



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

Totem de Álcool com Contagem de Pessoas, Medição de Temperatura e Comunicação LoRaWAN

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Eletrônica

Ygor Kupas

Orientador: Richard D. Souza

Florianópolis, 2021.

YGOR KUPAS

**TOTEM DE ÁLCOOL COM
CONTAGEM DE PESSOAS, MEDIÇÃO
DE TEMPERATURA E
COMUNICAÇÃO LORAWAN**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito
para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Richard D. Souza

**FLORIANÓPOLIS
2021**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kupas, Ygor
Totem de Álcool com Contagem de Pessoas, Medição de
Temperatura e Comunicação LoRaWAN / Ygor Kupas ;
orientador, Richard Demo Souza , 2021.
64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Eletrônica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Eletrônica. 2. LoRa. 3. LoRaWAN. 4. COVID
19. I. , Richard Demo Souza. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Eletrônica. III.
Título.

Ygor Kupas

TOTEM DE ÁLCOOL COM CONTAGEM DE PESSOAS, MEDIÇÃO DE TEMPERATURA E COMUNICAÇÃO LORAWAN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica.



Documento assinado digitalmente

Fernando Rangel de Sousa

Data: 28/04/2021 21:22:58-0300

CPF: 884.649.114-91

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Fernando Rangel de Sousa, Ph.D.
Coordenador do Curso

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

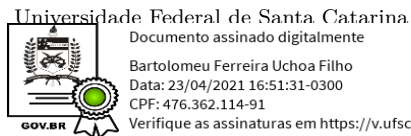
Richard Demo Souza

Data: 23/04/2021 16:38:15-0300

CPF: 004.267.379-89

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Richard D. Souza, D.Sc.
Orientador



Universidade Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente

Bartolomeu Ferreira Uchoa Filho

Data: 23/04/2021 16:51:31-0300

CPF: 476.362.114-91

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Bartolomeu F. Uchôa Filho, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Glauber G. de Oliveira Brante, D.Sc.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Agradecimentos

Agradeço a minha família, meu pai, mãe e irmã, que sempre me deram apoio emocional e financeiro ao longo dos anos para que fosse possível o sonho de sair de casa para cursar engenharia.

Agradeço a minha amada, que sempre esteve junto de mim, seja em momentos difíceis e incríveis da minha jornada, a qual agradeço também por construir uma relação com base na comunicação e parceria.

Agradeço também ao meu orientador Richard Demo Souza pelos valiosos ensinamentos nas aulas, e também por ter me guiado, com paciência, até a conclusão deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica por todas as experiências e conhecimentos adquiridos em sala de aula e laboratórios. Acredito que todas as experiências que passei, boas ou ruins, foram necessárias para moldar o profissional que sou e buscar sempre a melhoria.

Agradeço aos meus amigos, tanto os que sempre estiveram, quanto os que já passaram pela minha vida, por proporcionarem experiências sociais como ser humano, por me aconselharem em momentos difíceis, pela diversão em momentos descontraídos e pela companhia que me propuseram. Estes aspectos me ajudaram a formar o senso humano.

Agradeço ao time de competição Ampera Racing, que, ao início da minha graduação, me propuseram experiências práticas que me ensinaram muito sobre engenharia e trabalho em equipe.

Agradeço ao pessoal do PoP-SC, que me propôs experiências diferenciadas num momento da vida que foi necessário mudar o cenário de atuação.

Por fim, agradeço aos meus colegas da Khomp que me proporcionaram e proporcionam experiências fantásticas em engenharia e diversos outros aspectos que contribuem muito para a minha experiência profissional.

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento e experimento de um dispositivo que faz a aquisição de temperatura, a contagem de pessoas e comunicação LoRaWAN para o controle do tráfego de pessoas nos estabelecimentos. O objetivo do equipamento é ajudar na aplicação das normas de funcionamento de estabelecimentos na pandemia do COVID-19, possibilitando o desenvolvimento de redes LoRaWAN com diversos endpoints e aplicações integrando outros sistemas com os dados adquiridos. O trabalho conta com o desenvolvimento e implementação de uma arquitetura eletrônica e o experimento do dispositivo atuando em campo.

Palavras-chave: LoRaWAN; LoRa; COVID-19; Pandemia; Controle de Tráfego de Pessoas; Controle de Temperatura.

