portanto, não é utilizada uma entidade central que intermedeia os dispositivos, logo tem um alcance reduzido.

Usaremos a tecnologia *Wi-Fi* na miniestação, funcionando com um *access point* onde o usuário pode se conectar e comunicar a partir de qualquer dispositivo *Wireless* para a recuperação dos dados por meio de uma requisição.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

No trabalho de Bezerra (2017), foi construído uma miniestação meteorológica de baixo custo para uso na agricultura de precisão, com o objetivo de identificar variáveis ambientais e realizar o monitoramento de processos de cultivo e, a partir disso, gerar dados que possam ser utilizados pelo usuário. As informações são coletadas através de sensores que emitem sinais elétricos que são captados por um sistema de aquisição de dados (*datalogger*), que também fazem o armazenamento e processamento desses dados. Ela foi construída baseada na plataforma Arduíno com sensores de temperatura e umidade relativa, umidade do solo, sensor de partículas, sensor de detecção de chuva e um *display* para visualização de alguns dados. Todos os dados foram disponibilizados via rede para o *thingspeak*, uma plataforma de análise IoT (Internet of Things) que permite agregar, visualizar e analisar streams de dados.

Este trabalho estende o de Bezerra (2017), pois visa implementar uma miniestação baseada na plataforma Arduíno, acrescentando as funcionalidades relacionadas a comunicação dos dados da estação meteorológica com o usuário via *Wi-Fi* e realizar uma análise dos parâmetros da miniestação comparando com a estação meteorológica localizada no Campus da UFC em Quixadá.

A proposta desenvolvida por Chawla *et al.* (2015) foi construir uma estação meteorológica portátil e compacta para medir a temperatura e umidade local. Para isso, foi utilizado o sensor DTH-11 (temperatura e umidade) com o microcontrolador Arduíno Uno e também um módulo *bluetooth* (HC-05) para transmitir os dados obtidos pelos sensores para um Aplicativo *Android* chamado SENA BTERM, que permite visualizar os dados na forma de temperatura e umidade relativa pelo celular do usuário.

Este trabalho está relacionado com o trabalho de Chawla *et al.* (2015), porque também se trata de uma estação de baixo custo e de comunicação local, sem acesso à *Internet*. Inicialmente pensou-se em utilizar a tecnologia *bluetooth* para a coleta dos dados, visto que o módulo escolhido para este trabalho já suporta também o uso do *bluetooth*, porém, foi escolhido o uso do *Wi-Fi* por ser mais flexível e oferecer suporte para um maior número de dispositivos.

O trabalho de Albuquerque (2016) realizou a implementação de uma miniestação construída com um Arduíno Uno e com sensores para capturar os parâmetros de temperatura, umidade, luminosidade, pressão atmosférica e partícula. Para a comunicação com a internet e transferência dos dados foi usado um módulo *Wi-Fi* ESP8266. Foi consumida a plataforma *online ThingSpeak* para prover os dados para o usuário de forma gráfica através da *web*.

A pesquisa de Albuquerque (2016) utiliza basicamente sensores para coleta de informações ambientais, um módulo para conexão *Wi-Fi* com a *Internet* e uma plataforma *web* de armazenamento de dados em nuvem. O principal objetivo dessa estação é monitorar os incêndios de grandes proporções na área portuária.

A miniestação de Albuquerque (2016) se relaciona diretamente com este trabalho, visto que, foi utilizado sensores de baixo custos. Porém, no presente trabalho, não há comunicação com a *Internet*, tem-se apenas uma rede local onde o usuário que está nela pode capturar os dados da estação. Esse tipo de comunicação foi escolhido porque mesmo com a popularização do acesso a rede mundial de *Internet*, ainda há uma deficiência na conectividade do campo (ESTADÃO, 2019). Portanto, foi considerada o uso em cenários onde não há comunicação com a rede.

No Quadro 4 é mostrado a comparação em geral dos trabalhos relacionados:

Quadro 4 – Quadro de trabalhos relacionados

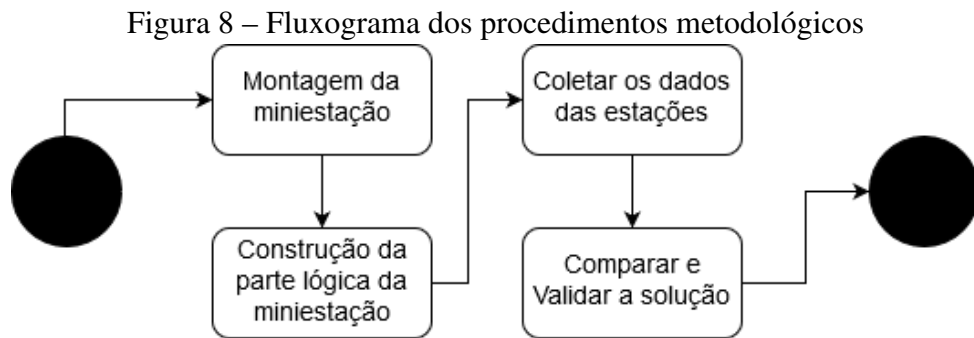
	Coletor sem fio	Coletor cabeado	Armazenamento interno	Conexão com <i>Internet</i>
Bezerra (2017)	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Chawla <i>et al.</i> (2015)	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
Albuquerque (2016)	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
Este trabalho	SIM	NÃO	SIM	NÃO

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este Capítulo descreve os procedimentos metodológicos do trabalho. Na Figura 8 é apresentado um fluxograma dos procedimentos metodológicos, onde se pode observar os passos necessários para a execução do trabalho. Os passos são os seguintes:

1. Prototipação da miniestação;
2. Construção da parte lógica da miniestação;
 - 2.1 Criação de um *datalogger*;
 - 2.2 Implantação do *Wi-Fi* na miniestação;
3. Coletar os dados das estações.
4. Comparar e Validar a solução.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Material

A miniestação é composta por um conjunto de sensores empregados em um microcontrolador para a obtenção de dados ambientais, armazenar e enviar esses dados quando requerido pelo usuário, como ilustrado na Figura 9.

