

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INTERNET DAS COISAS

DANIEL CARVALHO DIAS

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CHUVAS PARA PESQUISA APLICADA
EM MODELOS DE TERRAÇOS VERDES**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

DANIEL CARVALHO DIAS

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CHUVAS PARA PESQUISA APLICADA
EM MODELOS DE TERRAÇOS VERDES**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Internet das Coisas, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Internet das Coisas



TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE CHUVAS PARA PESQUISA APLICADA EM MODELOS DE TERRAÇOS VERDES

por

DANIEL CARVALHO DIAS

Esta monografia foi apresentada em 14 de Novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Internet das Coisas. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Guilherme Luiz Moritz
Orientador

Prof. M. Sc. Danillo Leal Belmonte
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico esse trabalho a minha mãe
Marilda que, como professora, e sempre
com muito carinho, nunca deixou de
explicar aos filhos a importância da
educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Thamille Casagrande, a João Paulo Mehl e todos os colaboradores do Terraço Verde Curitiba pela parceria inestimável que fez este projeto possível.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Guilherme Moritz, por nortear-me com muita sabedoria, disposição e paciência durante esta jornada.

Sou grato aos amigos João Paulo Zanelato Gonçalves e Lauri Paulo Laux Junior pela ajuda fundamental durante a montagem dos equipamentos utilizados na rede de sensores.

Deixo aqui registrado meu agradecimento aos professores e colegas do Curso, pela troca de conhecimento e experiência.

E, por fim, agradeço minha esposa, família e amigos por entenderem minha ausência durante o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

DIAS, Daniel C. **Sistema de medição de chuvas para pesquisa aplicada em modelos de terraços verdes.** 2019. 83 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A revolução tecnológica trazida pela Internet das Coisas visa conectar objetos cotidianos à internet, gerando grande quantidade de informações que podem ser utilizadas em diversas áreas, incluindo pesquisa e produção científica. Unindo esta tecnologia ao conceito de telhados verdes, surgiu a oportunidade de colaboração entre este projeto e uma pesquisa de mestrado cujo objetivo é comparar tipos de telhados verdes. A partir desta união, foi definida e implementada uma rede de sensores sem fio para monitorar um protótipo de comparação entre dois modelos de cobertura verde. Este protótipo foi instalado em um terraço na cidade de Curitiba. A rede de sensores sem fio foi implementada com o objetivo de efetuar leituras em sensores instalados no protótipo, enviando os dados coletados a um servidor disponível na internet, onde as informações são tratadas, ficando disponíveis para consulta a qualquer tempo. Esta monografia tem por objetivo descrever o processo de planejamento, desenvolvimento e instalação desta rede de sensores, bem como apresentar os resultados obtidos, problemas encontrados e possíveis melhorias.

Palavras-chave: Internet das coisas. Telhados verdes. Redes de sensores sem fio. MQTT. 6LoWPAN.

ABSTRACT

DIAS, Daniel C. **Rain measurement system for applied research on green roof models.** 2019. 83 p. Monografia de Especialização em Internet das Coisas, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The technological revolution brought by the Internet of Things aims to connect everyday objects to the Internet, generating a wealth of information that can be used in many areas, including research and scientific production. The combination of this technology and the concept of green roofs presented the opportunity of collaboration between this project and a master's research which has the goal of comparing types of green roofs. From this union, a wireless sensor network was defined and implemented to monitor a comparison prototype between two green roof models. This prototype was installed onto a terrace in the city of Curitiba. The wireless sensor network was implemented with the purpose of taking readings on sensors installed in the prototype, sending the collected data to a server available on the Internet, where this information is processed, and made available for access at any time. This monograph intends to describe the process of planning, development and installation of this sensor network, as well as presenting the results obtained, problems encountered and possible improvements.

Keywords: Internet of things. Green roof. Wireless sensors network. MQTT. 6LoWPAN.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visão geral da solução.....	19
Figura 2 - Projeto de implantação dos modelos de telhado verde.....	20
Figura 3 - Esquemático para placa com pluviômetro	38
Figura 4 - Esquemático para placa sem pluviômetro	39
Figura 5 - Aplicação de calibração de sensores capacitivos de umidade de solo	43
Fotografia 1 - Sensor de chuva FC-37	22
Fotografia 2 - Funil na parte superior do pluviômetro	25
Fotografia 3 - Parte interna do pluviômetro	26
Fotografia 4 - Sensor capacitivo de umidade do solo.....	27
Fotografia 5 - Sensor de temperatura DS18d20.....	29
Fotografia 6 - Raspberry Pi modelo 3B	32
Fotografia 7 - TI LAUNCHPAD CC2650, lado superior	33
Fotografia 8 - TI LAUNCHPAD CC2650, lado inferior	34
Fotografia 9 - Notebook com aplicação, destaque para sensores em amostra.....	44
Fotografia 10 - Placa perfurada com componentes instalados	56
Fotografia 11 - Parte inferior de placa perfurada.....	57
Fotografia 12 - Placa perfurada do modelo extensivo finalizada	58
Fotografia 13 - Caixa de passagem instalada	63
Fotografia 14 - Caixas de passagens instaladas ao lado do protótipo	64
Fotografia 15 - Border router instalado.....	65
Fotografia 16 - Sensores instalados no modelo extensivo	66
Fotografia 17 - Protótipo instalado	67
Fotografia 18 - Sensores de chuva oxidados	68
Fotografia 19 - Nova fixação para sensor de chuva	69
Fotografia 20 - Sensor de chuva ótico.....	75
Gráfico 1 - Calibração do sensor 1 com limites inferior e superior	47
Gráfico 2 - Calibração do sensor 2 com limites inferior e superior	48
Gráfico 3 - Calibração do sensor 3 com limites inferior e superior	49
Quadro 1 - Exemplo de mensagens em formato JSON	61
Quadro 2 - Disponibilidade da rede de sensores	71
Quadro 3 - Comparação histórico CPTEC/INPE contra pluviômetro.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de materiais utilizados	40
Tabela 2 - Faixas de leitura	46
Tabela 3 - Faixa de leitura para o sensor 1	47
Tabela 4 - Faixa de leitura para o sensor 2	48
Tabela 5 - Faixa de leitura para o sensor 3	49
Tabela 6 - Estado dos LEDs.....	51
Tabela 7 - Lista de sigla de sensores	52
Tabela 8 - Exemplos de mensagens enviadas.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS

GND	Do inglês <i>ground</i> , indica o polo terra ou negativo de uma tensão de corrente contínua
VCC	Tensão em corrente contínua. Polo positivo de uma tensão de corrente contínua

LISTA DE SIGLAS

6LoWPAN	<i>IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network</i>
AI	<i>Analogic Input</i>
CETIC	<i>Centre of Excellence in Information and Communication Technologies</i>
DI	<i>Digital Input</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
HTTPS	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MQTT-SN	<i>Message Queuing Telemetry Transport for Sensor Network</i>
PCB	<i>Printed circuit board</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RSMB	<i>Really Small Message Broker</i>
TI	Texas Instruments
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere, unidade de medida de corrente elétrica
cm	Centímetro
Kg	Quilograma
Kg/l	Quilograma por litro
KpF	Quilopicofarad, unidade de medida de capacitância elétrica
KΩ	Quiloohm
mA	Miliampere, que indica a milésima parte do ampere
ml	Mililitro
mm	Milímetro
°C	Graus Celsius
V	Volts, unidade de medida de tensão elétrica
Ω	Ohm, unidade de medida de resistência elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 PROJETO	18
2.1 REQUISITOS	18
2.1.1 Requisitos Funcionais	18
2.1.2 Requisitos Não Funcionais	18
2.2 VISÃO GERAL DA SOLUÇÃO	19
2.3 DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO	22
2.3.1 Sensores Utilizados	22
2.3.1.1 Sensor de chuva	22
2.3.1.2 Sensor pluviométrico	24
2.3.1.3 Sensor capacitivo de umidade de solo	26
2.3.1.4 Sensor de temperatura	28
2.3.2 Protocolos de Comunicação Utilizados	29
2.3.2.1 6LoWPAN	30
2.3.2.2 MQTT-SN / UDP	30
2.3.2.3 HTTPS / REST	31
2.3.3 Hardwares Utilizados	32
2.3.3.1 Raspberry Pi	32
2.3.3.2 Microcontrolador TI LAUNCHPAD CC2650	33
2.3.4 Softwares Utilizados	34
2.3.4.1 Contiki	34
2.3.4.2 CETIC 6LBR	35
2.3.4.3 Mosquitto RSMB	36
2.3.4.4 Python	36
2.3.4.5 Django	36
2.3.4.6 MariaDB	37
2.3.4.7 Docker	37
2.3.5 Esquemáticos de Montagem das Placas de Circuito Integrado	37
2.3.6 Lista de Materiais e Custos	39
3 DESENVOLVIMENTO	42
3.1 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES CAPACITIVOS	42
3.1.1 Metodologia Utilizada	42
3.1.2 Resultado da Calibração	45
3.2 IMPLEMENTAÇÃO	50
3.2.1 Microcontrolador TI LAUNCHPAD CC2650	50
3.2.1.1 Firmware	50
3.2.1.2 Ligação dos sensores	56
3.2.2 Border Router	58
3.2.3 Servidor em Nuvem	60

3.3	INSTALAÇÃO	62
3.4	PROBLEMAS ENCONTRADOS E SOLUÇÕES APLICADAS.....	67
3.4.1	Oxidação dos Sensores de Chuva.....	67
3.4.2	Dificuldade de Troca dos Sensores de Chuva	68
3.4.3	Sensor de Chuva de Ralo Deslocado Após Alagamento do Terraço.....	69
3.4.4	Travamento dos Microcontroladores LAUNCHPAD CC2650	70
4	RESULTADOS	71
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	78
	APÊNDICE A: Tabela de valores lidos durante a calibração dos sensores capacitivos de umidade de solo	79

1 INTRODUÇÃO

Telhados verdes são coberturas artificiais instaladas em edifícios e casas, formada principalmente por camadas de terra (ou substrato) e vegetação. A aplicação de telhados ou coberturas verdes vai além do cultivo de gramíneas, plantas ornamentais ou hortaliças, mas apresentando-se também como solução no controle de temperatura dos ambientes e absorção de água da chuva.

Existem diferentes formas de se implementar um telhado verde de acordo com as características da cobertura. A classificação dos tipos de cobertura verde é feita, segundo Silva (2011), de acordo com a necessidade de manutenção e irrigação, tipos de plantas, espessura do sistema, peso por metro quadrado, custo e uso.

Ainda de acordo com Silva (2011), os telhados verdes classificados como extensivos possuem pouca irrigação e manutenção, vegetação baixa, altura do sistema entre 6 e 20 cm, e peso por metro quadrado variando entre 60 a 150 Kg. Já coberturas verdes classificadas como intensivas demandam muita manutenção e irrigação, podem abrigar desde vegetação baixa até árvores, tem altura de 15 a 40 cm, além de peso por metro quadrado entre 18 a 50 Kg. Quanto aos custos, os telhados extensivos possuem custo por metro quadrado mais acessível que o das coberturas intensivas.

Neste contexto, este projeto une-se ao projeto de mestrado da arquiteta e pesquisadora Thamille Casagrande, em curso pela Universidade Federal do Paraná, colaborando na comparação entre diferentes tipos de telhados verdes.

A utilização de soluções com telhados verdes vem sendo bastante discutido, em grande parte na comunidade acadêmica. Diversos benefícios são apontados, incluindo atenuação das ilhas de calor, redução da emissão de gases do efeito estufa devido a fotossíntese, absorção do escoamento superficial, além de controle de temperatura (CASAGRANDE, 2019, p. 20).

Apesar da maior adoção do modelo extensivo devido ao menor custo e menor carência de manutenção, o projeto de mestrado da colega arquiteta visa desenvolver uma pesquisa comparativa entre os tipos de telhados verdes com foco nos benefícios gerados pelo modelo intensivo.

“Diversas pesquisas apontam que telhados verdes intensivos possuem melhor desempenho em relação a retenção do escoamento de águas pluviais e redução da temperatura superficial.” (CASAGRANDE *et al.*, 2019).

Para tanto, foi implementado um protótipo contendo ambos os sistemas, intensivo e extensivo, lado a lado, onde o desempenho de cada modelo deve ser medido.

A pesquisa proposta por Casagrande (2019, p. 22) propõe-se a analisar os telhados verdes intensivos em relação ao extensivos, comparando variáveis como variação de temperatura superficial e interna, capacidade de retenção de chuva e desenvolvimento da espécie a ser utilizada. Desta forma, o foco da análise é a variação que a dimensão da camada de substrato gera no desempenho do telhado verde em relação as variáveis mencionadas.

O convite para unir este projeto com a pesquisa da colega Thamille Casagrande partiu do Terraço Verde Curitiba, uma empresa curitibana focada em produtos e serviços para sustentabilidade urbana. O Terraço Verde disponibilizou um espaço na Rua Itupava, 1299, em Curitiba, onde o protótipo foi instalado.

A união dos projetos tem por objetivo a aplicação dos conceitos de Internet das Coisas na implementação de uma rede de sensores para efetuar a medição dos parâmetros necessários à pesquisa comparativa entre os modelos intensivo e extensivo de telhados verdes.

1.1 PROBLEMA

O problema a ser resolvido por este projeto está diretamente ligado às necessidades da pesquisa comparativa entre os tipos de telhados verdes, de acordo o que está definido na pesquisa da colega Thamille Casagrande (CASAGRANDE, 2019, p. 23). Em sua dissertação, a colega descreve dois experimentos, sendo o segundo relacionado com este projeto.

Este segundo experimento remete a comparação entre telhados verdes intensivos e extensivos, citando três variáveis a serem analisadas, e que serão detalhadas nos próximos parágrafos: temperatura interna dos ambientes logo abaixo do protótipo, atraso de pico e retenção de águas pluviais.

A variável de temperatura interna, por tratar da medição em escritórios no andar exatamente abaixo do experimento, será tratada por outra empresa já instalada no mesmo prédio.

Já o cálculo do atraso de pico e da retenção de águas pluviais serão o foco deste projeto, incluindo a medição da temperatura na superfície do telhado verde.

O problema a ser solucionado depende da coleta das seguintes informações em relação ao protótipo:

- Quantidade de precipitação de chuva (em litros, por evento de chuva);
- Quantidade de água contida no solo de cada modelo (em litros, em intervalos determinados);
- Atraso de pico, que é calculado pela diferença de tempo entre o início da chuva, e a chegada da água no ralo de cada modelo (em segundos, por evento de chuva);
- Variação de temperatura no solo de cada modelo (em graus Celsius, em intervalos determinados).

A coleta dos dados precisa ser efetuada por um período mínimo de três meses, sendo entregue com tratamento apropriado, e nas unidades de medidas descritas acima. A entrega pode ser feita em arquivo com formato que possa ser importado por planilha eletrônica.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma rede de sensores sem fio que seja capaz de efetuar medições no protótipo sugerido, enviando os dados coletados para uma base de dados centralizada, onde as informações serão tratadas e armazenadas, podendo ser consultadas a qualquer momento, sendo disponibilizadas em formato apropriado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Lista-se abaixo os objetivos específicos deste projeto:

- Apresentar o projeto da rede de sensores, considerando os motivos de escolha de cada item selecionado;
- Apresentar as tecnologias utilizadas e detalhar a solução técnica adotada;
- Detalhar a implementação da solução de acordo com as necessidades de medição do projeto de pesquisa;
- Demonstrar como a instalação foi efetuada no protótipo disponível para pesquisa;
- Apresentar o material utilizado e seu custo;
- Relatar os problemas encontrados durante a implementação do projeto e as soluções adotadas;
- Apresentar os resultados obtidos;
- Sugerir possíveis melhorias e próximos passos do projeto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os assuntos tratados nesta monografia, telhados verdes e internet das coisas, reúnem dois temas muito atuais.

Segundo Baldessar (2012), telhados verdes são soluções ecológicas eficientes no controle de temperatura e de enchentes quando presentes de forma numerosa nos meios urbanos.

A produção de projetos de pesquisa sobre o tema reúne justificativas para uma maior adoção das coberturas verdes, podendo futuramente ser utilizado para alavancar políticas públicas de incentivo a sua instalação.

No que tange a criação de redes de sensores sem fio, a produção científica sobre temas ligados à tecnologia urbana estimula o emprego desta em diversas outras soluções para melhorar a qualidade de vida nas grandes cidades, possibilitando que as soluções técnicas descritas neste projeto de pesquisa possam ser adotadas em outras implementações.

Outro ponto a ser destacado é a colaboração entre projetos de pesquisa que envolve distintas instituições de ensino, aliado também à iniciativa privada, criando um novo motivador para a produção científica que vai além da simples cooperação entre pesquisadores, pois produz conhecimento compartilhado entre áreas de expertise que, normalmente, não se relacionam.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco partes. Nesta sessão introdutória foram tratados o tema deste projeto, o problema proposto, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a estrutura geral da monografia.

A segunda parte trata de como a solução foi projetada, definindo os requisitos funcionais e não funcionais do projeto, apresentando uma visão geral, seguida por um detalhamento da solução e dos componentes utilizados.

Na terceira parte apresenta-se como o projeto foi desenvolvido, explicitando sobre a calibração de sensores, detalhes da implementação, instalação, e expondo os problemas encontrados e as soluções adotadas.

Já na quarta parte serão exibidos os resultados obtidos na implementação, observando se os requisitos definidos no planejamento foram ou não atingidos.

A quinta e última parte apresenta as considerações finais desta monografia, retomando o problema proposto e os objetivos traçados, ponderações sobre os resultados obtidos, lições aprendidas, possíveis melhorias na solução implementada, a continuidade deste projeto em implementações futuras.

2 PROJETO

Para atender aos objetivos traçados para esta monografia foi criado o projeto a seguir, que define e detalha como a solução deve ser implementada.

2.1 REQUISITOS

Estão listados abaixo os requisitos funcionais e não funcionais definidos para que este projeto de pesquisa atenda seus objetivos.

2.1.1 Requisitos Funcionais

RF01 – Determinar atraso de pico através da diferença de tempo entre a detecção de chuva na superfície do protótipo, e a detecção da chegada da água ao ralo de cada um dos modelos, em segundos, por evento de chuva.