Lista de Figuras

1.1	Totem de álcool com ativação mecânica	3
1.2	Esquema da estrutura de uma aplicação LoRaWAN	4
2.1	Pulso ou <i>chirp</i> no domínio do tempo	7
2.2	Espectrograma com diferentes SFs	7
2.3	Formato da mensagem LoRa	8
2.4	Arquitetura de aplicação de LoRaWAN	10
2.5	Separação de canais para AU915-928	11
2.6	Time slots de recepção dos Endpoints de classe A	14
2.7	Time slots dos Endpoints de classe B	14
2.8	Time slots dos Endpoints de classe C	15
2.9	Estruturas de PHY Payload	15
3.1	Sistema eletrônico completo do dispositivo. Fonte: do autor.	19
3.2	Núcleo B-L072Z-LRWAN1	20
3.3	Antena W081	22
3.4	Sensor de temperatura MLX90614	23
3.5	LCD com controlador I2C	24
3.6	Sensor de obstáculo	25
3.7	Esquema em linha montado no totem para detecção de obstáculo	25

3.8	Bateria de Chumbo Ácido	26
3.9	Conversor CC-CC <i>Step-Down</i>	26
3.10	Bomba de aquário	27
3.11	Dispositivo completo	28
3.12	Parte eletrônica instalada no totem	29
4.1	Entrada da empresa Khomp.	32
4.2	Recepção da empresa Khomp.	33
4.3	Gateway ITG200 Indoor.	33
4.4	Gateway overview do console da TTN.	34
4.5	Dados do dispositivo visto pelo console da TTN.	35
5.1	Informações dos pacotes de uplink da OTAA, parte 1.	38
5.2	Informações dos pacotes de uplink da OTAA, parte 2.	38
5.3	Primeiro pacote recebido.	39
5.4	Pacotes 3, 5, 7, 8, 9, 10 e 12 não foram recebidos.	40
5.5	Pacotes recebidos após o travamento.	41
5.6	Pacotes recebidos durante a manhã do experimento.	41
5.7	Últimos pacotes recebidos do experimento.	42
5.8	Pacote com informação de temperatura elevada.	42

Lista de Tabelas

2.1	SFs e respectivas características	9
2.2	Definição de data rate das definições de região AU915-928.	12

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	3
1.2	Organização do trabalho	4
2	Fundamentos	5
2.1	LoRa	6
2.2	LoRaWAN	9
2.2.1	Canais	10
2.2.2	Data-Rates	11
2.2.3	Classes	11
2.2.4	Estrutura de Pacote	15
2.2.5	Métodos de Ativação	16
2.2.6	Definições Regionais	16
2.2.7	Vantagens & Desvantagens	17
3	Desenvolvimento e Construção	19
3.1	Core	20
3.2	Antena	22
3.3	Sensor de Temperatura	22

3.4	LCD	23
3.5	Sensor de Obstáculo	24
3.6	Fonte de Alimentação	24
3.7	Bomba de Álcool	27
3.8	Mecânica	27
4	Ambiente de Testes	31
4.1	Local dos Testes	31
4.2	Gateway utilizado	32
4.3	Definição de Parâmetros LoRa	34
4.4	Utilização do Dispositivo	35
4.5	Adquirindo Resultados	35
5	Resultados e discussão	37
5.1	OTAA	37
5.2	Recepção dos Pacotes	38
5.3	Teste de Temperatura Alta	41
5.4	Discussão	43
6	Conclusão e Trabalhos Futuros	45
6.1	Trabalhos Futuros	45
	Bibliografia	47

CAPÍTULO 1

Introdução

O ano de 2020 foi marcado por um acontecimento histórico, a pandemia do COVID-19 (*Coronavirus Disease 2019*), que encadeou um estado de emergência de saúde mundial. Junto desta adversidade, inúmeros avanços tecnológicos foram introduzidos no mercado para controlar ou minimizar os efeitos do vírus. Após um período de confinamento no país para conter o espalhamento da doença, os comércios reabriram suas portas devendo seguir novas normas de segurança. Em Florianópolis, estas normas foram propostas pelo decreto 21569 [1] estabelecendo o seguinte: limitar a permanência dentro do estabelecimento de um cliente por atendente e de uma pessoa para cada quatro metros quadrados de área do local; observar a distância mínima de dois metros entre as pessoas; garantir a circulação de ar externo nos estabelecimentos, mantendo-se as janelas e portas abertas, sendo recomendada a não utilização de aparelhos de ar condicionado; organizar as filas externas, com a permanência de uma pessoa a cada dois metros; assegurar que todos os clientes, antes de adentrarem no estabelecimento, higienizem suas mãos com álcool gel 70% e utilizem máscaras; operar com ocupação máxima de 30% quando o município estiver em risco altíssimo, 40% quando em risco alto e 50% quando em risco moderado, segundo

indicação do Covidômetro de Florianópolis ¹.