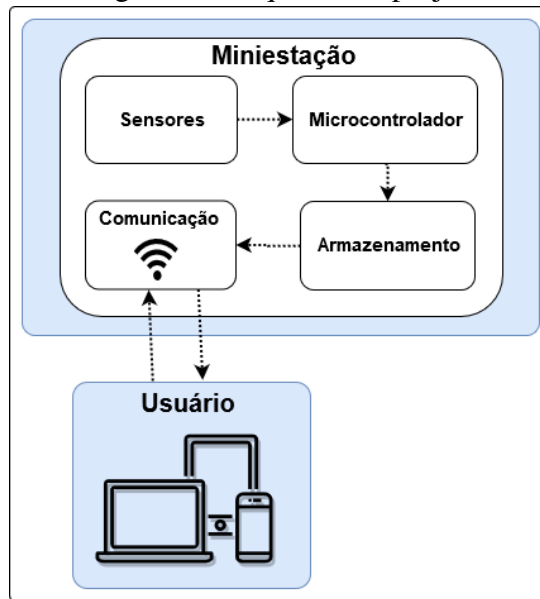
Os sensores que compõem a miniestação são os seguintes:

1. Sensor de temperatura e umidade - DHT2;
2. Sensor de chuva - YL-83;
3. Sensor de umidade do solo;

A partir desses sensores, tem-se os atributos de dados que serão coletados e armazenados na miniestação. Esses dispositivos são descritos abaixo:

1. Chuva %;
2. Temperatura do ar (min, max e média);

Figura 9 – Esquema do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Umidade relativa do ar % (min, max e média);
4. Umidade do solo % (min, max e média);

A escolha desses parâmetros se deu porque a estação da UFC (*baseline*), contém os mesmos atributos (mínimo, máximo e média) em relação à temperatura do ar e umidade do ar. Os valores de chuva e umidade do solo tem medições diferentes da estação da UFC, portanto, não foi possível realizar uma análise comparativa.

4.2 Viabilidade econômica

O foco da miniestação é no baixo custo, no Quadro 5 contém os equipamentos utilizados e seus respectivos valores médios e o valor total do projeto baseado em pesquisas feitas no mês de outubro de 2019.

Quadro 5 – Materiais presentes na miniestação e seus valores médios.

Material	Preço
ESP32	74,90 R\$
Sensor de Temperatura e Umidade - DHT22	25,90 R\$
Sensor de Chuva - YL-83	15,90 R\$
Sensor de Umidade do solo	10,50 R\$
Carregador Adaptador Celular 5v Fonte Usb	15,00 R\$
Total	142,20 R\$

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 6 contém exemplificado dois modelos simples de estações meteorológicas

e seus valores médios, é possível notar que mesmo sendo modelos básicos ainda assim são equipamentos caros, portanto a miniestação desenvolvida neste trabalho possui uma diferença considerável em comparação as estações meteorológicas disponíveis no mercado.

Quadro 6 – valores médios de estações meteorológicas.

Modelo	Preço
NOVOTEST	1.199,99 R\$
ITWH1080PC	2.590,00 R\$

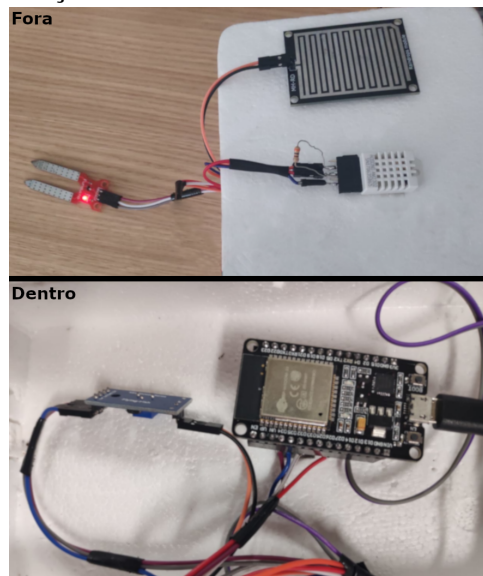
Fonte: Casas Bahia / Mundo Clima.

4.3 Montagem da miniestação

Nesta etapa, foi montada a parte física da miniestação. Inicialmente foi usado nela o microcontrolador *Arduíno*, porém houve a necessidade de adicionar um módulo *Wi-Fi* para realização da coleta dos dados. Portanto, foi decidido por utilizar o microcontrolador ESP32 que possui a tecnologia *Wi-Fi* embutido.

Considerando reduzir custos, foram dispensados os usos de duas *protoboards* que serviam de prototipagem para testes. Assim, os sensores foram soldados em pinos para o encaixe direto no microcontrolador. Utilizou-se uma caixa de isopor para encapsular e proteger o microcontrolador, enquanto os sensores ficaram fora da caixa, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Miniestação montada. Em cima: Parte superior da miniestação. Em baixo: Parte interior da miniestação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 10, é mostrado como foi montado a miniestação para os testes. Na parte de cima da figura, pode-se ver o lado de fora da miniestação, composta com o sensor de umidade do solo a esquerda, ao seu lado, o sensor de temperatura e umidade relativa do ar, e acima, o sensor de detecção de chuva. Abaixo da figura, tem-se a parte de dentro da miniestação, onde foram guardados o microcontrolador ESP32 e uma parte do sensor de chuva.

4.4 Construção da parte lógica

Depois da montagem física da estação, foi realizada a programação do microcontrolador, que por sua vez, foi realizada na plataforma Arduino, utilizando a linguagem de programação *wiring* baseada em C++.

4.4.1 Criação de um datalogger

O objetivo desse sub-passo foi configurar uma forma do cliente receber as informações da miniestação.

A miniestação não possuía um armazenamento para os dados coletados dos sensores. Os dados eram mostrados apenas na porta serial da IDE, portanto, precisava estar plugada a todo momento em um computador para a visualização. Para suprir esta limitação, foi arquitetada uma armazenagem de dados apenas para quando houver necessidade de coleta. Portanto, nessa etapa, foi implantado o armazenamento dos dados coletados em um arquivo CSV (*comma-separated-values*), ou seja, valores separados por vírgulas. A priori, idealizou-se usar um módulo para o suporte de um cartão *micro SD*, mas, visando a economia como princípio desta aplicação, utilizou-se a própria memória *flash* do ESP32. Para evitar o crescimento exorbitante do arquivo de log e economizar espaço, optou-se por armazenar apenas os dados da última semana. Quando o arquivo atinge 168 de linhas, ou seja, a quantidade de uma semana de dados, a primeira linha é deletada. O tamanho médio de arquivo com 168 linhas não passa de 8 KB (*kilobytes*), o maior arquivo testado, que possuía cerca de 4 mil linhas, seu tamanho foi de 104,37 KB. A memória do ESP suporta até 4 MB, a escolha de uma semana de dados se deu para quando aplicado no uso na agricultura, possa ter menos dados e os mais recentes para uma melhor manipulação dos mesmos.

Em seguida, utilizou-se uma lógica para guardar os dados como na estação da UFC. No algoritmo foram definidos vetores que guardam as informações coletadas a cada interação,

estabelecendo um *delay* de 1 minuto, totalizando 60 rodadas e, portanto, 60 minutos. Depois de armazenar os dados dos últimos 60 minutos temporariamente nos vetores, os dados são salvos na memória do microcontrolador a partir de funções que calculam os valores máximos, mínimos e médios dos sensores na última hora. Além disso, a cada interação, são guardados em um segundo arquivo todos os dados sem os cálculos feitos anteriormente, dessa forma, caso necessário, pode-se ter os valores a cada minuto.