RF02 – Determinar a quantidade de água precipitada (pluviosidade), em litros por modelo, por evento de chuva.

RF03 – Determinar a quantidade de água absorvida por cada um dos modelos, em litros, em intervalos de tempo determinados.

RF04 – Determinar a temperatura em cada um dos modelos, em graus Celsius, em intervalos de tempo determinados.

RF05 – Apresentar os dados dos requisitos funcionais 1 a 4 através de tabela e gráfico, ou exportando-os para formato de fácil manipulação, como valores separados por vírgula (em inglês *comma-separated values*, cuja extensão de arquivo é comumente conhecida como .CSV), podendo este arquivo ser facilmente importado para software de planilha eletrônica.

2.1.2 Requisitos Não Funcionais

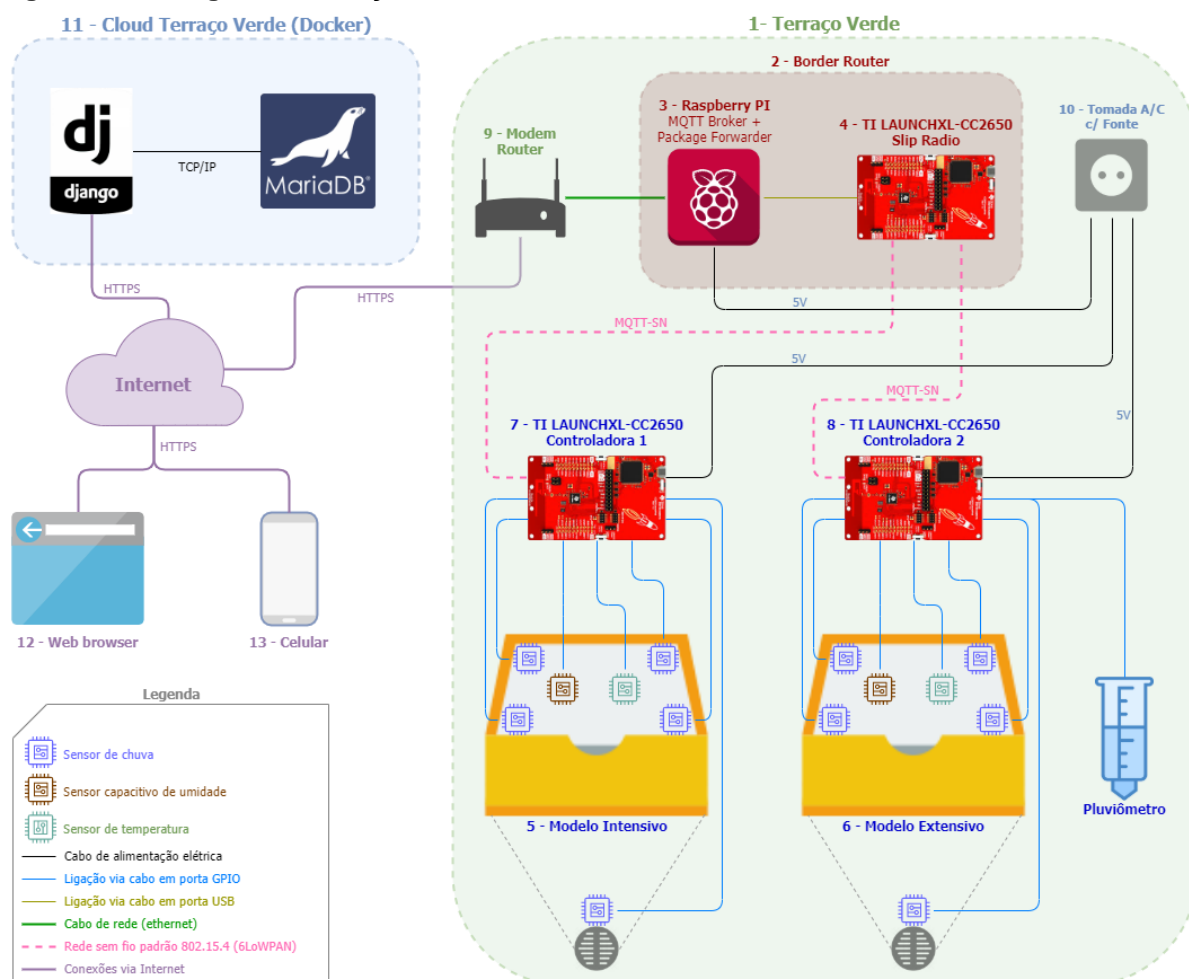
RN01 – Efetuar coleta de dados por pelo menos 3 meses, com disponibilidade média da rede de sensores de, no mínimo, 80%.

RN02 – Manter base de dados em plataforma online, de alta disponibilidade e com procedimentos de cópia de segurança.

2.2 VISÃO GERAL DA SOLUÇÃO

Este item, ilustrado na Figura 1, apresenta diagrama contendo os componentes que formam a solução projetada, acompanhado de descrição de cada componente.

Figura 1 - Visão geral da solução



Fonte: Autoria própria.

A solução está projetada para ser implementada em dois domínios. Como pode ser visto nos itens numerados, ainda na Figura 1, o projeto define a instalação de equipamentos no Terraço Verde (item número 1 na Figura 1) e da utilização de servidor disponibilizado em nuvem (item número 11 na Figura 1).

No Terraço Verde devem ser montados os conjuntos de hardware e sensores responsáveis pela leitura dos dados e envio dos mesmos para o servidor em nuvem. Estes conjuntos estão dividido em três nós: a) modelo intensivo (item

número 5 na Figura 1), b) modelo extensivo (item número 6 na Figura 1), e c) *border router* (item número 2 na Figura 1).

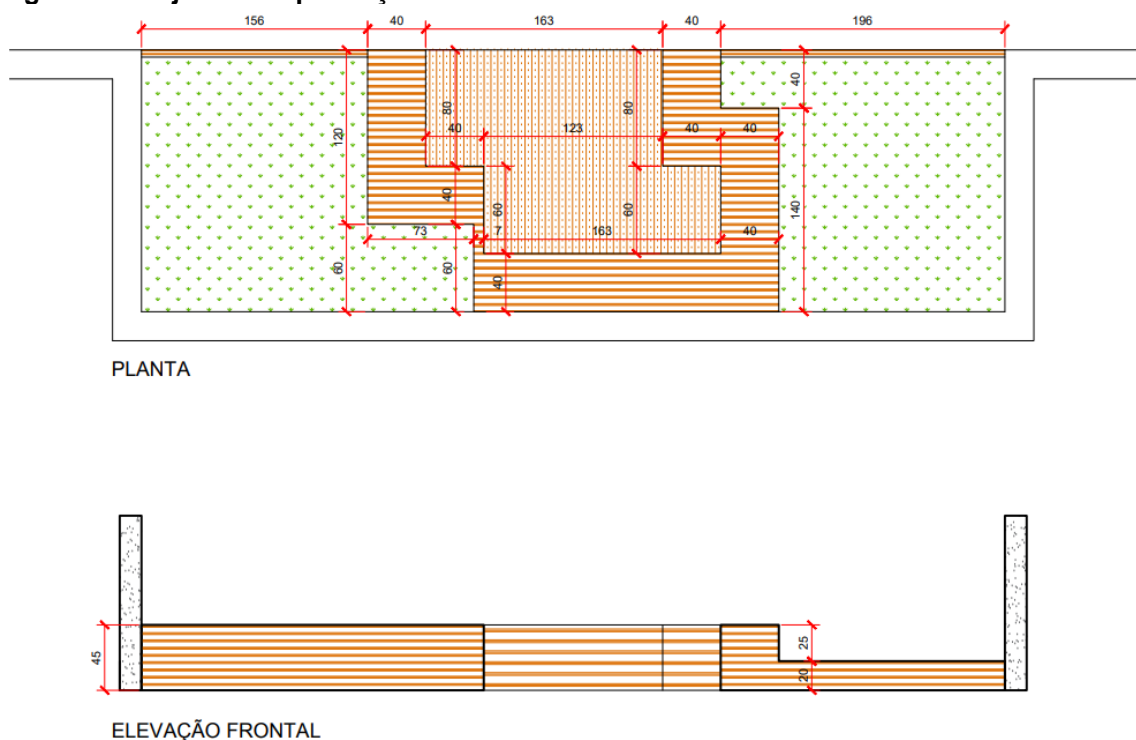
Cada um dos conjuntos dos modelos intensivo e extensivo são formados por um microcontrolador, ou placa controladora (itens números 7 e 8 na Figura 1), e pelo conjunto de sensores ligados a ela.

O conjunto do modelo intensivo é responsável pela leitura de 4 sensores de chuva de superfície, 1 sensor de chuva de ralo, 1 sensor capacitivo de umidade de solo, e 1 sensor de temperatura, todos localizados na superfície do lado intensivo do protótipo, a exceção do sensor de chuva de ralo que deve ser posicionado logo abaixo da única saída de água, na parte inferior de cada modelo.

O conjunto modelo extensivo é responsável pelos mesmos sensores do modelo intensivo, posicionados da mesma forma, com adição do sensor pluviométrico, que foi posicionado em um banco ao lado do modelo extensivo.

A Figura 2 exibe o projeto arquitetônico do protótipo, tendo o modelo intensivo do lado esquerdo, e o modelo extensivo do lado direito. Casagrande (2019, p. 24) enfatiza que forma como o protótipo foi projetado garante as mesmas condições ambientais para os lados intensivo e extensivo, tendo a espessura do substrato como única variação.

Figura 2 - Projeto de implantação dos modelos de telhado verde



Fonte: Casagrande (2019, p. 57).

O projeto não define um local específico para o pluviômetro. Porém, este sensor deve ser localizado em uma área aberta, que possibilite a queda de chuva em qualquer direção.

A leitura dos sensores pode ser efetuada em intervalos de tempo determinados, ou por eventos.

Já o conjunto nomeado *border router*, ou roteador de borda, tem como função principal efetuar a conexão da rede de sensores com a internet, para que os dados possam ser enviados ao servidor em nuvem. Este conjunto também é responsável por prover um receptor intermediário, chamado de *broker*, que concentra o recebimento de das mensagens com as leituras dos sensores.

Para completar a função de intermediação, este conjunto implementa um agente encaminhador de mensagens (ou *Package Forwarder*), que lê as mensagens recebidas pelo *broker* e as encaminha para o servidor em nuvem.

Este conjunto é formado por um computador Raspberry Pi e um microcontrolador. O microcontrolador é responsável pela comunicação com os microcontroladores dos modelos intensivo e extensivo, criando uma rede de sensores sem fio.

Os conjuntos são alimentados por fontes de energia de 5 Volts (item número 10 na Figura 1) ligados em tomadas disponibilizadas pela infraestrutura do Terraço Verde. A conexão de internet utilizado pelo *border router* também é disponibilizada pelo Terraço Verde através de serviço de internet fixa, provida por operadora de telefonia.

A conexão entre o Modem Router (item número 9 na Figura 1) e o *border router* é feita através de cabo de rede de par trançado do tipo CAT5, com conector padrão RJ-45. Para efetuar esta conexão, um cabo de rede de 20 metros deve ser instalado desde o roteador de internet do provedor contratado até o *border router*.

O domínio do servidor em nuvem deve ser implementado em plataforma disponibilizado pelo Terraço Verde através de serviço próprio, compartilhado com outros sistemas. Este domínio é formado por um servidor de aplicação, responsável por receber os dados do *border router* e prover interface de acesso aos dados já tratados, e um servidor de banco de dados, responsável pelo armazenamento dos dados do toda a solução.

A interface para consulta dos dados deve ser implementada através de aplicação *web* (item número 12 na Figura 1) e aplicativo para dispositivo móvel (item número 13 na Figura 1).

2.3 DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO

Apresenta-se a seguir o detalhamento do projeto, contemplando todo equipamento e tecnologia utilizados, além do custo do material adquirido.

2.3.1 Sensores Utilizados

Para atender aos requisitos definidos para este projeto foram selecionados sensores levando em conta funcionalidade, custo e facilidade de implementação.

A facilidade de implementação está mais ligada em como a medição deve ser efetuada, considerando se é necessário ou não a composição de mais de um sensor para ter a medição desejada, e a forma como o dado lido é apresentado.

2.3.1.1 Sensor de chuva

O sensor de chuva escolhido para atender ao requisito RF01 é do tipo resistivo, modelo FC-37 (Fotografia 1) ou YL-83, que apresenta uma placa de 5 por 4 centímetros, com trilhas entrelaçadas que detectam a presença da água assim que os contatos entre as trilhas se fecham.

Fotografia 1 - Sensor de chuva FC-37



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <Perintang.com>. Acesso em: 20 out. 2019.

Este sensor pode ser utilizado via porta analógica, onde o valor lido indica intensidade da chuva, ou via porta digital, onde o valor lido indica presença ou não de chuva (valor binário 0 ou 1).

Para este projeto foi escolhido a utilização via porta digital pois a medição do atraso de pico se faz pela diferença de tempo entre a detecção de chuva na superfície do solo, e a detecção da água chegando ao ralo do modelo. Portanto, a detecção digital atende ao requisito indicado, sem a necessidade de medir através deste sensor a intensidade de chuva.

O sensor escolhido opera com tensão de 3,3 a 5 V, com corrente de saída de 100 mA.

Além da placa com as trilhas de detecção de chuva, acompanha o sensor um pequeno circuito de controle com tamanho 2,6 por 1,4 cm, que é responsável pela detecção da chuva na placa com trilhas, e comunicação da detecção ao microcontrolador.

As ligações entre a placa com trilhas, o circuito integrado e a placa controladora são feitas através de fios de cobre, tendo a saída da placa de trilhas duas vias, e a saída do circuito de controle 4 vias (VCC, GND, digital e analógico). A ligação do circuito de controle com a placa controladora é feita através de 3 vias, não sendo utilizada a via analógica. Este circuito de controle também provê uma chave de calibração de sensibilidade do sensor.

Dez sensores devem ser utilizados no projeto, cinco por modelo, sendo quatro para monitoração da superfície do solo e um para o ralo de cada modelo. Os sensores de superfície devem ser montados em hastes de alumínio de 15 cm fixadas diretamente na terra, evitando o contato do sensor com o solo. Já no ralo, os sensores devem ser fixados logo abaixo da saída de água de cada modelo.

Detecta-se a presença de chuva quando 2 ou mais sensores reportam o valor 1. E a não detecção de chuva (fim do evento chuva) é admitida quando 2 ou mais sensores reportam o valor 0, que indica ausência de chuva.

O fim do evento chuva ocorre somente após uma detecção de chuva ter sido acolhida. Esta regra foi criada para evitar que um sensor reporte uma detecção falsa, seja por defeito ou por interferência externa. Desta forma, ao menos 2 sensores devem reportar o mesmo estado de chuva ou não chuva para garantir a ocorrência do evento.

Já a detecção de chuva no ralo é feita apenas por um sensor. Porém, a detecção somente é aceita quando ocorre após a detecção prévia de chuva na superfície, ou após cinco minutos da detecção do fim da chuva. Isso garante que um evento de chegada de água no ralo não ocorra sem um evento de chuva na superfície. Não há utilidade em um evento de ralo sem evento de chuva, pois o cálculo do atraso de pico somente pode ser feito com os dois eventos.

A leitura de cada sensor deve ser feita pelo microcontrolador que, em seguida, enviará os dados lidos para o *broker* de comunicação. O cálculo da diferença de tempo entre a detecção de chuva na superfície e a chegada de água no ralo, chamado de atraso de pico, é feito no servidor em nuvem através dos dados recebidos.

2.3.1.2 Sensor pluviométrico

O sensor pluviométrico ou pluviômetro foi definido de acordo com o requisito RF02, considerando facilidade de operação e custo.

Alguns pluviômetros de baixo custo são construídos utilizando um tipo de caixa ou *container* para o armazenamento da água precipitada, obrigando o esvaziamento quando o nível do líquido se aproxima do máximo. Este o modelo de sensor foi descartado, pois acarretaria em necessidade de intervenção humana.

Logo, o sensor escolhido foi o pluviômetro do tipo caçamba ou balança, modelo MS-WH-SP-RG (Fotografia 2 e Fotografia 3), que efetua a medição de precipitação através de uma haste articulada, com pequenas cavidades em cada lado, e presa em seu centro por um eixo, alternando o posicionamento de acordo com a quantidade de água depositada, que é coletada através de uma tampa superior em formato de funil. Após mover a balança, a água é descartada através de aberturas no fundo do sensor.

A cada alternância de posição da balança, um pulso elétrico é enviado para a placa controladora, indicando a precipitação de 0,2794 mm de chuva. Este sensor utiliza tensão entre 3,3 e 5 V.

Fotografia 2 - Funil na parte superior do pluviômetro



Fonte: Autoria própria. Disponível em: <CadernoDeLaboratorio.com.br>. Acesso em: 20 out. 2019.

Tendo em conta que, na medição de chuva ou pluviosidade, 1 milímetro equivale a 1 litro de água em uma região de 1 metro quadrado, pode-se calcular a quantidade de chuva sobre o protótipo conhecendo a área de cada modelo. De acordo com as medidas apresentadas na Figura 2, é possível calcular as áreas dos modelos intensivo e extensivo com os respectivos valores de $3,25 \text{ m}^2$ e $2,97 \text{ m}^2$.

Considerando o valor de 0,2794 mm ou 0,2794 litros por metro quadrado, multiplicado pela área de cada modelo, temos a quantidade de 3,25 litros e 2,97 litros de água precipitada a cada pulso do pluviômetro, respectivamente nos modelos intensivo e extensivo.

O envio da informação lida para o servidor em nuvem é efetuado através do somatório das leituras, iniciando em zero. Desta forma, em caso de falha no envio, a próxima mensagem gerada por novo pulso do pluviômetro terá o valor atualizado, pormenorizando uma eventual perda de informação.

O somatório das leituras é zerado caso o sensor pluviométrico permaneça quinze minutos sem gerar pulsos.

Fotografia 3 - Parte interna do pluviômetro

Fonte: Autoria própria. Disponível em: <CadernoDeLaboratorio.com.br>. Acesso em: 20 out. 2019.

2.3.1.3 Sensor capacitivo de umidade de solo

De acordo com o requisito RF03, deve-se determinar a quantidade de água absorvida pelo solo em cada um dos modelos. Esta medição deve ser feita constantemente para determinar o ganho e perda de umidade, seja por um evento de chuva, pelo escoamento da água que não pode ser retida pelo solo, seja pela evaporação da água contida no modelo. Para tanto, foi escolhida a utilização de sensores capacitivos de umidade de solo. Estes sensores determinam a quantidade de água no solo através de capacitância.

O modelo selecionado foi o CS12, apresentado na Fotografia 4. Este sensor é montado em um circuito, em formato de haste chata, com ponta em seta, de tamanho 9,7 por 2,6 cm. Na extremidade reta, fica o conector e os componentes eletrônicos.

Fotografia 4 - Sensor capacitivo de umidade do solo



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <AlexnId.com>. Acesso em: 20 out. 2019.

Oposto aos componentes eletrônicos, porém conectados a eles, se iniciam duas trilhas, a primeira com formato em U, e a segunda em formato reto, posicionado dentro da primeira. São estas trilhas que detectam a capacitância do solo, determinando a quantidade de água presente. A área do sensor preenchida por estas duas trilhas é a parte inserida no solo, devendo-se manter a parte com componentes eletrônicos no topo do sensor exposta.

A conexão com a placa controladora é feita por fio de cobre em três vias (VCC, GND e analógico). A leitura do sensor é feita através de porta analógica, e o valor reportado varia entre 500.000 e 1.200.000. A quantidade de água no solo é inversamente proporcional ao valor lido. Quanto menor o valor lido, maior a presença de água no solo. O sensor trabalha com tensão entre 3,3 e 5 V.

Devido a diferenças na composição de cada solo e na própria construção de cada sensor, para que a leitura seja a mais acurada possível, se faz necessário a calibração do sensor capacitivo no solo onde este será instalado. O processo de calibração dos sensores será apresentado no item 3.1.

A medição efetuada pelo sensor é feita no solo presente ao redor do sensor. Desta forma, considerando que a água da chuva é absorvida de maneira uniforme por todo o protótipo, a medição da quantidade de água pode ser extrapolada para toda a quantidade de solo no modelo. Portanto, foram utilizados apenas dois sensores, um para cada modelo.

Para encontrar o valor total de água absorvido pela chuva é necessário saber o volume e a massa do solo seco (próximo de zero por cento de umidade) em cada modelo. Este valor já é conhecido pois foi calculado durante a calibração dos sensores, onde amostras do solo utilizado foram secas em estufas, em seguida pesadas, tendo então o peso e o volume de determinada amostra, que pode ser calculado para o volume dos modelos extensivos e intensivos.

A partir desta informação, pode-se extrapolar a leitura do sensor para a quantidade de terra contida em cada modelo, que indicará, através dos dados colhidos durante calibração, a quantidade aproximada de água absorvida pelo solo.

O valor lido de cada sensor capacitivo, será enviado pela placa controladora sem tratamento. O cálculo da quantidade de água absorvida será efetuado no servidor em nuvem, onde as informações sobre o volume e massa do solo seco de cada modelo se encontram.

A leitura deste sensor deve ser feita através de temporizador, sendo efetuada em intervalos de 60 minutos no estado de não detecção de chuva, e em intervalos de 5 minutos no estado de detecção de chuva.

2.3.1.4 Sensor de temperatura

Para atender ao requisito RF04 foi selecionado um sensor de temperatura de baixo custo e com resistência a água.

O modelo DS18D20, exibido na Fotografia 5, foi selecionado por tratar-se de um termômetro desenvolvido para medição tanto submerso em líquido, quanto em ambiente. Sua faixa de medição varia de -55 a 125 °C, utilizando tensão de 3,0 a 5,5 Volts. A precisão deste sensor é de 0,5 °C para a faixa de -10 a 85 °C. O sensor será conectado à placa controladora através de fios de cobre em 3 vias (VCC, GND e digital), ligado via porta digital.

Fotografia 5 - Sensor de temperatura DS18D20



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <OpenCircuit.shop>. Acesso em: 20 out. 2019.

Os dados medidos serão enviados para o servidor em nuvem já em graus Celsius, com duas casas decimais de precisão.

A leitura deste sensor é feita em conjunto com o sensor capacitivo de umidade de solo, utilizando o mesmo temporizador e os mesmos critérios de intervalo.

2.3.2 Protocolos de Comunicação Utilizados

A escolha dos protocolos de comunicação levou em consideração tanto os requisitos definidos para o projeto, quanto a tecnologia e infraestrutura disponibilizadas.

Não existem requisitos de alta disponibilidade da leitura dos sensores, sendo aceito perda de dados, uma vez que um evento chuva, apesar de singular, não é tratado como único para os fins da pesquisa desenvolvida. Desta forma, o volume de leituras irá suprir qualquer eventual perda por falha de comunicação.

Não há requisito de segurança da informação além de controle de acesso, ou relacionado à privacidade. Deve-se apenas evitar envio de dados falsos por entidades externas a rede de sensores, ou uso das interfaces por indivíduos não autorizados.

A infraestrutura fornecida provê energia elétrica e nenhum procedimento de contingência é necessário. Sendo assim, não há preocupação com utilização de baterias ou infraestrutura de *no-break*. Em caso de interrupção ou pico de energia elétrica, os componentes do sistema serão iniciados novamente assim que o fornecimento for normalizado.

Desta forma, os protocolos escolhidos levaram em conta a facilidade e rapidez na implementação, bem como um nível de segurança adequado para evitar que a rede de dados seja invadida ou alimentada com dados inválidos.

2.3.2.1 6LoWPAN

A escolha do protocolo *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN) se deve ao tipo de rede de sensores sem fio suportada pelo hardware escolhido. A placa controladora selecionada para este projeto de pesquisa suporta esta tecnologia nativamente, não necessitando de nenhum outro equipamento para habilitar a comunicação entre os nós da rede de sensores.

Este protocolo, definido pela especificação IEEE 802.15.4 (IETF, 2011), permite a compressão, encapsulamento e fragmentação do cabeçalho IPv6, diminuindo o tamanho dos pacotes. Suporta ambos os protocolos TCP e UDP.

2.3.2.2 MQTT-SN / UDP

O protocolo *Message Queuing Telemetry Transport for Sensor Network* (MQTT-SN) foi escolhido devido sua flexibilidade, facilidade de implementação e aderência ao protocolo UDP (STANFORD-CLARK; TRUONG, 2013; OASIS, 2014). O protocolo MQTT é um protocolo leve que implementa o conceito de publicação/inscrição, contendo um software, conhecido como *broker*, que recebe as publicações em um ou mais tópicos, e as envia para os nós inscritos em cada tópico. O protocolo MQTT foi desenvolvido inicialmente pela IBM, derivado da família de produtos MQ Series, e baseado no protocolo TCP/IP.

Posteriormente, uma variação utilizando protocolo UDP foi criada para suprir as necessidades de eficiência energética de uma rede de sensores sem fio. Para este novo protocolo foi dado o nome MQTT-SN.

Atualmente existem *brokers* que implementam ambas especificações, MQTT e MQTT-SN, tornando possível a comunicação entre os dois protocolos.

Nesta solução, o *broker* MQTT está localizado no *border router*. Os protocolos MQTT e MQTT-SN são utilizados pelos microcontroladores para publicação dos dados lidos pelos sensores no *broker*, e também pelo Encaminhador de Mensagens, que através de assinatura aos tópicos dos sensores, recebe os dados publicados e os direciona para o servidor em nuvem.

2.3.2.3 HTTPS / REST

Para implementar a comunicação entre o *border router* e o servidor em nuvem foi escolhido o protocolo *Hyper Text Transfer Protocol Secure* (HTTPS), utilizando a arquitetura *Representational State Transfer* (REST) para o conteúdo de dados.

A escolha do protocolo HTTPS e da arquitetura REST foi baseada na facilidade e rapidez de implementação, uma vez que ambos são tecnologias amplamente utilizadas, com grande disponibilidade de documentação, bem como de produtos e *frameworks*, o que facilitou o desenvolvimento do servidor em nuvem.

O protocolo HTTPS foi selecionado em detrimento ao HTTP para garantir encriptação dos dados enviados, devido aos mesmos critérios mínimos de segurança já explanados anteriormente.

O protocolo HTTPS será utilizado na comunicação entre o Encaminhador de Mensagens e o servidor em nuvem, bem como nos acessos das aplicações *web* e de dispositivo móvel ao servidor em nuvem.

Já a arquitetura REST foi escolhida por definir um modelo de implementação amplamente suportado, cuja aderência a modelos de segurança é simples e eficiente. O formato de dado escolhido para utilização com a arquitetura REST é o *JavaScript Object Notation* (JSON), também pelo amplo suporte disponível em diversas linguagem de programação, de fácil leitura e utilização.

2.3.3 Hardwares Utilizados

A seleção do hardware para a implementação do projeto foi feita com base nos requisitos de comunicação, disponibilidade de aquisição no mercado e custo.

No decorrer das disciplinas do curso de especialização em Internet das Coisas da UTFPR, foram apresentados e utilizados itens de hardware que atendem completamente os requisitos mencionados. Portanto, os mesmos equipamentos foram escolhidos.

2.3.3.1 Raspberry Pi

O computador de baixo custo Raspberry Pi foi selecionado para compor o *border router*. Este hardware tem as mesmas funções de um computador pessoal, provendo interfaces de saída, interfaces de rede com ou sem cabo, e portas I/O padrão USB.

Como parte do *border router*, o Raspberry Pi (Fotografia 6) provê interface de rede conectada à internet, além de mídia para armazenamento temporário dos dados enviados pelos sensores, antes de serem reenviados para o servidor em nuvem.

Fotografia 6 - Raspberry Pi modelo 3B



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <Raspberrypi.org>. Acesso em: 20 out. 2019.

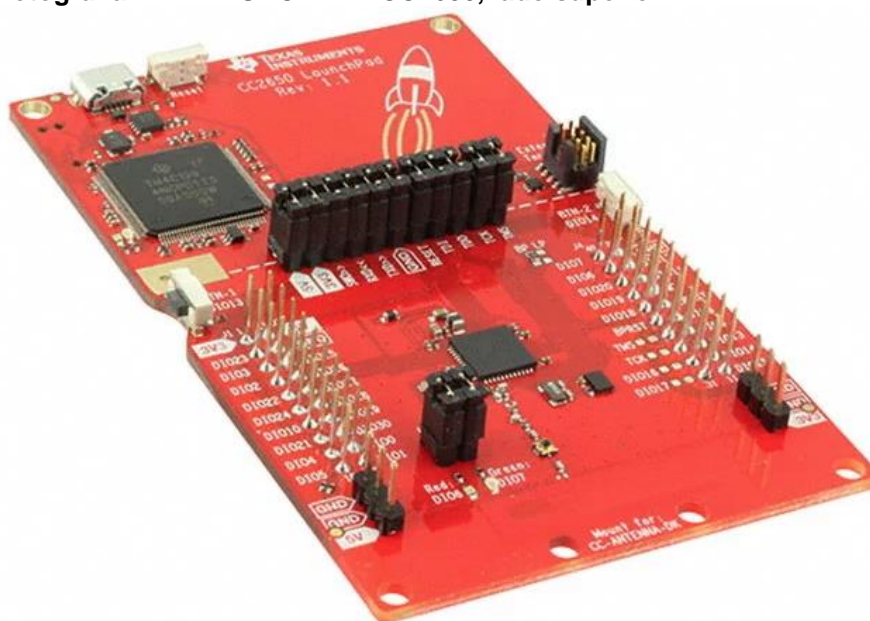
Nesta solução, o Raspberry Pi é conectado a uma placa controladora TI LAUNCHtPAD CC2650 através de porta USB, formando então o roteador de borda.

2.3.3.2 Microcontrolador TI LAUNCHPAD CC2650

O microcontrolador LAUNCHPAD CC2650 (Fotografia 7 e Fotografia 8), fabricada pela Texas Instruments é utilizada para efetuar a leitura dos sensores, enviando os dados lidos para o *broker* MQTT através de uma rede de comunicação sem fio padrão 820.15.4 (6LoWPAN). Esta controladora possui 29 portas GPIO (General Purpose Input/Output) para efetuar leitura e escrita em sensores e atuadores diversos, utilizando interface digital ou analógica. Também possui 3 botões, sendo 1 de *reset*, e 4 LEDs (e pares de vermelho e verde), sendo 2 para uso do *firmware* em execução, e 2 para reporte de status próprio da controladora, como carregamento de *firmware* e alimentação de energia.

Esta placa (Fotografia 7 e Fotografia 8) também é utilizada na composição do *border router*, atuando como ponte de comunicação entre a rede de sensores sem fio e a internet.

Fotografia 7 - TI LAUNCHPAD CC2650, lado superior



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <Digikey.in>. Acesso em: 20 out. 2019.

Fotografia 8 - TI LAUNCHPAD CC2650, lado inferior



Fonte: Autoria própria. Anúncio do produto disponível em: <Digikey.in>. Acesso em: 20 out. 2019.

2.3.4 Softwares Utilizados

Vários softwares foram utilizados neste projeto para diferentes funções. Abaixo estão listados os mais importantes, utilizados na programação da solução implementada ou em funções mais específicas ligadas diretamente com a infraestrutura de comunicação da rede de sensores sem fio.

A escolha de parte dos softwares usados neste projeto se deve a utilização destes durante o curso de especialização para qual esta monografia foi desenvolvida. Estes softwares se mostraram eficazes e confiáveis, com boa parte da configuração necessária já realizada.

2.3.4.1 Contiki

O Contiki é um sistema operacional colaborativo, aberto e gratuito, compatível com vários microcontroladores, incluindo o utilizado neste projeto. Desenvolvido na linguagem de programação C, o sistema pode ser compilado em um computador pessoal, juntamente com a programação que se deseja ser executada pela controladora, gerando arquivo binário que, posteriormente,

carregado para o microcontrolador. O software executado em um microcontrolador é mais corretamente chamado de *firmware*, por trata-se de um software compilado para uma um hardware específico.

Este *firmware* implementa desde as funcionalidades básicas de um sistema operacional, até recursos voltados para comunicação de rede de sensores sem fio, como um cliente para o protocolo MQTT-SN. O sistema operacional também provê controle de múltiplos processos, manipulação de memória não volátil, depuração, entre outros.

A programação feita através do Contiki deverá ser utilizada para desenvolver todo o processo de leitura dos sensores, bem como o envio de informação para o *broker* MQTT. A utilização do Contiki se deu durante todo o curso de especialização e, portanto, justifica a sua adoção.

2.3.4.2 CETIC 6LBR

O CETIC¹ 6LBR é uma solução de roteador de borda para redes que utilizam o protocolo 6LoWPAN. Sua implementação é gratuita e aberta, disponível para livre utilização. Sua função principal é a de conectar uma rede de sensores sem fio 6LoWPAN com a internet, efetuando o roteamento de pacotes entre essas duas redes.

Para efetuar este roteamento, o 6LBR utiliza um host com sistema operacional baseado em Linux, e um microcontrolador executando um *firmware* chamado de Slip Radio, baseado no sistema operacional Contiki.

Este software também é responsável por distribuir endereços IPv6 para os nós da rede de sensores. Os endereços IPs não são gerados pelo 6LBR, mas pelo roteador da rede conectado ao computador onde o 6LBR está sendo executado.

A escolha do 6LBR se deve ao uso do mesmo durante este curso de especialização.

Neste projeto, o 6LBR está instalado no conjunto formado pelo Raspberry Pi e pelo microcontrolador, ligados via porta USB. Este microcontrolador tem instalado o *firmware* Slip Radio.

¹ CETIC: *Centre of Excellence in Information and Communication Technologies*.

2.3.4.3 Mosquitto RSMB

O Mosquitto RSMB (sigla em inglês para *Really Small Message Broker*) é uma implementação de *broker* para o protocolo MQTT-SN baseado no software Eclipse Mosquitto MQTT. O Mosquitto RSMB adiciona suporte ao protocolo MQTT-SN, suportando então ambos protocolos.

O Mosquitto RSMB foi apresentado durante o curso de especialização em Internet das Coisas como uma opção de *broker* MQTT-SN e, por isso, foi selecionado.

O software Mosquitto RSMB está instalado no Raspberry Pi.

2.3.4.4 Python

Python é uma linguagem de programação gratuita com ampla uma comunidade de desenvolvedores e colaboradores. Isto faz com que um grande volume de bibliotecas para diversas finalidades esteja disponível. Além disso é uma linguagem de fácil aprendizado e rápido desenvolvimento.

A linguagem Python foi utilizada no desenvolvimento do encaminhador de mensagens, responsável por assinar os tópicos por onde os dados de sensores são enviados, encaminhando as mensagens recebidas para o servidor em nuvem, e também na implementação do servidor em nuvem, em conjunto com o *framework* Django.

2.3.4.5 Django

Django é um *framework* desenvolvido na linguagem Python que implementa um servidor de aplicações, utilizado para criar *sites web* ou interfaces para serviços *web*.

Este software foi utilizado na criação do servidor em nuvem, responsável por receber, tratar e armazenar os dados enviados pelos sensores, bem como apresentar estes dados. O servidor de aplicação implementa uma interface REST através da biblioteca chamada Django REST Framework, que provê diversas facilidades para este propósito.

A aplicação desenvolvida utilizando a *framework* Django é executada no servidor em nuvem como um *container* do serviço de virtualização chamado Docker.

2.3.4.6 MariaDB

MariaDB é um banco de dados gratuito com origem no MySQL. É utilizado no projeto para armazenar os dados recebidos e tratados pelo servidor em nuvem.

A instância do banco de dados MariaDB é executada no servidor em nuvem como um *container* do serviço de virtualização chamado Docker.

2.3.4.7 Docker

Docker é um *container* de serviços, onde o servidor de aplicações e o banco de dados são executados. Funciona como um serviço de virtualização, porém sem a sobrecarga da virtualização tradicional, pois não necessita executar um sistema operacional completo para prover o *container de serviços*.