4.4.2 Implantação do Wi-Fi na miniestação

A atual estação precisava se comunicar com um *smartphone*. A solução encontrada para atender a necessidade de acesso remoto aos dados coletados pela miniestação foi a utilização do microcontrolador ESP32, substituindo o Arduíno UNO, já que este não possui *Wi-Fi* integrado.

O *Wi-Fi* foi configurado para atuar como um *access point* na estação, para o usuário se conectar a estação e capturar os dados da mesma. Foi usado a biblioteca *ESPAsyncWebServer*¹ para enviar requisições assíncronas quando o usuário desejar buscar os dados. Foram definidos o SSID, senha e as rotas de requisição de *download* dos dados.

Com a configuração inicial de *Wi-fi* feita é possível atender às requisições do cliente. Quando ele realiza uma requisição GET HTTP, é retornado um arquivo com os dados de monitoramento para o usuário.

4.5 Coletar dos dados das estações

Após configurada uma rede *Wi-Fi*, foi proposto uma forma de capturar esses dados em um cenário onde não existe comunicação com a *Internet*, para tal foi configurado uma rede local, onde o microcontrolador funciona como um *Access Point* que os dispositivos podem intercomunicar-se e fazer requisições (HTTP). Com isso, foi desenvolvida uma página *web* simples. Os experimentos desse trabalho serão detalhados no Capítulo a seguir.

¹ <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>

5 EXPERIMENTOS

A seguir, serão apresentados os experimentos deste trabalho.

5.1 Configuração dos experimentos

Para a realização das leituras, a miniestação foi colocada ao lado da estação da UFC, uma distância de cerca de 10 metros, localizada no jardim do Campus da UFC na cidade de Quixadá, na região central do estado do Ceará. O local das coletas é ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – local de experimentos



Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

A miniestação instalada é mostrada na Figura 12. Marcado com um quadro vermelho é a estação da UFC, a baixo, a miniestação.

Figura 12 – Estações instaladas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Coletas dos dados

Após a instalação, foi realizada a primeira coleta das 20:00 horas do dia 19 de novembro até às 22:00 horas do dia 20 de novembro. Na manhã do dia 21, a estação foi desligada, sendo ligada novamente das 13:00 horas até às 13:00 do dia 22 de novembro. Em seguida foram coletados os dados da estação meteorológica localizada na UFC. A estação da UFC coleta dados periodicamente e a cada hora armazena os valores máximos, mínimos e médios dos seus parâmetros, bem como os utilizados na miniestação, como temperatura, umidade relativa e chuva.

Os dados da estação da UFC são disponibilizados semanalmente e publicados no Github: <<https://github.com/npi-ufc-qxd/dataset-estacao-meteorologica>>

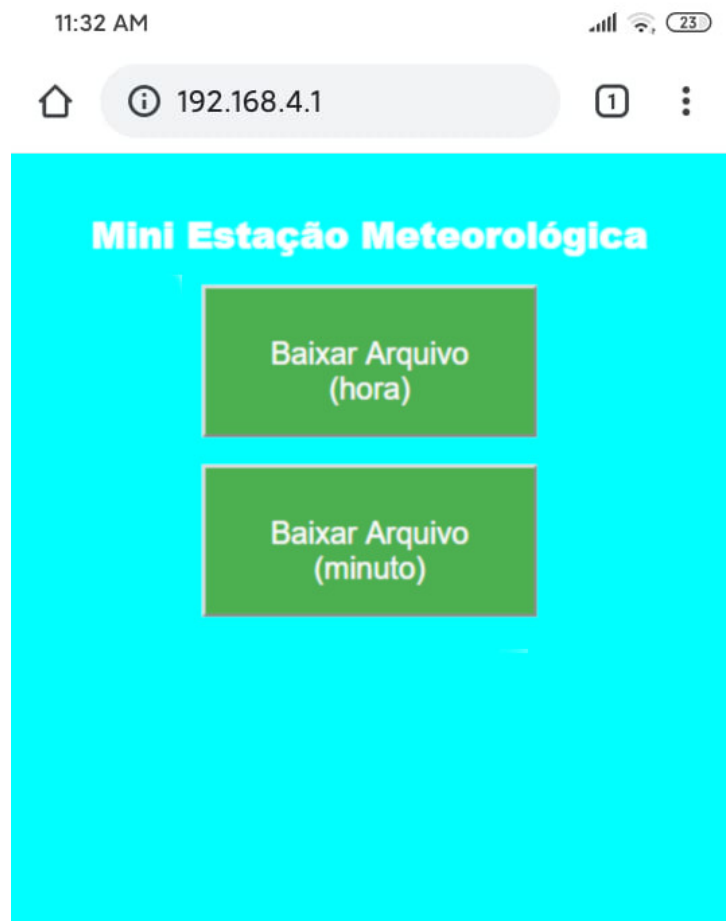
6 RESULTADOS

Neste Capítulo são apresentados os resultados encontrados nos experimentos.

6.1 Coleta dos dados

Nesta etapa foi criada uma página *WEB* para a coleta dos dados da miniestação a partir de um dispositivo com suporte a conexão *Wi-Fi*, de preferência *smartphones* por sua facilidade de uso e portabilidade. Como ilustrado na Figura 13, a página possui dois botões, o primeiro faz uma requisição para baixar os dados que foram armazenados a cada hora, com seus respectivos valores médios, máximo e mínimo de cada parâmetro, o segundo botão baixa o arquivo com as coletas a cada minuto.

Figura 13 – Página *WEB* da miniestação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a coleta, o usuário se conecta no *Wi-Fi* da miniestação e em abre a página *WEB* com o IP do servidor *WEB*.