O Docker é utilizado pela infraestrutura do Terraço Verde, que forneceu ao projeto a hospedagem do servidor em nuvem.

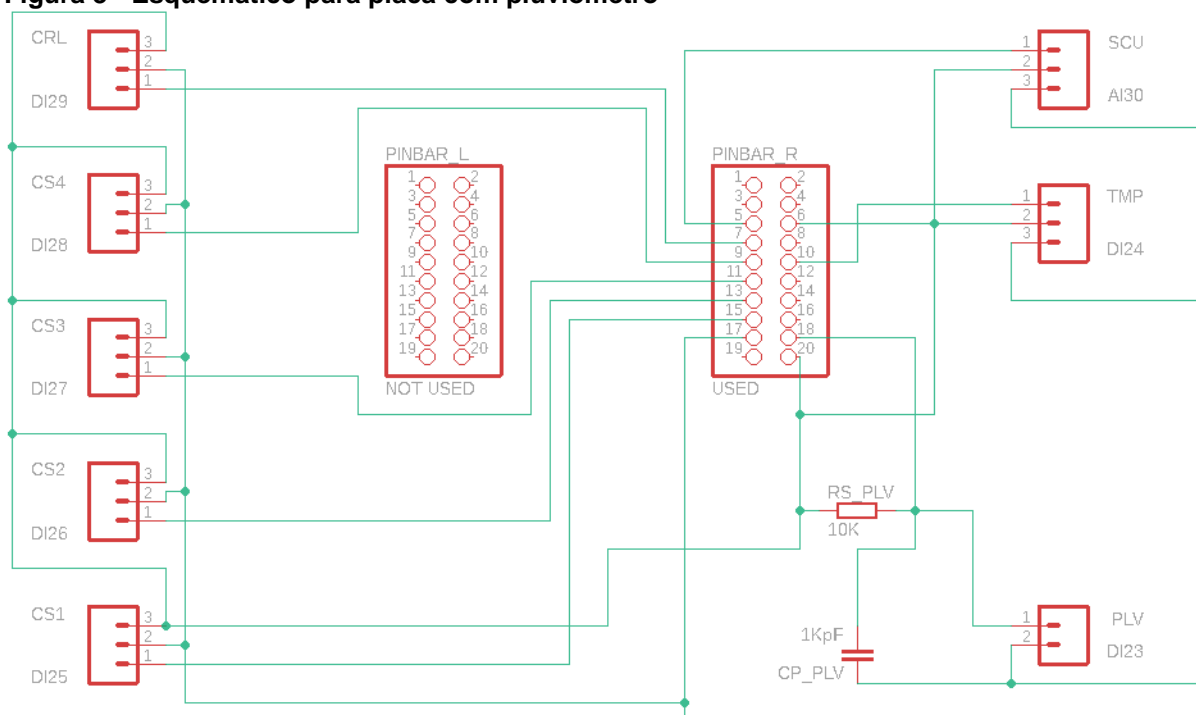
2.3.5 Esquemáticos de Montagem das Placas de Circuito Integrado

Para conectar os sensores com o microcontrolador é necessário projetar previamente como as ligações devem ser feitas de maneira a compartilhar conexões comuns, como sinal VCC e sinal GND, e também para inserir componentes eletrônicos necessários às ligações, como resistores e capacitores, organizando todos os componentes, conectores e trilhas necessários para o funcionamento dos sensores ligados ao microcontrolador.

Desta maneira, foram criados dois esquemáticos de placas de circuito integrado (ou *Printed circuit board* - PCB) para serem utilizadas nos modelos.

A Figura 3 apresenta o esquemático para placa controladora que tem o sensor pluviométrico conectado, além dos demais sensores citados no item 2.3.1.

Figura 3 - Esquemático para placa com pluviômetro



Fonte: Autoria própria.

Os conectores dos sensores de chuva de superfície (CS1 a CS4) e ralo (CRL) foram dispostos do lado esquerdo do esquemático. Do lado direito estão colocados os conectores do sensor capacitivo de umidade (SCU), do sensor de temperatura (TMP) e do sensor pluviométrico (PLV).

As conexões dos sensores são feitas diretamente às portas GPIO, com exceção da conexão do pluviômetro, de acordo com numeração indicada, novamente na Figura 3, sendo as ligações via interface digital ilustradas pela sigla DI (*digital input*) e a ligação via interface analógica ilustrada pela sigla AI (*analogic input*).

A conexão do pluviômetro com o microcontrolador é diferente das demais pois necessita de dois componentes eletrônicos, sendo o primeiro um resistor de 10 K Ω (indicado, ainda na Figura 3, pela etiqueta RS_PLV), e o segundo um capacitor de 1 KpF (indicado, novamente na Figura 3, pela etiqueta CP_PLV). Estes componentes foram inseridos no circuito para evitar possíveis interferências no momento em que um pulso é gerado pelo sensor pluviométrico.

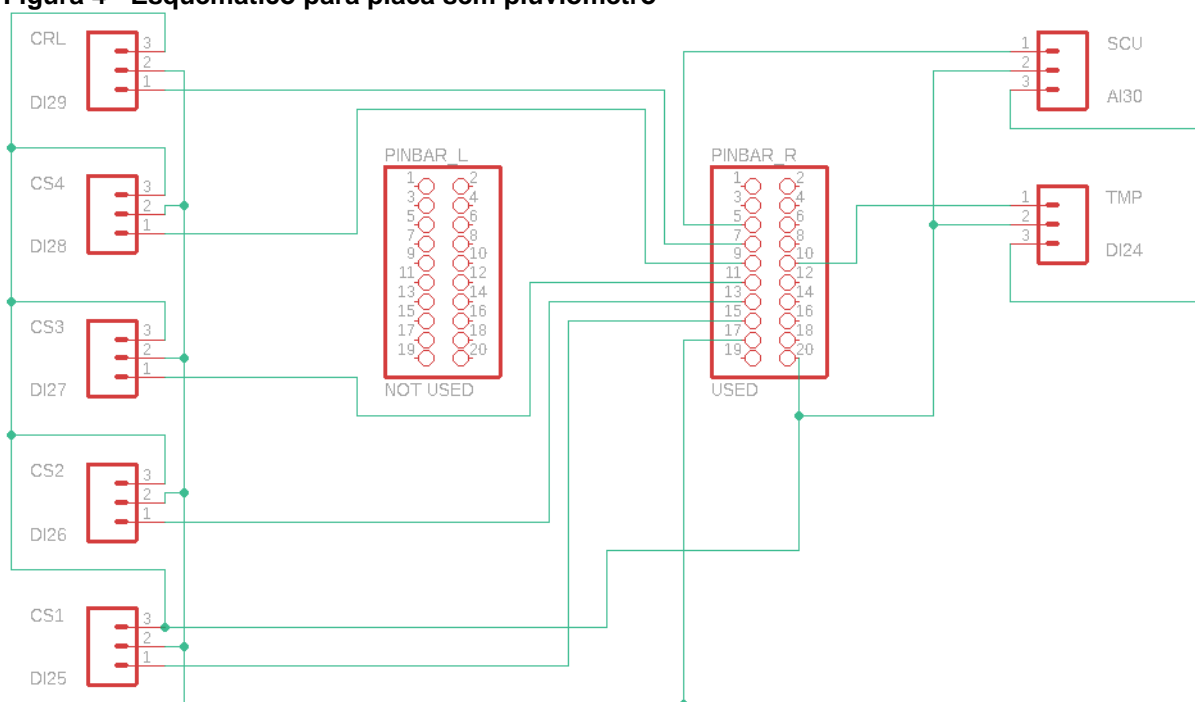
O esquemático também possui duas barras de pinos 2x10, de conector macho, posicionados em 180°. Estas barras são os conectores que ligam e fixam o microcontrolador LAUNCHPAD CC2650 à PCB via conectores fêmea da placa, localizados no lado inferior (Figura 3). Desta forma, o microcontrolador por ser

facilmente conectado ou desconectado da PCB para de atualização de *firmware* ou diagnóstico de problemas.

A barra de pinos posicionada a direita é responsável pela conexão lógica de todos os sensores, bem como dos sinais VCC e GND para alimentar a PCB. Já a barra de pinos à esquerda tem somente função de fixação do microcontrolador.

O esquemático para a PCB sem a conexão do pluviômetro, mostrada na Figura 4, contém os mesmos componentes e conexões, à exceção do conector do sensor pluviométrico e respectivos componentes.

Figura 4 - Esquemático para placa sem pluviômetro



Fonte: Autoria própria.

2.3.6 Lista de Materiais e Custos

A Tabela 1 apresenta a lista de materiais utilizados para a implementação da rede de sensores, bem como o custo de cada um. Não foram incluídos na lista os materiais utilizados para a montagem do protótipo.

Tabela 1 - Lista de materiais utilizados

Descrição do material	Quantidade utilizada	Preço unitário	Valor total
Kit Raspberry Pi 3B (fonte energia e micro SD 16GB)	1	R\$ 340,00	R\$ 340,00
Microcontrolador TI LAUNCHXL CC2650	3	R\$ 142,00	R\$ 426,00
Sensor pluviométrico MS-WH-SP-RG	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Sensor de chuva FC-37	10	R\$ 15,00	R\$ 150,00
Sensor de chuva FC-37 (substituição)	10	R\$ 8,27	R\$ 82,65
Sensor de chuva YL-83 (substituição)	2	R\$ 15,58	R\$ 31,16
Sensor de chuva FC-37 (reserva)	6	R\$ 13,65	R\$ 81,90
Sensor capacitivo de umidade CS12	3	R\$ 45,00	R\$ 135,00
Sensor Temperatura Ds18b20	2	R\$ 18,94	R\$ 37,88
Fonte energia saída 5V 3 ^a	2	R\$ 15,46	R\$ 30,92
Caixa de Passagem Km03196	3	R\$ 40,20	R\$ 120,60
Caixa de Passagem PVC IP55	1	R\$ 18,08	R\$ 18,08
Placa perfurada 10x10cm	2	R\$ 8,64	R\$ 17,28
Cabo 2 vias (metro)	50	R\$ 1,47	R\$ 73,50
Cabo 4 vias (metro)	20	R\$ 2,61	R\$ 52,20
Cabo de rede CAT5 (metro)	20	R\$ 1,00	R\$ 20,00
Cabo PP (metro)	2	R\$ 1,33	R\$ 2,66
Cabo adaptador Micro USB em L	1	R\$ 35,89	R\$ 35,89
Barra de pinos 2x40	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00
Barra de pinos 1x40	1	R\$ 1,20	R\$ 1,20
Kit jumpers	2	R\$ 28,50	R\$ 57,00
Conector KK 2,54 4 vias fêmea	4	R\$ 0,30	R\$ 1,20
Conector JST XH 3 vias macho	2	R\$ 0,40	R\$ 0,80
Conector Mini Modu 1x40 MLS	2	R\$ 2,10	R\$ 4,20
Borracha passante grande	10	R\$ 0,90	R\$ 9,00
Adesivo epóxi 10gr	1	R\$ 21,90	R\$ 21,90
Selante Elastil Incolor TermoP	1	R\$ 28,60	R\$ 28,60
Vedante carrapeta PVC	8	R\$ 0,75	R\$ 6,00
Plug T 3 saídas 10A-250V	2	R\$ 5,14	R\$ 10,28
Plug 2P+T 10A-250V	1	R\$ 4,87	R\$ 4,87
Plug 2P 10A-250V fêmea	1	R\$ 2,55	R\$ 2,55
Bucha plástica S-06 sem anel	8	R\$ 0,13	R\$ 1,04
Arruela Galvanizada	8	R\$ 0,19	R\$ 1,52
Arruela 5-32 Lisa	20	R\$ 0,15	R\$ 3,00
Parafuso philips bicromatizado	8	R\$ 0,45	R\$ 3,60
Parafuso pacote com 10	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Mangueira cristal (metro)	1	R\$ 2,80	R\$ 2,80

Fonte: Autoria própria.

A compra de mais unidades dos sensores de chuva reportados na Tabela 1 foi necessária para substituir placas de trilhas que apresentaram defeitos e também para ter peças sobressalentes. As falhas encontradas nos sensores de chuva são discutidas no item 3.4 desta monografia.

O custo total dos materiais foi de R\$ 1.983,48, compras realizadas nos meses de julho a setembro de 2019, pago pelo pesquisador encarregado pela montagem da rede de sensores. O Terraço Verde criou uma campanha de financiamento coletivo do projeto para reembolsar os gastos dos pesquisadores com a rede de sensores e o protótipo.

3 DESENVOLVIMENTO

Nesta sessão, apresenta-se o desenvolvimento da solução, explicando como o projeto foi implementado, apresentando as correções necessárias, os problemas encontrados e como foram resolvidos.

3.1 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES CAPACITIVOS

A calibração dos sensores capacitivos de umidade de solo foi necessária para adequar a leitura de cada sensor utilizado à composição do solo onde estão instalados. Através da calibração, pode-se criar faixas de leitura para os valores dados pelo sensor, indicando uma quantidade mínima de água absorvida.

O processo de calibração foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em conjunto com a colega Thamille Casagrande, que organizou e liderou o procedimento.

3.1.1 Metodologia Utilizada

A necessidade de calibração dos sensores capacitivos foi apontada um colega também envolvido neste projeto de pesquisa no Terraço Verde Curitiba, Marcelo Pinhel, graduado em Tecnologia em Mecatrônica Industrial pela UTFPR, e sócio da empresa de Favos Tecnologia de Hortas Automatizadas, que apresenta em seu trabalho de conclusão de curso (PINHEL; BEZERRA, 2018, p. 59-63), um processo de calibração de sensores capacitivos para efetuar medições de umidade em solo, bem como sugere uma metodologia para calibração destes sensores.

A calibração se faz necessária uma vez que a composição de cada substrato tem propriedades de capacitância elétrica únicas, o que impacta diretamente na leitura do sensor.

O processo de calibração foi executado em três sensores capacitivos de umidade de solo, numerados de 1 a 3, ambos do mesmo modelo, conforme definido no item 2.3.1.3, sendo dois deles utilizados no protótipo, e um mantido como peça de reposição em caso de falha de um dos sensores em uso.

A metodologia aplicada na calibração pede a secagem do solo por 24h, em forno, com temperatura constante de 105 °C. Foram secos 5 Kg de substrato úmido. Após a secagem e resfriamento, o substrato foi separado em 48 amostras de 50 gramas.

Para criar uma escala de quantidade de água, as amostras foram separadas em 16 grupos, cada um com 3 amostras, partindo das amostras de solo seco (próximo de 0% de umidade), adicionando 10% do peso da amostra em água em cada grupo, até atingir a adição de 150% do peso da amostra em água, totalizando as 48 amostras.

A leitura dos sensores nesta escala de quantidade de água cria uma lista com referências de faixa de valores, que será utilizada para determinar a quantidade de água no protótipo através da extrapolação do peso de cada modelo.

As amostras foram colocadas em copos plásticos de 150 ml, tendo o fundo perfurado para evitar o acúmulo de água. Após a adição de água, as amostras descansaram por 5 minutos para escoar o excesso de água.

Figura 5 - Aplicação de calibração de sensores capacitivos de umidade de solo

Calibração de Sensores Capacitivos

Parâmetros

Número de sensores: Quantidade de amostras: Intervalo quantidade de água: Valor final escala: Porta conexão:

Ações

Valores lidos dos sensores

Sensor	Amostra	Escala de água	Peso da amostra (g)	Valor lido
--------	---------	----------------	---------------------	------------

Mensagens

Fonte: Autoria própria.

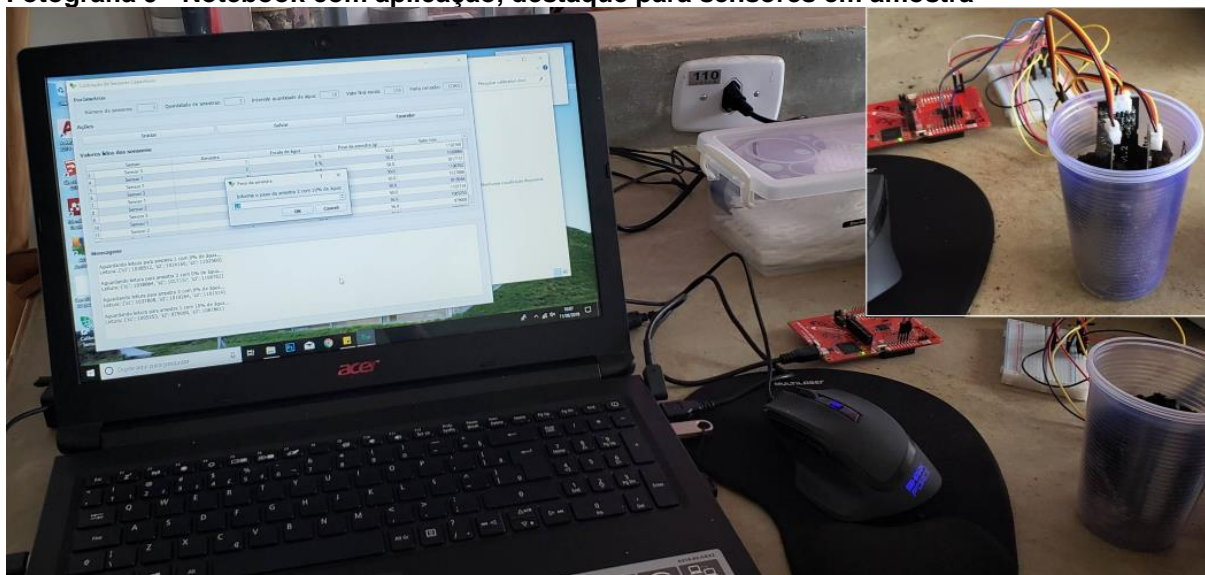
Todas as amostras foram pesadas antes das medições. Em seguida, cada um dos 3 sensores capacitivo foram inseridos em cada uma das amostras, efetuando 1 leitura por sensor.

Para facilitar e agilizar o processo de calibração, foi desenvolvido uma aplicação em Python, automatizando a coleta de dados dos sensores (Figura 5 e Fotografia 9). A aplicação desenvolvida em Python foi executada em um PC conectado a um microcontrolador TI CC2650 via porta USB. Ao controlador foram conectados os 3 sensores a serem calibrados.

Após a configuração inicial via tela da aplicação, o processo de calibração é iniciado, começando pela leitura das 3 amostras com 0% de água, e seguindo a sequência de adição de água, até as amostras com 150%. A aplicação foi programada para solicitar que o peso de cada amostra seja informado e, então, a efetuar a leitura dos sensores assim que um botão no microcontrolador for pressionado.

Ao final das leituras, caso o processo de calibração tenha sido executado com sucesso, a aplicação salva o resultado em arquivo CSV. Em caso de falha, a leitura pode ser repetida.

Fotografia 9 - Notebook com aplicação, destaque para sensores em amostra



Fonte: Autoria própria.

Uma vez terminada a calibração, deve-se criar uma lista de faixas de leitura com o resultado obtido, para que se possa efetuar tradução do valor lido pelo sensor capacitivo para faixa com menor percentual de água e, assim, apontar a quantidade aproximada de água absorvida.

O percentual de água absorvido indicado pela faixa encontrada poderá ser extrapolado para o peso do solo do modelo, em quilogramas. Considerando que a densidade da água se aproxima de 1 kg/l, pode-se converter o valor diretamente para litros.

3.1.2 Resultado da Calibração

Conforme a metodologia descrita, foram utilizados 3 sensores, com 16 intervalos de quantidade de água adicionada, variando de 0% a 150%, tendo os intervalos 3 amostras cada. Considerando 3 leituras por sensor, o resultado apresenta uma tabela com 144 linhas.

As colunas desta tabela de resultados são: número da leitura, identificação do sensor, número da amostra, percentual de água adicionada na amostra, peso final da amostra e valor lido. Esta tabela foi disponibilizada no Apêndice A.

Importante considerar que o percentual de água adicionada a cada amostra não é o valor utilizado para efetuar o cálculo das faixas de leitura. O valor utilizado foi o peso final da amostra.

Como exemplo, uma amostra de 50 gramas, com 100% do seu peso adicionado em água, ao final dos 5 minutos de espera para escoamento do excesso de líquido, pode pesar 85 gramas, indicando que, deste peso, 41,17% é, de fato, água. Os 15 gramas restantes de água foram escoados.

Com isso, o peso das amostras apresenta pequenas variações, pois amostras diferentes absorveram quantidades diferentes de água. Tendo isso em consideração, foi utilizado o percentual médio de água nas 3 amostras, criando 16 as faixas de leitura conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Faixas de leitura

% médio de água	Peso da amostra em gramas		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,00%	50,0	50,0	50,0
12,43%	56,9	57,0	57,4
17,26%	60,7	59,8	60,8
24,05%	66,1	65,6	65,8
26,59%	69,7	67,9	66,8
29,78%	73,1	70,1	70,5
34,13%	78,1	72,4	77,5
37,33%	78,3	79,7	81,4
38,11%	79,3	81,5	81,6
38,80%	79,3	83,6	82,3
40,33%	83,5	84,1	83,8
41,83%	84,9	87,3	85,7
44,28%	89,2	90,5	89,5
45,43%	90,9	92,5	91,5
48,66%	92,9	99,6	100,0
53,71%	114,0	103,4	107,2

Fonte: Autoria própria.

Para analisar a calibração de cada sensor, os valores lidos foram separados, tendo cada sensor sua própria tabela por faixas de leitura. Os gráficos criados a partir destas tabelas mostram que a leitura do sensor, apesar de apresentar uma tendência linear, tem picos de leituras não esperados.

Devido a este comportamento não linear, as faixas de leitura tiveram de ser adaptadas com limites inferior e superior, levando em conta os valores máximo e mínimo lidos por faixa.

O limite superior foi definido pelo maior valor de leitura das amostras da linha atual, e de todas as linhas abaixo. Já o limite inferior foi definido pelo menor valor de leitura das amostras da linha atual, e todas as linhas acima.

As Tabelas 3, 4 e 5 e os Gráficos 1, 2 e 3 a seguir, mostram a faixa de percentual médio de água, os valores lidos para cada uma das 3 amostras de cada faixa, e os limites inferior e superior calculados para cada faixa.

Nos Gráficos 1, 2 e 3, é possível verificar a oscilação dos valores lidos através dos picos das linhas sólidas, que representam os valores lidos. Porém, com a correção dos limites, indicados pelas linhas pontilhadas, é possível verificar as

faixas de leitura, ainda que estas sejam amplas e tragam menos exatidão à medição.

Tabela 3 - Faixa de leitura para o sensor 1

% médio de água	Valores lidos para amostra			Limites	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Inferior	Superior
0,00%	1038512	1038864	1037808	1037808	1038864
12,43%	1005253	996160	1021008	996160	1021008
17,26%	994405	1021008	970256	970256	1021008
24,05%	973760	982160	991264	970256	1004906
26,59%	930704	987760	1004906	930704	1004906
29,78%	900602	917056	945408	900602	982154
34,13%	827802	982154	901653	827802	982154
37,33%	830245	805744	740645	740645	905856
38,11%	814144	775642	905856	740645	905856
38,80%	798400	741344	855445	740645	855445
40,33%	620586	819392	744490	620586	819392
41,83%	763045	711936	714042	620586	763045
44,28%	752890	661189	751493	620586	752890
45,43%	679733	646837	628288	620586	732245
48,66%	732245	619536	582784	582784	732245
53,71%	652090	603440	655584	582784	655584

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1 - Calibração do sensor 1 com limites inferior e superior



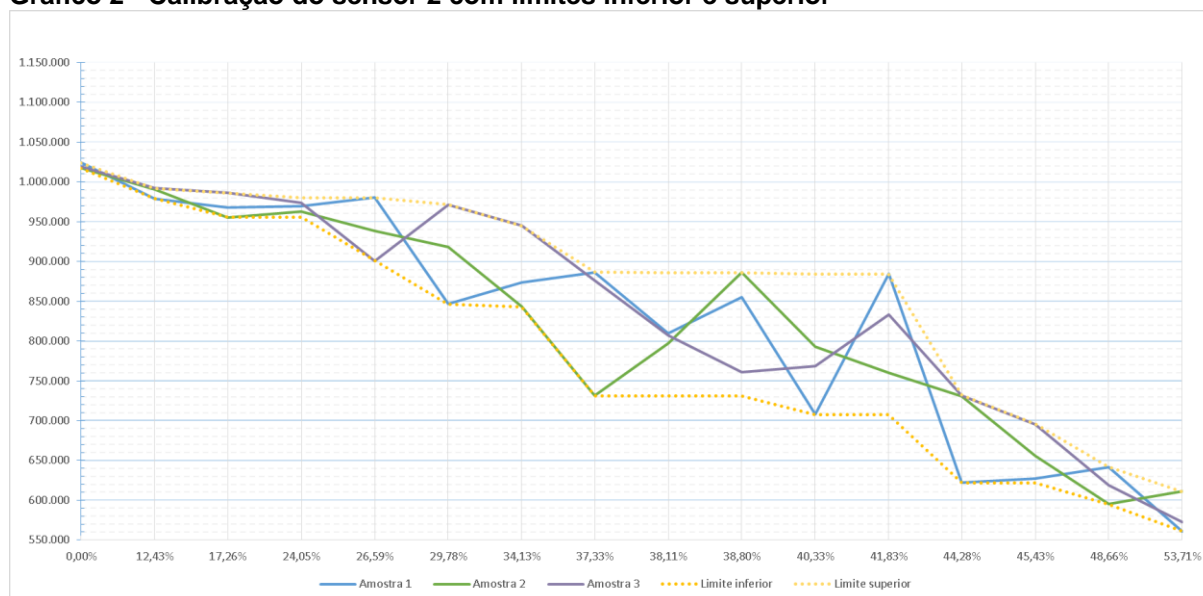
Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Faixa de leitura para o sensor 2

% médio de água	Valores lidos para amostra			Limites	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Inferior	Superior
0,00%	1024160	1017157	1019264	1017157	1024160
12,43%	979008	990208	991957	979008	991957
17,26%	968160	955205	986000	955205	986000
24,05%	969205	962906	973760	955205	980405
26,59%	980405	938405	900608	900608	980405
29,78%	846352	918453	971312	846352	971312
34,13%	873301	843200	945056	843200	945056
37,33%	886256	731194	876096	731194	886256
38,11%	809600	796997	807498	731194	885898
38,80%	855445	885898	761296	731194	885898
40,33%	707744	793146	768293	707744	884149
41,83%	884149	759893	833397	707744	884149
44,28%	621984	730496	731888	621984	731888
45,43%	627584	655936	695493	621984	695493
48,66%	641584	595034	619184	595034	641584
53,71%	561082	611136	572288	561082	611136

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 2 - Calibração do sensor 2 com limites inferior e superior

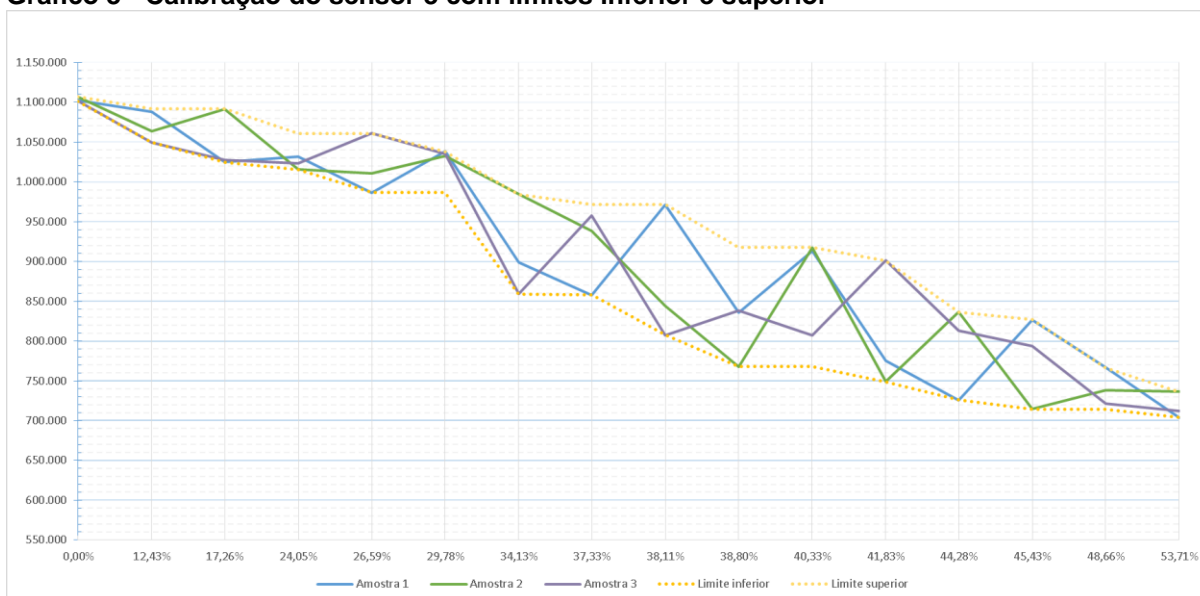


Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 - Faixa de leitura para o sensor 3

% médio de água	Valores lidos para amostra			Limites	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Inferior	Superior
0,00%	1102560	1106762	1101514	1101514	1106762
12,43%	1087861	1063365	1049712	1049712	1091712
17,26%	1024864	1091712	1027312	1024864	1091712
24,05%	1031504	1015413	1023109	1015413	1060912
26,59%	986704	1010864	1060912	986704	1060912
29,78%	1038160	1032208	1035360	986704	1038160
34,13%	898853	984256	858944	858944	984256
37,33%	857898	938410	957653	857898	971312
38,11%	971312	844256	807498	807498	971312
38,80%	835856	767946	838645	767946	917760
40,33%	913205	917760	807152	767946	917760
41,83%	774944	749040	901306	749040	901306
44,28%	725941	836549	813445	725941	836549
45,43%	826752	714394	793845	714394	826752
48,66%	766549	738192	721744	714394	766549
53,71%	703888	736442	711946	703888	736442

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 3 - Calibração do sensor 3 com limites inferior e superior

Fonte: Autoria própria.

Tendo em consideração as faixas de leitura e os valores da calibração apresentados, o cálculo da quantidade de água absorvida por cada modelo será efetuado colocando o valor lido dentro da faixa de menor valor de percentual de

água. Como exemplo, se o valor lido pelo sensor 1 for 970.000, as faixas de leitura que abrangem este valor seriam as de 34,13%, 37,33% e 38,11%, sendo escolhida a de menor percentual de água, a de 34,13%.

Portanto, considerando as faixas de leitura calculadas através dos limites inferior e superior para cada sensor, será possível calcular a faixa de absorção de água, levando em conta a quantidade de solo de cada modelo.

Os sensores escolhidos para o protótipo foram o de número 1 para o modelo intensivo, e o de número 2 para o modelo extensivo, deixando o sensor número 3 como reserva em caso de necessidade de substituição.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta sessão serão descritos os processos de implementação da solução projetada.

3.2.1 Microcontrolador TI LAUNCHPAD CC2650

O processo de implementação do microcontrolador se divide na programação do *firmware*, e na ligação dos sensores, utilizando outros componentes eletrônicos necessários.

3.2.1.1 Firmware

A implementação do *firmware* da solução foi feita utilizando a infraestrutura do sistema operacional Contiki, onde foram implementados 12 processos, sendo estes responsáveis por:

- Conexão, registro de tópicos e envio e recebimento de mensagens MQTT-SN (3 processos);
- Monitoração de travamentos utilizando ferramenta do sistema operacional (2 processos);
- Controle de LEDs (2 processos);
- Monitoração de inatividade do microcontrolador (1 processo);
- Leitura de sensores (4 processos).

A execução do *firmware* se inicia com a configuração de rede da placa controladora, que aguarda o recebimento de um IPv6 válido via 6LBR. Em seguida, é feita a tentativa de conexão com o *broker* MQTT. Em caso de sucesso de conexão, os tópicos MQTT utilizados para reportar as leituras dos sensores e receber mensagens do *broker* são registrados. Após o registro com sucesso de todos os tópicos necessários, são iniciados os processos de leitura de sensores.

Dos 4 processos que tratam da leitura dos sensores, 2 são específicos para o pluviômetro. Desta forma, a placa controladora que não tem o pluviômetro conectado não inicia estes dois processos. Além disso, um dos processos de monitoração de travamentos somente é iniciado quando um travamento é detectado. E ainda, dos 3 processos responsáveis pela comunicação MQTT, 2 são finalizados após o processo de conexão e registro dos tópicos.

Portanto, dos 12 processos criados após a conexão com o *broker* MQTT, apenas 9 processos na controladora com pluviômetro conectado, e 7 na controladora sem pluviômetro continuam em execução.

Para facilitar a identificação do estado atual do microcontrolador, sem a necessidade de checar as mensagens enviadas ao *broker* MQTT, foi implementado uma série de estados de LEDs para cada estado de execução do *firmware*. A Tabela 6 define o estado dos LEDs em relação ao estado do *firmware*.

Tabela 6 - Estado dos LEDs

Estado <i>firmware</i>	LED vermelho	LED verde
Iniciando, logo após alimentação de energia ser ligada, em processo de conexão com <i>broker</i> MQTT e registro dos tópicos	Piscando lentamente	Apagado
Pronto, conexão com <i>broker</i> efetuada, processos de leitura de sensores executando.	Apagado	Aceso
Enviando mensagens, após sensor efetuar leitura.	Apagado	Apagado rapidamente
Pronto para reiniciar, após detecção de travamento de algum processo, preparando para reiniciar controladora	Piscando lentamente	Piscando lentamente
Reiniciando controladora	Piscando rapidamente	Piscando rapidamente

Fonte: Autoria própria.

São utilizados 10 tópicos por microcontrolador, sendo um para cada sensor, além de um tópico de reporte de status da controladora, e outro para receber mensagens do *broker* MQTT. Cada tópico é nomeado seguindo o formato “/tvcwb1299/mmm/<tipo>/<final mac address>/<código sensor>”, onde:

- “<tipo>” indica se o tópico é para reporte de status (sta), ou recebimento de comando (cmd);
- “<final mac address>” é a concatenação dos dois últimos conjuntos hexadecimais do endereço MAC de rede da controladora;
- “<código sensor>” é o identificador de cada sensor;

O tópico de reporte de status da controladora, bem como o de recebimento de comandos não recebem código de sensor, tendo o nome terminado com o final do endereço MAC. A Tabela 7 mostra as siglas atribuídas a cada sensor.

Tabela 7 - Lista de sigla de sensores

Sensor	Sigla
Sensor capacitivo de umidade de solo	SCU
Sensor de chuva de ralo	CRL
Sensor de chuva de superfície 1	CS1
Sensor de chuva de superfície 2	CS2
Sensor de chuva de superfície 3	CS3
Sensor de chuva de superfície 4	CS4
Sensor de temperatura	TMP
Sensor pluviométrico	PLV

Fonte: Autoria própria.

As leituras nos sensores são efetuadas por evento ou por temporizador. Os sensores de chuva, temperatura e capacitivo são lidos em intervalo de tempo determinados, controlados por temporizadores.

Os sensores de chuva são todos lidos dentro de um mesmo laço, a cada décimo de segundo. Este intervalo foi definido pois, nos testes efetuados, as mudanças nos estados de chuva ou não chuva foram desprezíveis para intervalos menores

Já os sensores capacitivo e de temperatura são lidos em um intervalo maior, de uma hora para o estado de não chuva, e 5 minutos para o estado de chuva. O estado de chuva utilizado para selecionar o intervalo é determinado pelos sensores de chuva.

O intervalo para o estado de não chuva era, inicialmente, de 15 minutos. Porém, foi incrementado para 1 hora pois a mudança no nível de umidade em estado de não chuva foi considerada irrelevante.

Com uma implementação diferente dos demais, o pluviômetro recebe eventos, funcionando para o Contiki exatamente como um botão pressionado a cada movimento da balança. Isso ativa uma interrupção no sistema operacional, que reporta o evento para o processo que trata deste sensor. A implementação foi feita através de evento para garantir que nenhum pulso fosse perdido.