6.2 Análise das coletas

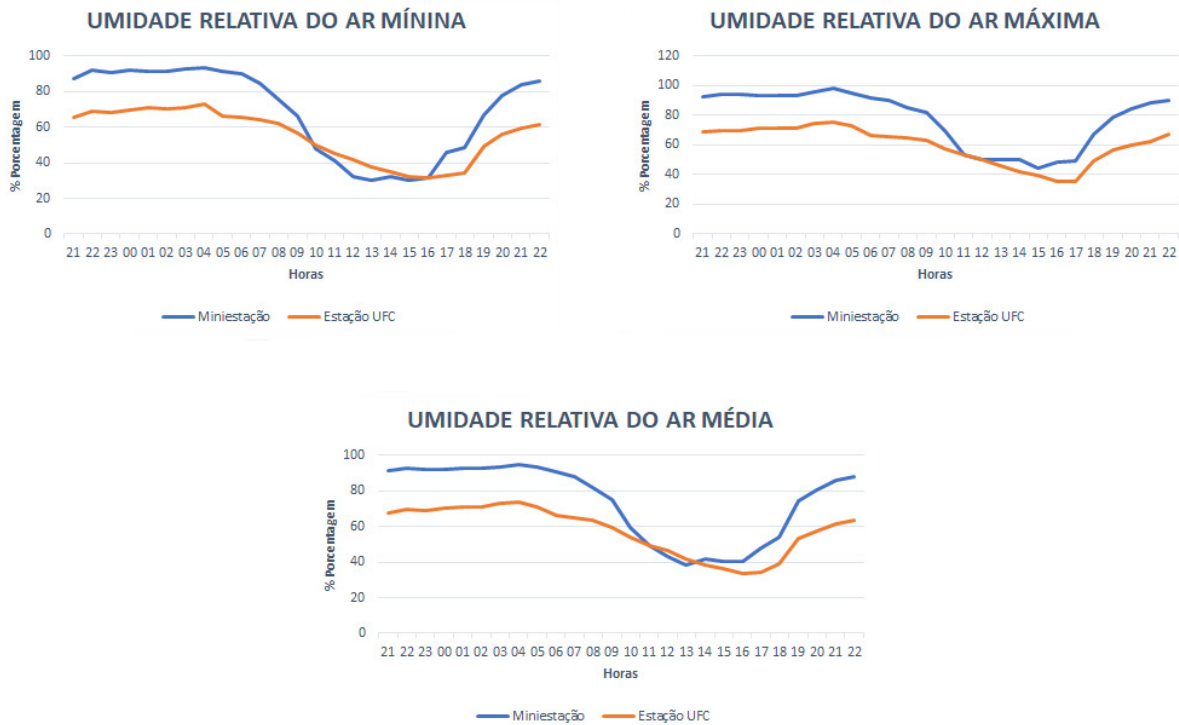
Nesta primeira etapa de testes foram coletados dados relativos à temperatura, umidade do ar e umidade do solo das 21h do dia 19 de novembro as 22h do dia 20 de novembro, em seguida foi realizado mais uma coleta das 13h do dia 21 de novembro as 13h do dia 22 de novembro.

Foi realizada uma análise comparativa dos parâmetros obtidos na miniestação desenvolvida, com a estação meteorológica localizada no Campus da UFC de Quixadá, denominada de (Estação UFC). Os sub tópicos a seguir mostram os resultados comparados.

6.2.1 Umidade relativa

Na Figura 14 são apresentados os gráficos acerca dos dados de umidade relativa das duas estações a fim de visualização. Primeiramente, pode-se observar que os dados de umidade relativa média do ar na miniestação permaneceram na casa dos 90% desde a hora que foi ligada até 06h da manhã, enquanto a estação UFC neste período se manteve um pouco abaixo dos 80%. Às 11h do dia 20 os valores se coincidem e perduram a uma margem de diferença menor até as 16h. Depois a diferença da miniestação volta a crescer e permanece com maior porcentagem em relação à estação UFC.

Figura 14 – Dados referente a umidade nos dias 19 a 20 de novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 7 são mostrados os valores máximo e mínimo das médias de umidade referente as duas estações, além da diferença média dos graus Celsius das duas. Foi constatado que o valor médio da diferença foi de 16,4

Notou-se que a miniestação atingiu uma umidade máxima de 98,2% entre 03:00h as 04:00h da manhã, enquanto a estação UFC nesse período atingiu 75,2, uma diferença significativa. No segundo dia de coleta a umidade da miniestação continuou acima em comparação com a estação UFC, porém a diferença ficou mais uniforme e com menos variações, como pode-se

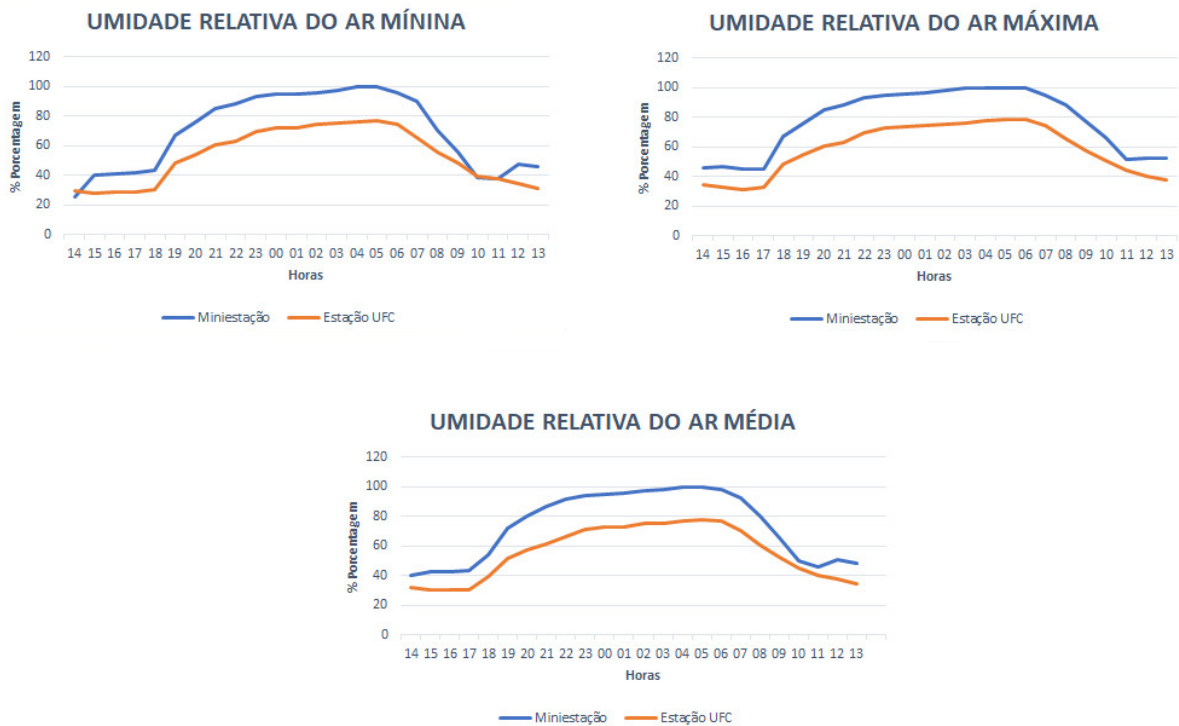
Quadro 7 – Valores médios da umidade das estações meteorológicas - dia 01.

	Miniestação	Estação UFC
Média máxima	94,6%	73,8%
Média mínima	38,6%	33,8%
Média da diferença	16,4%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

notar na Figura 15. No entanto, a miniestação chegou a atingir o valor de 99,9% de umidade, um valor bastante alto em comparação com a estação da UFC que fez 77,8% nesse período, porém ambos os valores foram os seus valores máximos do dia, uma diferença de 22,1%.

Figura 15 – Dados referente a umidade nos dias 20 a 22 de novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre os valores médios, a miniestação manteve sempre a cima em relação a estação UFC.

o Quadro 8, também exemplifica os valores máximo e mínimo das médias de umidade, onde a diferença da porcentagem média se manteve praticamente igual, enquanto no primeiro dia se obteve 16.4 % de discrepância, no segundo, 16.3%.

Quadro 8 – Valores médios da umidade das estações meteorológicas - dia 02.

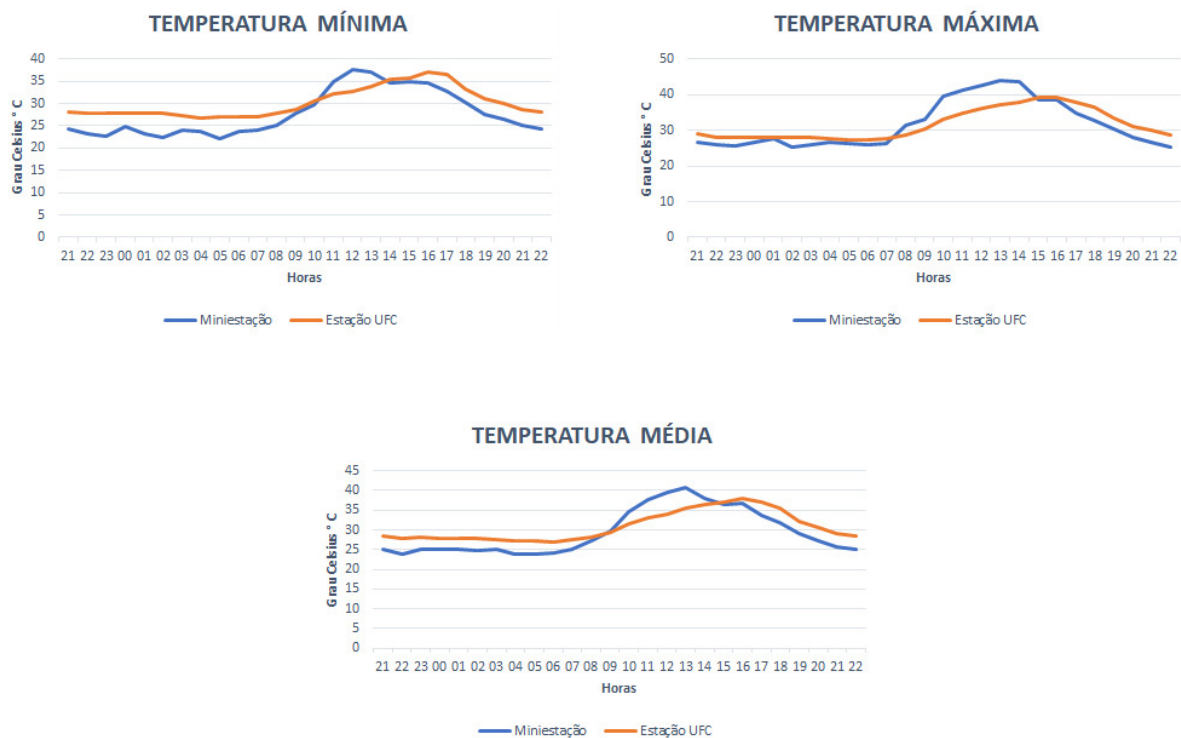
	Miniestação	Estação UFC
Média máxima	99.9%	77.8%
Média mínima	40.6%	30.1%
Média da diferença	16.3%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.2 Temperatura

A Figura 16 apresenta os gráficos referentes à temperatura. Foi observado que os valores de temperatura mínima se mantiveram em aproximadamente de 4.º a 8.º Celsius abaixo da estação da UFC no período das 21h, a hora que foi iniciado, até aproximadamente 09h do outro dia, a exceção ocorre no período entre 10h e 15h, onde a miniestação ultrapassa a estação UFC, muito provavelmente porque a miniestação estava sob sol, pois, não havia uma cúpula para proteger os sensores da radiação solar, enquanto a estação da UFC os sensores têm uma cúpula que os protege do sol e chuva. Esse fato se repete nos valores do gráfico de temperatura máxima no período da tarde, reforçando a teoria da sensibilidade a radiação solar do sensor de temperatura da miniestação.

Figura 16 – Dados referente a temperatura nos dias 19 a 20 de novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 9, são mostrados os valores máximo e mínimo das médias de temperaturas referente as duas estações, além da diferença média dos graus Celsius das duas. Notou-se que a diferença media da temperatura das estações foi de 2,9 graus Celsius, um valor relativamente aceitável visto a diferença do custo das duas estações.

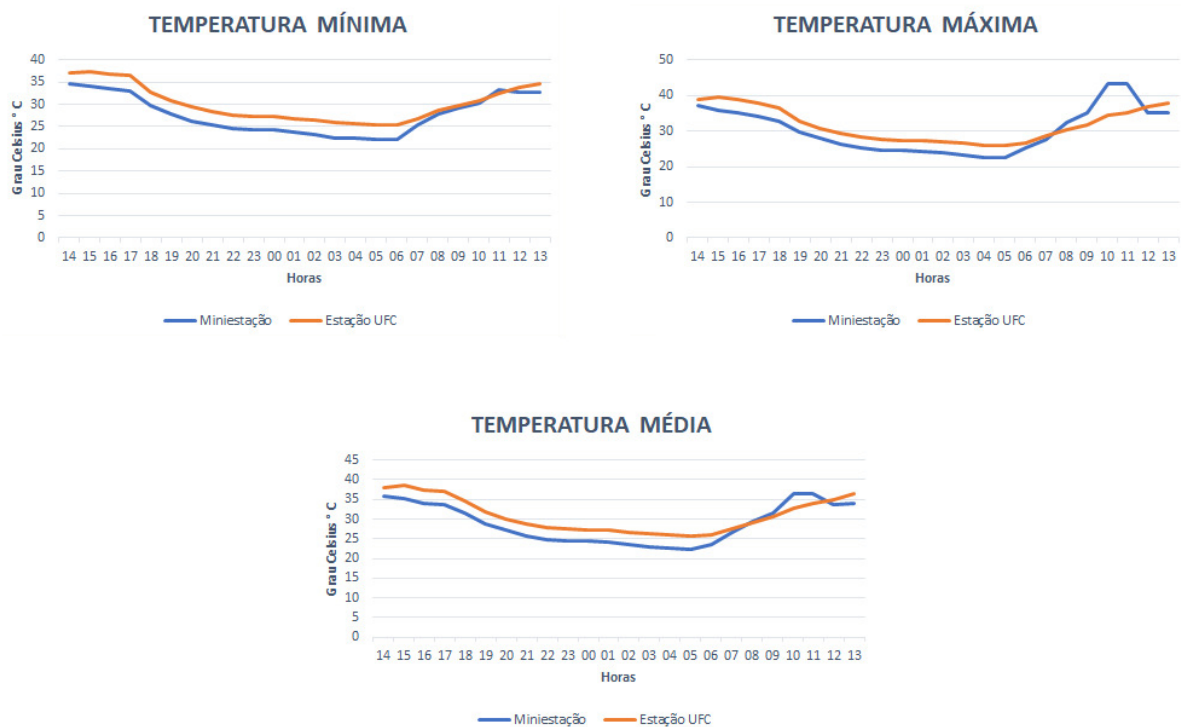
Quadro 9 – Valores médios de Temperatura das estações meteorológicas - dia 01.