Como dito no item 2.3.1.2, o pluviômetro reporta seus eventos incrementando um contador, que é sempre zerado caso o sensor pluviométrico fique sem receber pulsos por 15 minutos. Isso garante que a contagem seja reiniciada ao final de um evento de chuva.

Dois tópicos MQTT estão relacionados com informações do microcontrolador, e não dos sensores. Estes dois tópicos são utilizados para enviar status da placa controladora, e receber informações do Encaminhador de Mensagens.

O microcontrolador reporta status quando é iniciado, para indicar que entrou em operação após um reinício causado por travamento ou queda de energia. Também são reportados a versão do *firmware* em utilização, o estado geral da controladora, que reporta informações dos sensores de chuva, pluviômetro e número de processos em execução, além de status que solicita atualização de data e hora.

O reporte do estado geral da controladora é enviado em intervalos de 5 minutos. Já a solicitação de atualização de hora é realizada a cada 24 horas.

O tópico de comando é utilizado pelo microcontrolador para receber o *timestamp* atual. *Timestamp* é um número inteiro que, através de uma data base, como 01/01/1970, reporta a data e hora atual em segundos, milissegundos ou microssegundos.

Por exemplo, o início do último dia de ano bissexto, que pode ser exibido no formato “29/02/2016 – 00:00:00”, é representado em *timestamp* de segundos como 1456714800, tendo como base a data/hora “01/01/1970 – 00:00:00”.

Após o envio do status de início ou do status de solicitação de atualização de horas, o microcontrolador recebe do Encaminhador de Mensagens uma mensagem contendo o *timestamp* em segundos da data e hora atuais. Este

timestamp é utilizado pela controladora para reportar o momento em que um dado é lido de qualquer um dos sensores.

Desta forma, em caso de atraso na entrega da mensagem para o servidor em nuvem, a própria mensagem carrega o *timestamp* de quando o evento ocorreu, evitando um registro atrasado, caso o horário utilizado para registro da leitura fosse o horário em que o servidor em nuvem recebesse a informação.

Todas as mensagens enviadas pelo microcontrolador levam o *timestamp* atual, com exceção das mensagens de status de início do microcontrolador, e o pedido de atualização de data e hora. A Tabela 8 mostra exemplos das mensagens enviadas, onde “A0A0” representa os números finais do endereço MAC da placa controladora, e o valor “T1456714800” representa o *timestamp* do momento em que o evento ocorreu. A última parte das mensagens representam o *timestamp* atual, que é o número após o caractere “T”.

Já a mensagem de status geral da controladora, reporta vários estados. O primeiro é o estado dos 5 sensores de chuva, de forma posicional, logo após a sigla RSS, seguido por 5 números que representam o estado de cada sensor, sendo valor 1 para estado de chuva, e 0 para não chuva.

Tabela 8 - Exemplos de mensagens enviadas

Evento	Mensagem enviada
Indica que a controladora foi iniciada e solicita atualização de <i>timestamp</i>	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/STT
Indica a versão do <i>firmware</i> utilizado pela controladora	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/FWV01.01.00
Solicita atualização de <i>timestamp</i>	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/TUR
Leitura do sensor de chuva de superfície 1 indicando chuva (valor 1)	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/CS1/1T1456714800
Leitura do sensor de chuva de superfície 1 indicando fim da chuva (valor 0)	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/CS4/0T1456714800
Leitura do sensor capacitivo	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/SCU/678192T1456714800
Leitura do pluviômetro	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/PLV/10T1456714800
Leitura do sensor de temperatura	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/TMP/2550T1456714800
Status geral da controladora sem pluviômetro	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/RSS01100PC7
Status geral da controladora com pluviômetro	/tvcwb1299/mmm/sta/A0A0/RSS01100PLV10PC9

Fonte: Autoria própria.

Para a controladora ligada ao pluviômetro, o status reporta a sigla PLV, seguida do último valor reportado pelo sensor pluviométrico.

O último status reportado informa quantos processos dos 12 processos estão em execução no momento, sendo que o esperado são 9 para a placa com pluviômetro, e 7 para placa sem pluviômetro. Esse valor vem precedido da sigla PC.

O *firmware* utiliza um recurso do Contiki para evitar travamentos chamado Watchdog. O Watchdog é responsável por reiniciar (*reboot*) a controladora sempre que um processo passa a utilizar todo o recurso de processador. Esta situação pode ser causada, por exemplo, por um laço infinito. Desta forma, sempre que uma situação de erro é encontrada, o firmware executa um laço infinito para forçar o reinício da controladora.

As situações em que o reinício da placa controladora é forçado são:

- Falha ou *timeout* no recebimento do endereço IPv6;
- Falha ou *timeout* na conexão com o *broker* MQTT durante início da execução do *firmware*;
- Falha ou *timeout* no registro de qualquer tópico durante início da execução do *firmware*;
- Queda ou *timeout* na conexão com o *broker* MQTT;
- Falha ou *timeout* no recebimento da mensagem de atualização de *timestamp* após envio dos status STA ou TUR;
- Nenhuma mensagem enviada pela controladora ou mais de 5 minutos.

Após o reinício da controladora, espera-se que o problema apresentado, e que motivou o reinício, não ocorra novamente. Caso o problema volte a acontecer, a controladora será novamente iniciada, podendo entrar em um *loop* de reinicializações.

O microcontrolador não foi programado para ser finalizado. A placa controladora somente irá parar de efetuar as leituras dos sensores e enviar mensagens caso ocorra um travamento que não seja detectado pelo Watchdog, não causando um reinício do sistema, ou em caso de queda de energia.

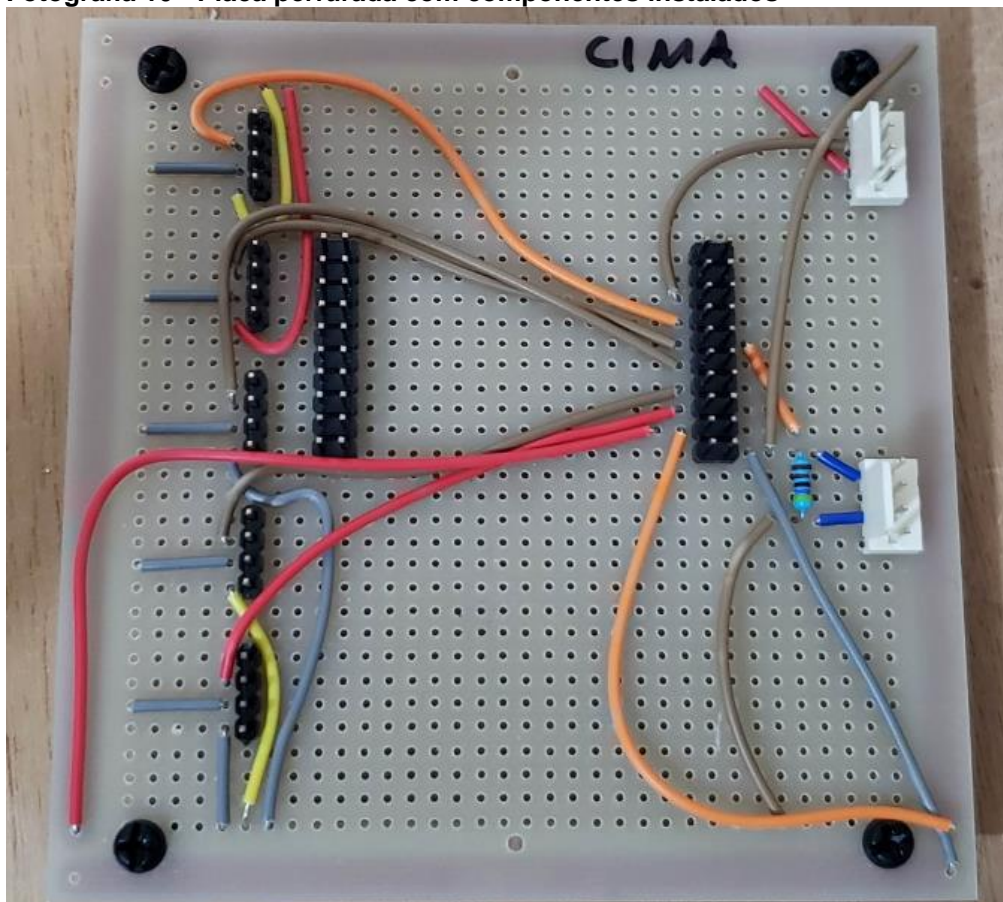
3.2.1.2 Ligação dos sensores

A ligação dos sensores no microcontrolador foi feita de acordo com os esquemáticos exibidos no item 2.3.5.

Porém, por falta de tempo hábil para produzir uma PCB baseada no esquemático, os dois esquemáticos foram implementados em placas perfuradas, onde todos os componentes necessários foram soldados de acordo com os esquemáticos.

A Fotografia 10 mostra uma placa perfurada para o modelo intensivo (sem pluviômetro) parcialmente montada, exibindo ao centro as duas barras de pino 2x10, onde o microcontrolador será fixado, à direita os conectores do sensor capacitivo (acima) e do sensor de temperatura (abaixo), e à esquerda 5 barras de pinos 2x4, onde foram soldados os circuitos de controle dos sensores de chuva. Os cabos coloridos são *jumpers* que conectam os diversos terminais necessários para formar a ligação de cada sensor.

Fotografia 10 - Placa perfurada com componentes instalados

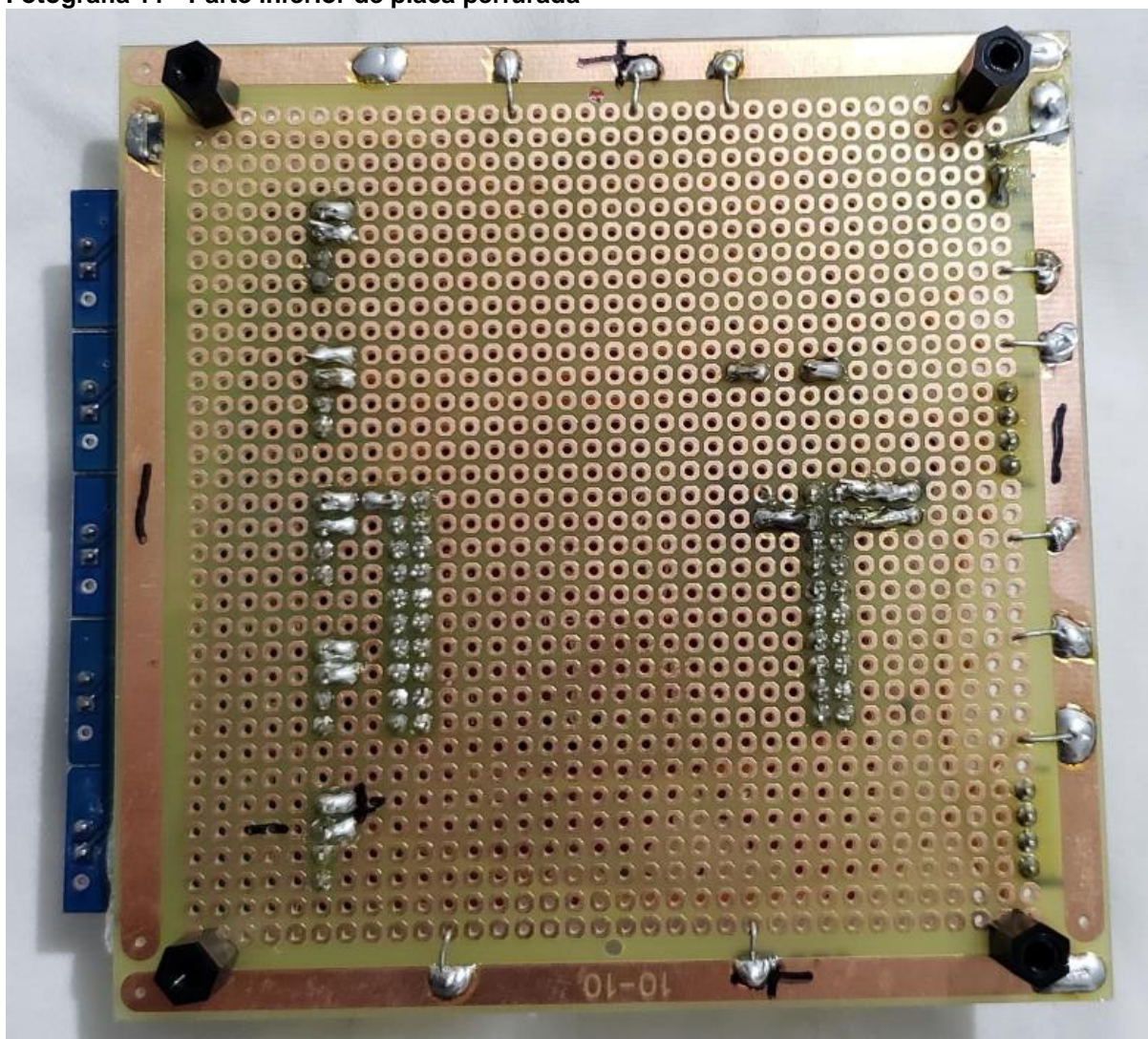


Fonte: Autoria própria.

Os sinais VCC e GND foram espalhados através das trilhas que percorrem os 4 lados da placa perfurada, sendo o VCC ligado às trilhas horizontais, e o GND às trilhas verticais. Desta forma, ambos os sinais ficam mais acessíveis para utilização pelos conectores dos sensores.

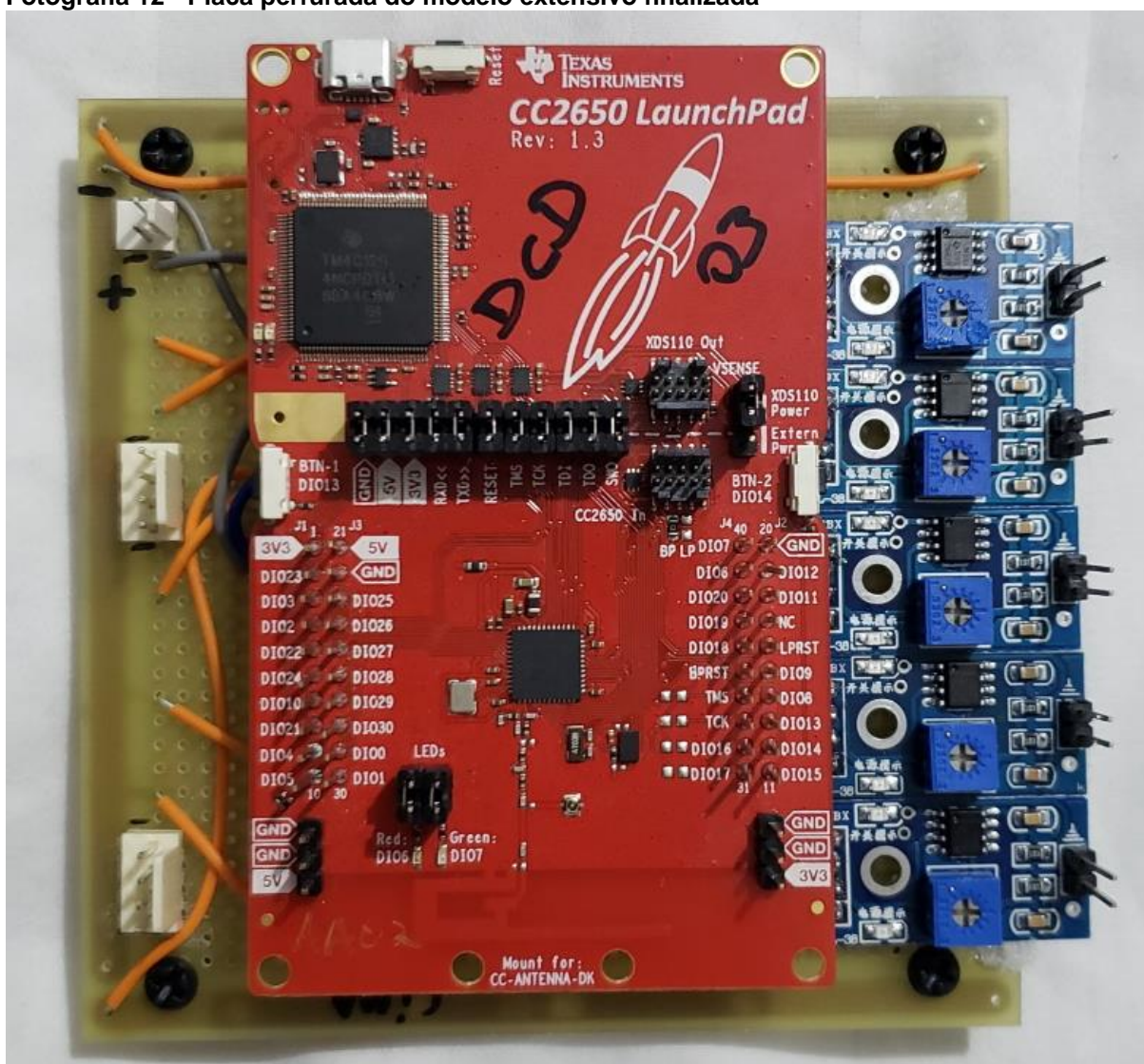
Todos os componentes foram soldados na parte inferior da placa perfurada, conectando todos os terminais e trilhas segundo especificado no esquemático, conforme mostra a Fotografia 11, que exhibe a placa perfurada do modelo extensivo (com pluviômetro) já finalizada. Já a Fotografia 12 exhibe a parte superior da mesma placa perfurada, com o microcontrolador conectado, os circuitos de controle dos sensores de chuva do lado direito, e os conectores do pluviômetro, sensor de temperatura e sensor capacitivo à esquerda.

Fotografia 11 - Parte inferior de placa perfurada



Fonte: Autoria própria.

Fotografia 12 - Placa perfurada do modelo extensivo finalizada



Fonte: Autoria própria.