	Miniestação	Estação UFC
Média máxima	40,9°C	38°C
Média mínima	24°C	27°C
Média da diferença	2,9°C	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao segundo dia de experimentos os equipamentos ficaram a maior parte do período da tarde na sombra, e de acordo com o gráfico de temperatura mínima na Figura 17 pode-se notar que no mesmo período da tarde os valores mínimos da miniestação se mantiveram abaixo da estação UFC e com menos variações. Porém, as temperaturas máximas tiveram um pequeno pico no período das 09h com duração até as 12h, isso aconteceu no mesmo horário justificado pela maior incidência solar no local.

Figura 17 – Dados referente a temperatura nos dias 21 a 22 de novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico de temperatura média do segundo dia, pode-se notar uma maior uniformidade nos valores em relação os valores médios do primeiro dia, com um pequeno crescimento dos valores em relação à estação UFC no período de 09h as 12h, o mesmo marca onde se teve o pico máximo, chegando a valor máximo de 43.º Celsius.

No Quadro 10, também são mostrados os valores máximo e mínimo das médias de temperaturas e a diferença média dos graus Celsius. Notou-se que a diferença média da temperatura das estações permaneceu entre 2 a 3 graus, porém teve uma queda de 0.3 graus, isso pode ser notado de cara no gráfico da Figura 17 em relação ao gráfico do primeiro dia de coletas.

Quadro 10 – Valores médios de Temperatura das estações meteorológicas - dia 02.

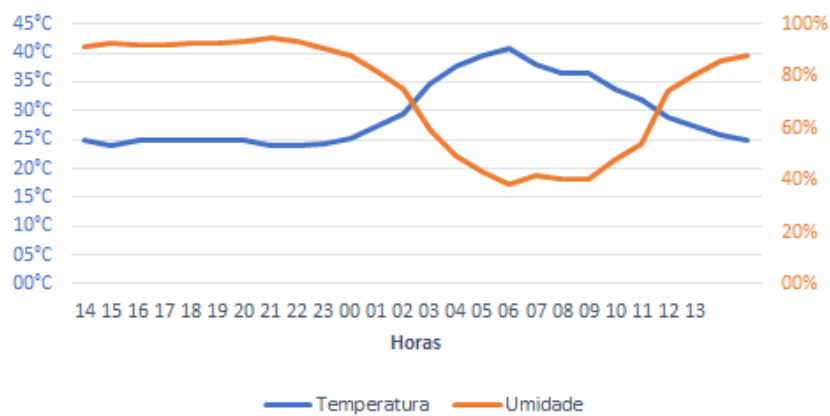
	Miniestação	Estação UFC
Média máxima	38.7°C	38.5°C
Média mínima	22.1°C	25.4°C
Média da diferença	2.6°C	

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.3 *Proporção umidade e temperatura*

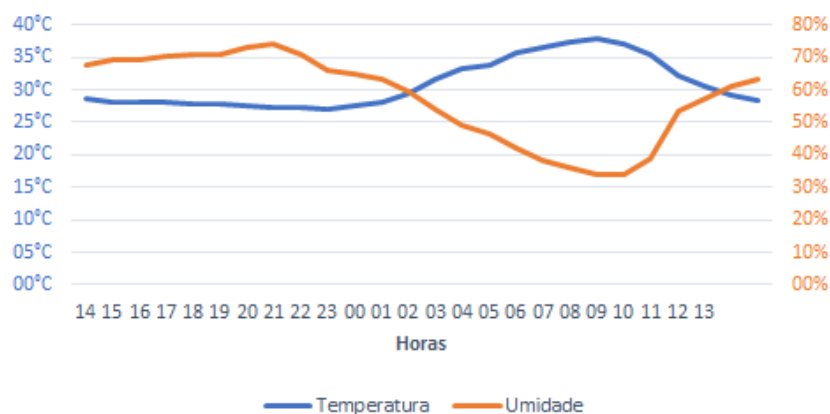
A princípio, os resultados dos dois dias de coletas forneceram informações de que temperatura e a umidade do ar são variáveis inversamente proporcionais nas duas estações, tendo em vista que a medida que o gráfico de temperatura decai, o de umidade cresce, e vice-versa. Pode-se perceber as temperaturas máximas e mínimas de cada dia analisado, bem como a umidade relativa do ar, e ainda, pode-se registrar o horário médio em que as mesmas ocorrem. As Figuras 18 e 19 ilustram os dados gerados pelas duas estações no primeiro dia.

Figura 18 – Miniestação - 19 a 20 de Novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

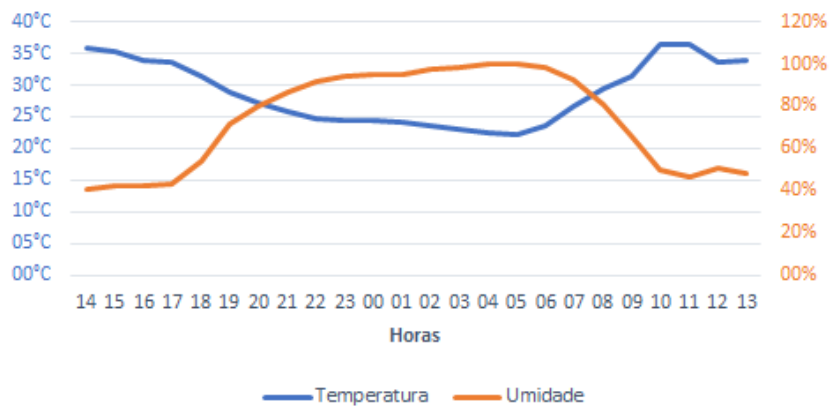
Figura 19 – Estação UFC - 19 a 20 de Novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