A conexão entre a placa perfurada e os sensores é feita através de cabos de 2 e 4 vias, ligados através dos conectores soldados na placa ou, no caso dos sensores de chuva, os conectores soldados nos circuitos de controle. A ligação dos conectores nos cabos foi isolada utilizando isolante termorretrátil.

O conjunto placa perfurada e microcontrolador são alimentados por uma fonte de energia de 5V e 3A, conectada ao microcontrolador por plugue micro USB.

3.2.2 Border Router

A implementação do *border router*, conforme já dito, foi feita em sua maior parte durante as aulas do curso de especialização em Internet das Coisas. Toda a

instalação e configuração de ambos os softwares 6LBR e Mosquitto RSMB MQTT Broker foram feitas com a ajuda dos professores.

Além destes softwares utilizados no roteamento e comunicação, foi necessária a implementação de um terceiro ator neste cenário: o Encaminhador de Mensagens (*Package Forwarder*).

No projeto inicial, a comunicação entre o *border router* e o servidor em nuvem seria feita através do protocolo MQTT, com um processo executado pelo Django se inscrevendo nos tópicos necessários para receber os dados lidos pelos sensores. Porém, esta opção tornou-se inviável por motivos técnicos e de segurança.

O motivo técnico decorre da falta de suporte a IPv6 no serviço Docker utilizado para executar o servidor em nuvem. Uma vez que o *border router* tem acesso a internet por provedor que somente suporta IPv6, não é possível conectar um processo executado dentro do serviço Docker ao *broker* MQTT do *border router* sem suporte a IPv6.

Já a questão de segurança ocorre, pois, a especificação do MQTT-SN não prevê autenticação de usuário conectado ou encriptação dos dados trafegados. A rede de sensores foi protegida através de configuração de encriptação na comunicação do 6LBR, fazendo com que todos os dados trafegando na rede de sensores, via 6LowPAN, estejam seguros.

Porém, a conexão via protocolo MQTT entre servidor em nuvem e o *broker* estaria vulnerável, pois estes nós de rede estão externos à rede de sensores. Neste caso, através de monitoramento de tráfego de rede, seria possível descobrir o endereço do *broker* MQTT e o nome dos tópicos, deixando-o suscetível a ataques externos.

Para solucionar os dois problemas detectados foi implementado o Encaminhador de Mensagens, cuja função principal é se inscrever nos tópicos MQTT utilizados para envio das medições feitas pela rede de sensores, recebendo os dados e os encaminhando para o servidor em nuvem.

Por ser executado no Raspberry Pi, onde também está localizado o *broker*, a conexão é local, não havendo risco de segurança devido às fragilidades do protocolo MQTT. Já a comunicação entre o Encaminhador de Mensagens e o servidor em nuvem é feita através de protocolo HTTPS e arquitetura REST, que exige autenticação, garantindo a segurança dos dados trafegados.

O Encaminhador de Mensagens é responsável também por fornecer o *timestamp* requisitado pelos microcontroladores, enviando com base na data e hora local do Raspberry Pi, sincronizada com um *time server*, estando assim sempre atualizada com a data e hora locais.

O Encaminhador de Mensagens utiliza o software SQLite3, que é um banco de dados leve, salvo no armazenamento local do Raspberry Pi, e que tem a função de criar uma fila das mensagens. Através de um processo independente, as mensagens recebidas nos tópicos MQTT são inseridas nesta fila. Outro processo, também independente, verifica todas as inserções na fila, reencaminhando as mensagens ao servidor em nuvem na ordem em que foram inseridas na fila. Assim que o servidor em nuvem confirma o recebimento da mensagem, esta é retirada da fila no banco de dados.

A vantagem desta abordagem está na garantia de envio das mensagens caso o servidor em nuvem apresente falha. Neste caso, as mensagens recebidas da rede de sensores seriam inseridas na fila, garantindo o armazenamento, sendo enviadas assim que o Encaminhador de Mensagens consiga restaurar a conexão com o servidor em nuvem.

3.2.3 Servidor em Nuvem

O servidor em nuvem, implementado através do *framework* Django e do banco de dados MariaDB, é responsável por armazenar os dados recebidos e dar o tratamento necessário a estes dados de forma a fornecer as informações necessárias ao projeto de pesquisa.

A implementação do servidor em nuvem foi focada no armazenamento dos dados devido a necessidade da criação da rede de sensores em tempo hábil para prover o período mínimo de coleta de dados. O servidor em nuvem está operacional e recebendo as leituras efetuadas pela rede de sensores através de uma interface desenvolvida utilizando arquitetura REST, que usa o formato JSON para receber e enviar dados.

Para utilizar os serviços da interface REST, é necessária a aquisição de um *token* de sessão, através de um serviço específico que solicita autenticação por usuário e senha. Uma vez de posse do *token* de sessão, as interações com a

interface podem ser requisitadas informando o *token* no cabeçalho das requisições HTTPS. Cada *token* gerado é válido por 24 horas.

O serviço mais importante disponível na interface REST é o utilizado pelo Encaminhador de Mensagens para enviar as mensagens recebidas da rede de sensores. Este serviço está publicado no endereço disponível em: <http://tv-cwb-iot.terracoverde.eco.br/message_receiver/>, com acesso em: 20 out. 2019, e está disponível através do método POST. O formato esperado é mostrado no Quadro 1 em dois exemplos.

Quadro 1 - Exemplo de mensagens em formato JSON

Mensagem de status de controladora:

```
{
  "topic": "/tvcwb1299/mmm/sta/8904",
  "message": "STT"
}
```

Mensagem de leitura de sensor:

```
{
  "topic": "/tvcwb1299/mmm/sta/8904/TMP",
  "message": "2112T1573391250"
}
```

Fonte: Autoria própria.

O primeiro exemplo do Quadro 1, apresentado acima, mostra uma mensagem de status de controladora, contendo o tópico MQTT no atributo “topic” e valor informado no atributo “message”. O atributo “topic”, conforme já visto no item 3.2.1.1, traz informações importantes para identificar a controladora que originou a mensagem.

Neste caso, o valor “8904” no atributo “topic”, informa o final do endereço MAC do microcontrolador. O valor recebido no atributo “message” foi “STT”, que indica reinício da placa controladora.

Já o segundo exemplo mostra um status de leitura de sensor. O valor “8904” no atributo “topic”, como já visto acima, identifica a placa controladora, e o valor “TMP” indica o sensor de temperatura. O valor recebido no atributo “message” tem duas informações separadas pela letra maiúscula “T”. Do lado esquerdo, tem-se o valor lido do sensor, indicando a temperatura 21,12 °C. Do lado direito, tem-se o

timestamp da leitura, com valor "1573391250", que equivale a data e hora "10/11/2019 10:07:30".

Também foi desenvolvida uma aplicação *web* simples para listar as mensagens recebidas pelas placas controladoras. Esta interface disponível em: <<https://tv-cwb-iot.terracoverde.eco.br/>>, com acesso em: 20 out. 2019, apresenta duas páginas, uma com os status de sensores, e outra com os status das placas controladoras.

Nesta interface é possível efetuar filtros por data e hora, sensor, modelo intensivo ou extensivo e valor lido. Os valores apresentados nesta página ainda não estão tratados e são exibidos no mesmo formato enviado pelas controladoras.

3.3 INSTALAÇÃO

A vedação dos equipamentos a serem instalados foi a maior preocupação durante o projeto. Como todos os componentes da solução ficariam expostos a chuva, foi necessário proteger corretamente as controladoras e o *border router* em caixas de passagem, que são caixas plásticas utilizadas para instalação de equipamento elétrico.

As caixas de passagem escolhidas têm tampa removível através de travas, e possuem anel de vedação de borracha, o que impede a entrada de líquidos. Foram utilizadas 4 caixas de passagem, sendo 2 para os microcontroladores, 1 para o *border router*, todas com tampa transparente para facilitar a visualização dos LEDs das placas; e 1 para armazenar as fontes de energia dos microcontroladores, de tampa opaca.

Para fixar o conjunto microcontrolador e placa perfurada na caixa de passagem foram utilizados cola epóxi e um conjunto de espaçadores e parafusos de vinil. Foram feitos quatro furos nos cantos de cada das placas perfuradas, de tamanho suficiente para inserir os parafusos de vinil.

Com os parafusos e espaçadores presos à placa perfurada, os espaçadores foram afixados no fundo da caixa de passagem com cola epóxi. Desta forma, foi possível fixar a caixa de passagem no local desejado com o espaço interno livre, afixando a placa perfurada, o microcontrolador e os cabos com a caixa de passagem já instalada.

Outra vantagem desta opção é a possibilidade de troca ou manutenção da placa perfurada sem necessitar desinstalar a caixa de passagem. A Fotografia 13 mostra a caixa de passagem já instalada, com os espaçadores prontos para receber a placa perfurada. O tamanho da caixa de passagem foi escolhido para prover espaço às mãos na hora de conectar ou desconectar cabos.

Fotografia 13 - Caixa de passagem instalada

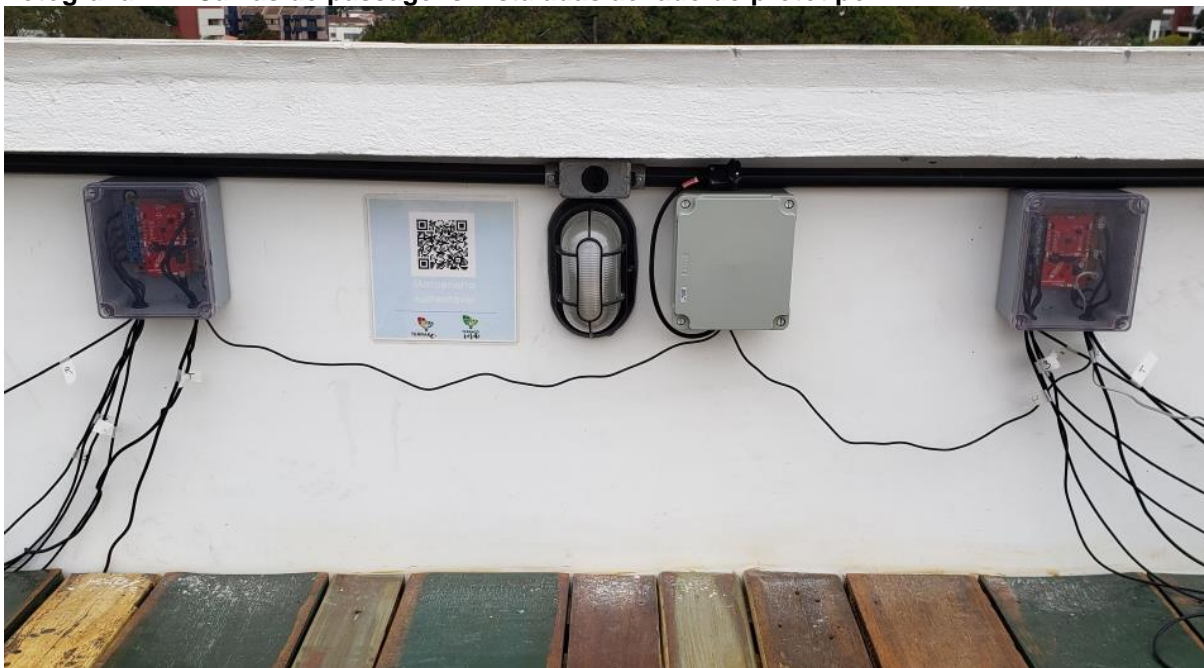


Fonte: Autoria própria.

A passagem dos cabos necessários para a ligação com os sensores, bem como da fonte de energia foi feita através de duas aberturas feitas na parte inferior das caixas de passagem. Isto para dificultar a entrada de água. As aberturas foram protegidas com passadores de borracha. Por ter a passagem dos cabos na parte inferior das caixas, a placa perfurada foi implementada de modo a ter o microcontrolador com a entrada da fonte de energia virado para baixo.

O local de fixação dos microcontroladores foi escolhido de acordo com a proximidade de cada lado respectivo do protótipo, intensivo e extensivo, próximo também de uma tomada elétrica, conforme mostra a Fotografia 14. Já a fixação do *border router* foi feita em local onde já havia infraestrutura para um novo cabo de rede CAT5, utilizando a mesma tubulação de passagem e tomada elétrica já disponíveis (Fotografia 15).

Fotografia 14 - Caixas de passagens instaladas ao lado do protótipo



Fonte: Autoria própria.

A distância do local de instalação dos microcontroladores em relação ao local do *border router* é de aproximadamente 7,6 metros, sem obstáculos. Nesta distância, a comunicação entre os nós da rede de sensores sem fio mostrou-se estável e confiável.

Fotografia 15 - Border router instalado



Fonte: Autoria própria.

Os sensores foram instalados de acordo com a respectiva função. Os sensores de chuva de superfície foram fixados com resina plástica em hastes de alumínio de 15 cm, em formato tubular redondo, com ambas as pontas contadas em aproximadamente 45°, facilitando a inserção no solo, e também criando um ângulo

descendente para fixação do sensor, impedindo que água se acumule na placa de trilhas.

As 4 hastes foram fixadas no modelo formando um Y, sempre com a o ângulo descendente da placa de trilhas direcionado para o centro do modelo.

Ambos os sensores capacitivo e de temperatura foram instalados ao centro de cada modelo, sendo o sensor de temperatura completamente coberto, a uma profundidade de 7 cm, e o sensor capacitivo inserido até a mesma profundidade, deixando a parte com os componentes eletrônicos exposta, conforme indicado.

O pluviômetro foi instalado no banco que faz parte da estrutura de madeira, ao lado do modelo extensivo, em uma área longe do parapeito, para que pudesse receber a chuva em 360°, e que não atrapalhasse a utilização dos bancos do protótipo. A Fotografia 16 mostra o pluviômetro, sensores de chuva de chuva e parte do sensor capacitivo instalados no modelo extensivo, e ao lado dele.

Fotografia 16 - Sensores instalados no modelo extensivo



Fonte: Autoria própria.

Já os sensores de chuva de ralo foram instalados embaixo do ralo de cada modelo, através de acessos localizados nos extremos da parte frontal do protótipo. Ambos os acessos são protegidos por uma peça horizontal de madeira. Na Fotografia 17, que exhibe todo do protótipo, é possível ver as peças de madeira nas extremidades inferiores de cada modelo. Os sensores de chuva de ralo foram fixados com resina plástica em base de madeira, também mantendo uma angulação para evitar o acúmulo de água.

Fotografia 17 - Protótipo instalado



Fonte: Autoria própria.

3.4 PROBLEMAS ENCONTRADOS E SOLUÇÕES APLICADAS

Diversos problemas foram encontrados durante a execução do projeto. Nesta sessão estes problemas são discutidos e as respectivas soluções, se encontradas.

3.4.1 Oxidação dos Sensores de Chuva

Após primeira ocorrência de chuva, logo após a instalação da rede de sensores, foi detectada a oxidação dos sensores de chuva, tanto de superfície quanto de ralo. A provável causa é baixa qualidade do material e a tecnologia aplicada ao sensor, que exige trilha metálica exposta, sem nenhum tipo de proteção, além do uso de corrente constante na placa de trilhas, acelerando o processo de oxidação. As placas de trilhas dos sensores foram substituídas por modelos diferentes, porém com a mesma tecnologia, obtendo o mesmo resultado. A Fotografia 18 exhibe a oxidação ocorrida em dois dos sensores de chuva.

Este problema não foi solucionado até a entrega desta monografia. Opções de solução para este problema estão apontadas na conclusão desta monografia.

Fotografia 18 - Sensores de chuva oxidados

Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Dificuldade de Troca dos Sensores de Chuva

Devido a oxidação dos sensores de chuva, foi necessária a troca dos mesmos. Porém, como os sensores foram fixados nas hastes de alumínio utilizando resina plástica, a instalação foi dificultada, pois a resina demora a secar, e a pouca área de contato da haste com a placa de trilhas, torna a fixação difícil.

A solução foi criar uma base fixa na haste para prender a placa de trilha. Esta base foi fixada através de um parafuso, com um pedaço de mangueira plástica com corte diagonal e arruela de metal, mantendo a angulação da base. Para afixar a nova placa de trilha na base, foram utilizados espaçadores e parafusos similares aos utilizados para fixar as placas perfuradas nas caixas de passagem.

As placas de trilhas oxidadas foram utilizadas como base, podendo assim utilizar a furação já disponível na placa para fixar a nova placa. Foi necessário apenas perfurar o meio da placa utilizada como base para inserir parafuso, conforme mostra a Fotografia 19.

Fotografia 19 - Nova fixação para sensor de chuva



Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Sensor de Chuva de Ralo Deslocado Após Alagamento do Terraço

Em caso de grande precipitação de água, ocorre alagamento nas áreas do Terraço Verde onde não há substrato. Conforme exibido na Fotografia 17, em volta do protótipo não há cobertura de substrato, o que torna esta área suscetível a alagamento.

Este cenário não foi previsto quando os sensores de ralo foram instalados nas pequenas bases de madeira. Quando o alagamento ocorre, as bases de madeira flutuam, deslocando os sensores de chuva de ralo para um local incorreto em relação a posição do ralo do modelo.

Este problema foi solucionado em conjunto com a solução do problema 3.4.2. Uma haste de alumínio de 5 cm de comprimento foi utilizada, com o mesmo sistema de fixação, porém presa a uma grande base de madeira, de aproximadamente 20 por 4 cm. Após o posicionamento do sensor, foram adicionadas pedras sobre a base de madeira para evitar a flutuação da peça. Assim, a estrutura onde a placa de trilhas está fixada continua no local correto, mesmo em caso de alagamento do terraço.

3.4.4 Travamento dos Microcontroladores LAUNCHPAD CC2650

Apesar da ativação do recurso Watchdog do sistema operacional Contiki, foram detectados casos em que as placas controladoras apresentaram um estado de travamento ou congelamento na execução do *firmware*, não enviando mais mensagens ao *broker*.

Esta situação ocorreu com ambas as controladoras, em momentos diferentes. Porém, não foi possível detectar a causa dos travamentos.

Um dos suspeitos de estar causando o travamento era o próprio Watchdog. Para tentar descobrir se este era o caso, foi incluído no *firmware* um novo estado para o LEDs, piscando rapidamente de forma alternada durante a execução do laço infinito que faz com que o Watchdog reinicie a controladora.