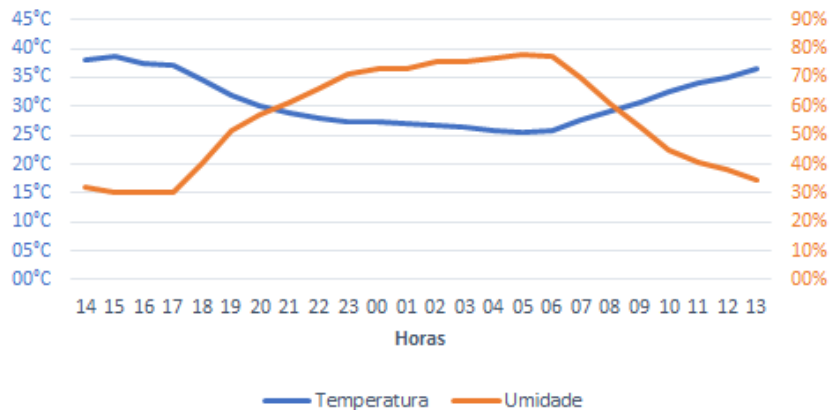
Nas Figuras 20 e 21 são apresentados os dados do segundo dia, pode-se notar que apesar da variação das duas estações em alguns momentos estarem desproporcionais, a relação das duas medidas permanecem inversamente proporcionais assim como no primeiro dia de coleta.

Figura 20 – Miniestação - 21 a 22 de Novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 – Estação UFC - 21 a 22 de Novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.4 Chuva

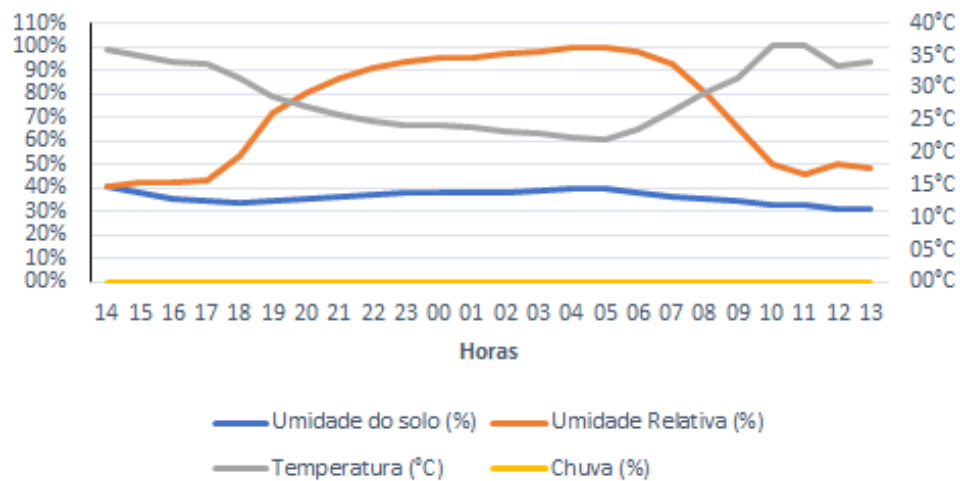
Os dados de chuva de ambas as estações nas duas coletas se mantiveram zeradas, a única diferença está na medida das duas estações, enquanto a estação UFC a medição de chuva é representada por milímetros, a miniestação trabalha com um sensor de detecção de chuva que verifica há chuva ou não e com isso pode fazer uma medição da intensidade da chuva, nesse caso,

foi realizada a porcentagem de intensidade, que também se manteve zerada.

6.2.5 Visão geral dos dados da miniestação

Na Figura 22 é mostrado a visão geral de todos os sensores da miniestação do segundo dia de coleta, apenas para demonstração de todos os seus dados em conjunto.

Figura 22 – Todos os dados da miniestação - Média - 21 a 22 de Novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se observar que na madrugada os dados de umidade do solo tiveram um leve crescimento e nesse período os dados de umidade relativa do ar teve um aumento significativo em contraponto ao de temperatura que apresentou diminuição, supondo assim que, a umidade relativa pode ter influenciado no leve crescimento da umidade do solo. No começo da tarde os dados de umidade do solo começaram a cair novamente. É mostrado também, os dados referentes a precipitação, esses dados mantiveram-se zerados durante todas as coletas.

7 CONCLUSÃO, DISCUSSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foi desenvolvido uma miniestação meteorológica de baixo custo utilizando um microcontrolador e sensores para medir parâmetros como, temperatura, umidade relativa, chuva e umidade do solo. Esse projeto teve como objetivo a obtenção de dados para auxiliar na agricultura. Na primeira etapa do trabalho foi levantado a parte física da estação, em seguida foi configurado a parte lógica das coletas dos dados e a forma de armazenamento dos mesmos. Os dados ficaram armazenados na própria memória do ESP32 em forma de arquivo *csv*, podendo ser baixado por um dispositivo com conexão *Wi-Fi*, por meio de uma página *WEB* local.

Foi dissertado acerca da construção da miniestação e seus resultados, em comparação aos resultados coletados de uma estação meteorológica profissional da UFC. Os testes de validação da miniestação aconteceram simultaneamente com a estação da UFC.

Compreende-se que a miniestação é viável, visto que, as leituras realizadas na estação UFC são equiparadas com a miniestação possibilitando a implementação para a obtenção dos mesmos dados com baixo custo. Porém, será de suma importância em trabalhos futuros realizar melhorias de acabamento em relação à proteção dos sensores e do microcontrolador.

Nas análises dos gráficos, a maior discrepância da miniestação se deu em determinados períodos, isto é, em períodos de grande incidência solar, onde houve maior ocorrência de temperaturas altas, além disso, houve diferença em relação a umidade no período noturno. Em geral, notou-se uma maior precisão do parâmetro temperatura quando comparado com a estação convencional, porém, a relação entre umidade e temperatura da miniestação estão no mesmo padrão inversamente proporcional como o da estação da UFC.

Os dados referentes a chuva se mantiveram zerados, porém, a comparação se tornaria limitada visto que as estações coletam esses dados em grandezas diferentes. Além disso, Ocorreu um problema técnico em uma das coletas no primeiro dia, a coleta de umidade do solo, onde o sensor se desligou, obtendo assim, apenas os valores do segundo dia.

Levando em consideração esses resultados, como trabalhos futuros pretende-se melhorar a precisão do tempo das coletas utilizando um módulo *timestamp* para coletar os dados na hora exata, visto que o microcontrolador não tem um relógio. Outro trabalho futuro é construir uma proteção para os sensores, melhorando com a questão da sensibilidade dos mesmos. Além disso, é interessante adicionar outras categorias de sensores.

REFERÊNCIAS

- ABEDI, N.; BHASKAR, A.; CHUNG, E. **Bluetooth and Wi-Fi MAC address based crowd data collection and monitoring: benefits, challenges and enhancement**. [S.l: s.n], 2013.
- ADILSON THOMSEN. **Sensor de chuva YL-83**. [S.l], 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-chuva-yl-83/>. Acesso em: 29 nov. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF, Brasil, 2017.
- ALBUQUERQUE, I. Estação meteorológica com arduino. **Genuino Day**, 2016.
- ARBAUGH, W. A.; SHANKAR, N.; WAN, Y. J.; ZHANG, K. Your 80211 wireless network has no clothes. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 9, n. 6, p. 44–51, 2002.
- AUTOCORE. **Sensor de Umidade do Solo**. [S.l], 2019. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/sensor-de-umidade-do-solo->. Acesso em: 30 nov. 2019.
- BARRIVIERA, R.; CANTERI, M. G. **Informática básica aplicada às ciências agrárias**. [S.l.]: EDUEL, 2008.
- BARROS, E.; CAVALCANTE, S. Introdução aos sistemas embarcados. **Artigo apresentado na Universidade Federal de Pernambuco-UFPE**, p. 36, 2010.
- BEZERRA, S. F. da C. **Uma mini estação meteorológica de baixo custo para o uso na agricultura de precisão em campo com acesso a internet**. 2017. Monografia (GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO) - UFC (Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, Brazil, 2017.
- BRAGA, A.; BRAGA, S.; FERNANDES, C. Estações meteorológicas automáticas: relato de uma experiência com sensores independentes em bacia experimental. **XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**, p. 1–16, 2011.
- CAMINHA, H. D. **Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando modelos preditivos e seleção de atributos**. 2017. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) - Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Quixadá, 2017. Disponível em: <http://www.repositoriobib.ufc.br/00003a/00003acb.pdf>. Acesso em: 16 set. 2019.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. **CS215-L - Temperature and Relative Humidity Probe**. 2019. Disponível em: <https://www.campbellsci.com.br/cs215-l>. Acesso em: 27 set. 2019.
- CHASE, O.; ALMEIDA, F. **Sistemas embarcados**. Mídia Eletrônica., v. 10, n. 11, p. 13, 2007. Disponível em: www.sbjovem.org/chase. Acesso em: 15 nov. 2019.
- CHAWLA, A.; BANGERA, T.; KOLWALKAR, C.; BHAT, M. Bluetooth based weather station. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, v. 28, n. 2, 2015.
- COELHO, J. C.; SILVA, L. M.; TRISTAN, M.; NETO, M. d. C.; PINTO, P. A. **Agricultura de precisão**. Prefácio, Lisboa: [s.n], 2004.
- CUNHA, A. F. O que são sistemas embarcados. **Saber Eletrônica**, v. 43, n. 414, p. 1–6, 2007.

EDAN, Y.; HAN, S.; KONDO, N. Automation in agriculture. In: **Springer handbook of automation**. [S.l.]: Springer, 2009. p. 1095–1128.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet**. 2019. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 4 nov. 2019.

ESTADÃO. **O desafio da conectividade no agro**. 2019. Disponível em: <https://especiais.estadao.com.br/canal-agro/agrotech/o-desafio-da-conectividade-no-agro/>. Acesso em: 7 dez. 2019.

FERNANDO K. **ESP32**: Detalhes internos e pinagem. 2018. Disponível em: <https://www.fernandok.com/2018/03/esp32-detalhes-internos-e-pinagem.html>. Acesso em: 13 Jul. 2019.

FERRÁNDEZ-PASTOR, F. J.; GARCÍA-CHAMIZO, J. M.; NIETO-HIDALGO, M.; MORA-MARTÍNEZ, J. Precision agriculture design method using a distributed computing architecture on internet of things context. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 18, n. 6, p. 1731, 2018.

FERRO, E.; POTORTI, F. Bluetooth and wi-fi wireless protocols: a survey and a comparison. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 12, n. 1, p. 12–26, 2005.

GAST, M. **802.11 wireless networks**: the definitive guide. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2005.

GOOGLE EARTH. **UFC - Campus Quixadá**. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. d. C. Agricultura de precisão. **Embrapa Instrumentação- Capítulo em livro científico (ALICE)**, In: BERNARDI, AC de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; INAMASU, RY (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 21-33., 2014.

KOLBAN, N. **Kolban's Book on ESP32**. [S.l.]: USA: Leanpub, 2017.

MARTINEZ-COB, A.; TEJERO-JUSTE, M. A wind-based qualitative calibration of the hargreaves et0 estimation equation in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v. 64, n. 3, p. 251–264, 2004.

MESQUITA, J. T. T. **Comunicação WiFi para monitorização móvel de sinais fisiológicos**. [S.l.: s.n], 2018.

MINATEL, P. **Os primeiros passos com o ESP32**. 2017. Disponível em: <https://imasters.com.br/iot-makers/os-primeiros-passos-com-o-esp32>. Acesso em 19 fev. 2019.

OLIVEIRA E. **Como usar com Arduino – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22/AM2302**. [S.l.]: BLOG Master Walker Shop Eletronic, 2016. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302/>. Acesso em: 29 nov. 2019.

OSSADA, J. C.; MARTINS, L. E. G. **Um estudo de campo sobre o estado da prática da elicitação de requisitos em sistemas embarcados**. [S.l.: s.n], 2010.

PIX FORCE. **Tecnologia agrícola**: a importância e principais inovações. 2016. Disponível em: <https://pixforce.com.br/tecnologia-agricola/>. Acesso em: 22 out. 2019.

SANTOS, F. A. de O.; SEGUNDO, P. d. C. S.; TELVINA, M. S.; CARVALHO, M. R. B. de. Protótipo de um sistema de irrigação baseado em iot para pequenos e médios produtores rurais. **Acta Tecnológica**, v. 12, n. 1, p. 21–32, 2018.

SEIÇA, Á. **Transdução**: processos de transferência na literatura electrónica e arte digital. [S.l.]: Edições Húmus, 2017.

SILVA, J. L. d. S.; MELO, M.; CAMILO, R. d. S.; GALINDO, A. L.; VIANA, E. C. Plataforma arduino integrado ao plx-daq: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no lm35. **XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA**, 2014.

WESTCOTT, D. A.; COLEMAN, D. D.; MILLER, B.; MACKENZIE, P. **CWAP Certified Wireless Analysis Professional Official Study Guide**: Exam pw0-270. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.