Porém, não foi detectado nenhum travamento neste ponto. Após vários testes, o problema ocorreu durante o início da execução do *firmware*, quando o Contiki está iniciando os processos básicos de gerenciamento do sistema operacional.

Após a última versão do *firmware*, incluindo este novo estado dos LEDs, a ocorrência de casos de travamento baixou drasticamente, ocorrendo apenas uma vez após a alteração, em um período de um mês.

Este problema continua sendo investigado.

4 RESULTADOS

Os resultados esperados para este projeto foram parcialmente atingidos. Devido aos problemas relatados no item 3.4, alguns requisitos funcionais não foram cumpridos, ou não tiveram seus objetivos totalmente atingidos.

Iniciando a análise pelos requisitos não funcionais, o requisito não funcional 01 previa coleta de dados por, pelo menos, 3 meses, com disponibilidade mínima de 80%.

Foi possível analisar dados de 54 dias de coleta. Apesar do tempo de coleta ser inferior ao tempo proposto, a rede de sensores continua ativa no protótipo do Terraço Verde, efetuando coleta de dados, que serão analisados oportunamente pela colega mestranda, cumprindo os 3 meses de coleta de dados.

Sobre o segundo ponto do RN01, a disponibilidade da rede de sensores, foram analisados os dados de status enviados pelas placas controladoras. Através destas mensagens, especialmente o de status de reinício da controladora (STT), foi possível calcular tanto o tempo total de operação desde a instalação, quanto o tempo de indisponibilidade, baseado no tempo da última mensagem enviada antes da próxima mensagem STT.

O Quadro 2 mostra o tempo de disponibilidade calculado. A disponibilidade atingida pelas controladoras de ambos os modelos é maior do que o mínimo solicitado pelo RN01, atingindo disponibilidade média de 89,42%.

Desta forma, considera-se que o RN01 foi cumprido.

Quadro 2 - Disponibilidade da rede de sensores

Tempo (em horas)	Modelo Intensivo	Modelo Extensivo
Fora do ar	172,80	103,08
Total	1304,03	1304,04
Disponibilidade	86,75%	92,10%

Fonte: Autoria própria.

Sobre o requisito não funcional número 2, manter os dados em plataforma online, de alta disponibilidade e com cópia de segurança, também se considera este requisito atendido, uma vez que os dados estão sendo armazenados no servidor em nuvem, provido pelo Terraço Verde, com acesso a qualquer tempo e processo de *backup* diário.

Iniciando com os requisitos funcionais pelo RN01, calcular o atraso de pico, verifica-se pelos problemas expostos no item 3.4 que este requisito não foi atingido devido a oxidação nos sensores de chuva. Já existem possíveis soluções para este problema sendo analisadas, que são discutidos na conclusão desta monografia.

O requisito funcional número 2, que previa determinar a quantidade de água precipitada durante os eventos de chuva foi completamente satisfeito, uma vez que o sensor pluviométrico efetuou medições similares às informações históricas providas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE.

O Quadro 3 mostra comparação entre os dados colhidos pelo pluviômetro em dias de chuva, comparados com dados consultados no *site* do CPTEC.

Quadro 3 - Comparação histórico CPTEC/INPE contra pluviômetro

Chuva em milímetros		
Data	CPTEC/INPE	Pluviômetro
18/09/2019	25,2	19,8
19/09/2019	29,6	25,4
06/10/2019	22,4	22,9
07/10/2019	10,2	9,2
05/11/2019	8,4	8,1

Fonte: Autoria própria².

Apesar da calibração dos sensores capacitivos, utilizados para obter os dados necessários para cumprir o requisito funcional número 3, ter demonstrado que a leitura dos sensores não traria informações com a precisão desejada, as faixas de leitura puderam ser criadas e, assim, é possível ter medições de absorção de água para efetuar a comparação entre os modelos.

Além disso, com a informação provida, é possível determinar tendências de retenção da água, apontando quando ocorre o ganho ou perda de umidade em cada modelo. Desta forma, considera-se este requisito como atendido.

A leitura da temperatura, relacionada ao requisito funcional número 4 foi outro objetivo atingido. Entre os dias 15/09/2019 e 08/11/2019 foram feitas 3790 leituras nos termômetros de ambos os modelos, gerando informação suficiente para efetuar comparações entre os modelos.

² Dados extraídos do CPTEC/INPE. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 20 out. 2019

O último requisito funcional, de número 5, foi parcialmente satisfeito, uma vez que os dados estão disponíveis via aplicação *web* disponível em: <<http://tv-cwb-iot.terracoverde.eco.br/>>, acesso em: 20 out. 2019, porém sem o tratamento necessário para as unidades de medidas solicitadas. Os dados também estão disponíveis para exportação em formato CSV, mas também sem tratamento. Este requisito será completamente atendido, em curto espaço, conforme discutido na conclusão deste documento.

Um resultado não previsto por esta monografia foi a divulgação deste projeto de pesquisa colaborativo no *website* do jornal Gazeta do Povo, em matéria sobre o Terraço Verde Curitiba. A reportagem apresenta, dentre outras coisas, os projetos em curso no Terraço Verde, incluindo este.

A matéria pode ser encontrada disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/urbanismo/terraco-verde-em-curitiba-e-vitrine-de-solucoes-tecnologicas-e-sustentaveis/>>, acesso em 20 out. 2019.

5 CONCLUSÃO

Nesta monografia foi apresentado o projeto de implementação de uma rede de sensores em parceria com um projeto de pesquisa de mestrado, criada para monitorar um protótipo de telhado verde, cujo objetivo é comparar os tipos intensivo e extensivo de coberturas verdes.

Foram definidos objetivos e requisitos para atender as necessidades da pesquisa. Também foi apresentado o planejamento, visando atingir os objetivos traçados, e como este planejamento foi implementado.

Os resultados apresentados mostram que os requisitos da pesquisa foram parcialmente atingidos devido a problemas técnicos encontrados com os sensores. O período de coleta de dados será atingido com a continuidade do projeto, sendo que boa parte dos dados já foi coletada.

Parte dos problemas encontrados no curso deste projeto correspondem a baixa qualidade dos sensores disponíveis no mercado que, apesar de acessíveis devido ao baixo custo, na prática, não entregam a medição de acordo com o esperado, ou simplesmente se deterioram no processo.

Os sensores com objetivos simples, como termômetros ou pluviômetros, que não dependem de outro dispositivo para entregarem a informação necessária, foram efetivos, coletando as medições de forma confiável.

Porém, no caso do sensor de chuva, onde a medição da informação desejada necessita da composição de um ou mais sensores, a implementação da solução torna-se complexa, aumentando as chances de falha na obtenção dos resultados, ou de dados inconsistentes.

No caso do cálculo do atraso de pico, que dependia dos sensores de chuva, a complexidade da implementação somou-se a baixa qualidade do sensor, inviabilizando a coleta desta informação.

Considerando o planejamento, desenvolvimento e os resultados obtidos por este projeto, é possível sugerir algumas alterações com o intuito de corrigir os problemas que ainda persistem, ou melhorar pontos que já estão funcionando corretamente.

Iniciando pelos sensores de chuva, relacionados com o único requisito não atendido, é necessário projetar novamente toda a solução de medição. Possíveis

soluções seriam a utilização de sensores de chuva capacitivos, utilizando a mesma tecnologia dos sensores de umidade de solo.

Este tipo de sensor não tem os contatos expostos ao tempo, e também não trabalha com as trilhas recebendo corrente de forma ininterrupta. Portanto, é um sensor que não oxida. A chuva seria detectada pela presença da água na superfície do sensor, o que iria variar o valor de capacitância elétrica lido nas trilhas.

Os sensores estariam dispostos acima do solo, da mesma forma como foram instalados os sensores de chuva atuais. Sem necessidade de precisão e sem ter contato com solo, este tipo de sensor responsável pela detecção de chuva dispensa calibração. Esta tecnologia de sensor poderia ser também utilizada como sensor de ralo.

Uma outra provável solução seria combinar a utilização do sensor capacitivo no ralo, com um sensor de chuva ótico na superfície. Este sensor mede a quantidade de chuva através de um sensor ótico, que detecta as gotas de chuva que tocam a proteção plástica do sensor. A Fotografia 20 exhibe o sensor de chuva ótico.

Fotografia 20 - Sensor de chuva ótico



Fonte: Autoria própria.

Outra melhoria seria a troca do sensor capacitivo utilizado por outro que apresentasse maior linearidade nas leituras, gerando faixas de leituras menores,

trazendo assim mais precisão às medições. Porém, é importante frisar que todo sensor capacitivo de umidade de solo precisa ser calibrado. Vale anotar que o processo de calibração é dispendioso e depende de recursos externos ao projeto e ao Terraço Verde.

Outro ponto que precisa ser considerado é a adaptação necessária nas placas perfuradas em caso de troca da tecnologia dos sensores. Caso as melhorias sugeridas fossem implementadas, seria necessário alterar grande parte das placas perfuradas, retirando todos os componentes relacionados aos atuais sensores de chuva, e adicionando os componentes necessários para os novos sensores.

Sobre os softwares desenvolvidos, ainda é necessário investigar a causa de travamento dos microcontroladores, apesar da incidência do problema ter diminuído após a instalação da última versão do *firmware*.

Ainda sobre o software é necessário melhorar a aplicação *web* para apresentar os dados nas unidades necessárias, tanto para a interface gráfica, quanto para a exportação de dados em formato CSV. É necessário também criar uma aplicação móvel para apresentar os mesmos dados da aplicação *web*, porém em formato próprio para dispositivos móveis.

O projeto tratado aqui não será finalizado com a entrega desta monografia. O plano do Terraço Verde Curitiba é continuar com a parceria, evoluindo o que já foi feito. Planeja-se para o futuro algumas melhorias e correções, descritas a seguir:

- Utilização de nova tecnologia de sensores para medir o atraso de pico, conforme descrito acima;
- Evolução da aplicação *web* e desenvolvimento da aplicação móvel, incluindo gráficos e novas formas de visualização dos dados a partir dos dados históricos;
- Melhoria do *firmware* ao implementar a gravação de mensagens em memória permanente (*flash*), recurso disponível nas controladoras LAUNCHPAD CC2650, evitando interrupção da leitura dos sensores em casos de perda de comunicação com o *broker*, salvando as informações lidas e enviando quando a conexão for reestabelecida;
- Melhoria no *firmware* utilizando a memória permanente para contar o número de reinícios em sequência, fazendo com que a controladora pare de reiniciar a partir de um número especificado, evitando um *loop* de reinicialização;

- Desenvolvimento de novo esquemático baseado nos novos sensores de chuva, e utilização deste esquemático para projetar nova PCB a ser impressa, substituindo as placas perfuradas, gerando uma solução de hardware mais confiável e profissional.

Dando continuidade a este projeto, a primeira solução a ser adotada está relacionada a troca de tecnologia dos sensores de chuva, para que se possa efetuar coleta de dados ainda em tempo hábil para a pesquisa de mestrado.

REFERÊNCIAS

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

CASAGRANDE, T. **O desempenho de telhados verdes intensivos em termos de controle de temperatura e retenção de águas pluviais na cidade de Curitiba - PR**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de concentração: Sustentabilidade no Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

CASAGRANDE, T. *et al.* **EURO elecs 2019: III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles. Temperatura e escoamento em telhados verdes intensivos uma revisão**. Santa Fé, Argentina, 2019. p. 1373-1384. ISBN 978-987-47232-1-5. Disponível em: <<https://euroelecs2019.frsf.utn.edu.ar/actas-del-evento/libro-de-actas>>. Acesso em: 15 nov. 2019, 11:40.

IETF (*Internet Engineering Task Force*). **RFC 6282: Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks**. 2011. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/pdf/rfc6282.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019, 17:20.

OASIS. **MQTT Version 3.1.1: OASIS Standard**. 2014. Disponível em: <<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019, 17:15.

PINHEL, M. M; BEZERRA, G. P. **Sistema de telemetria e telecomando para suporte à agricultura urbana**. 2018. 97 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

SILVA, N. da C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

STANFORD-CLARK, A; TRUONG H. L. **MQTT for Sensor Networks (MQTT-SN): Protocol Specification: Version 1.2**. 2013. Disponível em: <http://mqtt.org/new/wp-content/uploads/2009/06/MQTT-SN_spec_v1.2.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019, 17:10.

APÊNDICE A: Tabela de valores lidos durante a calibração dos sensores capacitivos de umidade de solo

Número da leitura	Identificação do sensor	Número da Amostra	% de água adicionada	Peso final da amostra	Valor lido
1	1	1	0	50	1038512
2	2	1	0	50	1024160
3	3	1	0	50	1102560
4	1	2	0	50	1038864
5	2	2	0	50	1017157
6	3	2	0	50	1106762
7	1	3	0	50	1037808
8	2	3	0	50	1019264
9	3	3	0	50	1101514
10	1	1	10	56,9	1005253
11	2	1	10	56,9	979008
12	3	1	10	56,9	1087861
13	1	2	10	57	996160
14	2	2	10	57	990208
15	3	2	10	57	1063365
16	1	3	10	57,4	1021008
17	2	3	10	57,4	991957
18	3	3	10	57,4	1049712
19	1	1	20	60,7	994405
20	2	1	20	60,7	968160
21	3	1	20	60,7	1024864
22	1	2	20	59,8	1021008
23	2	2	20	59,8	955205
24	3	2	20	59,8	1091712
25	1	3	20	60,8	970256
26	2	3	20	60,8	986000
27	3	3	20	60,8	1027312
28	1	1	30	66,1	973760
29	2	1	30	66,1	969205
30	3	1	30	66,1	1031504
31	1	2	30	65,6	982160
32	2	2	30	65,6	962906
33	3	2	30	65,6	1015413
34	1	3	30	65,8	991264
35	2	3	30	65,8	973760
36	3	3	30	65,8	1023109

Número da leitura	Identificação do sensor	Número da Amostra	% de água adicionada	Peso final da amostra	Valor lido
37	1	1	40	69,7	930704
38	2	1	40	69,7	980405
39	3	1	40	69,7	986704
40	1	2	40	70,1	917056
41	2	2	40	70,1	918453
42	3	2	40	70,1	1032208
43	1	3	40	66,8	1004906
44	2	3	40	66,8	900608
45	3	3	40	66,8	1060912
46	1	1	50	73,1	900602
47	2	1	50	73,1	846352
48	3	1	50	73,1	1038160
49	1	2	50	67,9	987760
50	2	2	50	67,9	938405
51	3	2	50	67,9	1010864
52	1	3	50	70,5	945408
53	2	3	50	70,5	971312
54	3	3	50	70,5	1035360
55	1	1	60	79,3	814144
56	2	1	60	79,3	809600
57	3	1	60	79,3	971312
58	1	2	60	72,4	982154
59	2	2	60	72,4	843200
60	3	2	60	72,4	984256
61	1	3	60	77,5	901653
62	2	3	60	77,5	945056
63	3	3	60	77,5	858944
64	1	1	70	78,3	830245
65	2	1	70	78,3	886256
66	3	1	70	78,3	857898
67	1	2	70	84,1	819392
68	2	2	70	84,1	793146
69	3	2	70	84,1	917760
70	1	3	70	82,3	855445
71	2	3	70	82,3	761296
72	3	3	70	82,3	838645
73	1	1	80	78,1	827802

Número da leitura	Identificação do sensor	Número da Amostra	% de água adicionada	Peso final da amostra	Valor lido
74	2	1	80	78,1	873301
75	3	1	80	78,1	898853
76	1	2	80	87,3	711936
77	2	2	80	87,3	759893
78	3	2	80	87,3	749040
79	1	3	80	83,8	744490
80	2	3	80	83,8	768293
81	3	3	80	83,8	807152
82	1	1	90	83,5	620586
83	2	1	90	83,5	707744
84	3	1	90	83,5	913205
85	1	2	90	83,6	741344
86	2	2	90	83,6	885898
87	3	2	90	83,6	767946
88	1	3	90	81,4	740645
89	2	3	90	81,4	876096
90	3	3	90	81,4	957653
91	1	1	100	79,3	798400
92	2	1	100	79,3	855445
93	3	1	100	79,3	835856
94	1	2	100	81,5	775642
95	2	2	100	81,5	796997
96	3	2	100	81,5	844256
97	1	3	100	81,6	905856
98	2	3	100	81,6	807498
99	3	3	100	81,6	807498
100	1	1	110	84,9	763045
101	2	1	110	84,9	884149
102	3	1	110	84,9	774944
103	1	2	110	79,7	805744
104	2	2	110	79,7	731194
105	3	2	110	79,7	938410
106	1	3	110	89,5	751493
107	2	3	110	89,5	731888
108	3	3	110	89,5	813445
109	1	1	120	90,9	679733
110	2	1	120	90,9	627584

Número da leitura	Identificação do sensor	Número da Amostra	% de água adicionada	Peso final da amostra	Valor lido
111	3	1	120	90,9	826752
112	1	2	120	90,5	661189
113	2	2	120	90,5	730496
114	3	2	120	90,5	836549
115	1	3	120	85,7	714042
116	2	3	120	85,7	833397
117	3	3	120	85,7	901306
118	1	1	130	92,9	732245
119	2	1	130	92,9	641584
120	3	1	130	92,9	766549
121	1	2	130	92,5	646837
122	2	2	130	92,5	655936
123	3	2	130	92,5	714394
124	1	3	130	91,5	628288
125	2	3	130	91,5	695493
126	3	3	130	91,5	793845
127	1	1	140	89,2	752890
128	2	1	140	89,2	621984
129	3	1	140	89,2	725941
130	1	2	140	99,6	619536
131	2	2	140	99,6	595034
132	3	2	140	99,6	738192
133	1	3	140	100	582784
134	2	3	140	100	619184
135	3	3	140	100	721744
136	1	1	150	114	652090
137	2	1	150	114	561082
138	3	1	150	114	703888
139	1	2	150	103,4	603440
140	2	2	150	103,4	611136
141	3	2	150	103,4	736442
142	1	3	150	107,2	655584
143	2	3	150	107,2	572288
144	3	3	150	107,2	711946