É necessário a alocação de um funcionário para realizar a medição de temperatura e a aplicação de álcool para higienização das pessoas que entram no estabelecimento. Casos como supermercados e outros estabelecimentos que funcionam por mais de 10 horas, fazem rodízio de seus funcionários para este trabalho. Uma solução simples é ter um dispenser de álcool (Figura 1.1) eletrônico na porta de entrada do estabelecimento verificando a temperatura corporal e alertando pessoas que possivelmente podem estar com febre. A contagem de pessoas que passam pelo estabelecimento também pode ser feita de maneira simples com um sistema que implementa estas tarefas.

Como os dispensers de álcool estão sendo usados nas entradas dos estabelecimentos, juntamente com o funcionário que faz as medições de temperatura, automatizar estas tarefas economizaria tempo e custo. Ao conectar estes dispensers com uma tecnologia sem fio e integrar estas informações com uma aplicação na internet, é possível implementar um sistema que realiza a aquisição de dados do tráfego de pessoas para análise de localização de zonas de riscos da pandemia. Estas zonas podem ser definidas como pequenos bairros, ou localidades com grandes densidades de população, como as diferentes regiões do centro da cidade de Florianópolis. Por conta da área relativamente grande destas zonas, a utilização de tecnologia sem fio do tipo LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) é muito interessante [3], uma vez que com apenas um *gateway* podemos ter cobertura para uma ampla região da cidade, com baixo custo.

Uma ilustração desta aplicação pode ser vista na Figura 1.2.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma aplicação utilizando tecnologia LPWAN para contagem, aplicação de álcool para higienização e medição de temperatura de pessoas que adentram um estabelecimento, além da geração de avisos de casos emergenciais e especiais.

¹Os decretos municipais de Florianópolis sobre a pandemia sofreram alterações desde então e podem ser acessados em [2].



Figura 1.1: Totem de álcool com ativação mecânica. Extraído de <https://www.leone.equipamentos.com.br/produto/2128569/totem-para-alcool-gel-de-500ml-com-pedal>

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar a medição eficiente de temperatura de uma parte do corpo de pessoas para estudos e análises futuras;
- Implementar o dispositivo em um totem de álcool comum utilizado nos estabelecimentos;
- Fazer a detecção e contagem de pessoas que entram no estabelecimento;
- Conectar o dispositivo à internet utilizando tecnologia LPWAN do tipo LoRaWAN;

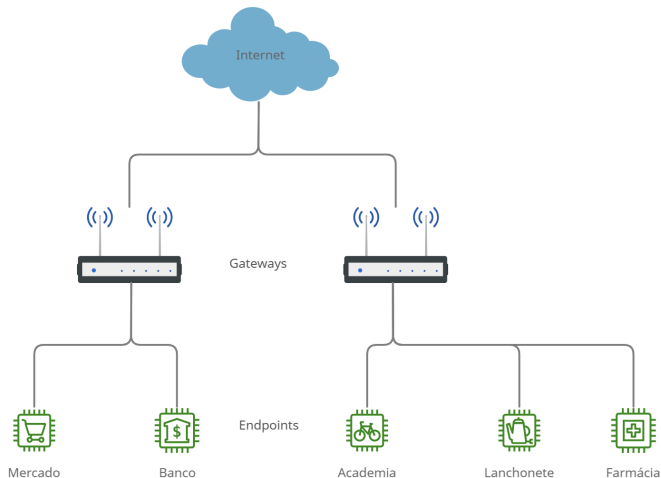


Figura 1.2: Esquema da estrutura de uma aplicação LoRaWAN. Fonte: o autor.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho está organizado da seguinte maneira:

No Capítulo 2, alguns fundamentos das tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da solução serão apresentadas, incluindo justificativas para a utilização das mesmas.

No Capítulo 3 são apresentados detalhes da implementação, desenvolvimento e construção de um protótipo.

No Capítulo 4, é explicado o ambiente em que foi instalado o dispositivo para testar em campo a solução.

Em seguida, no Capítulo 5, os resultados dos testes de campo são apresentados e discutidos.

Finalmente, no Capítulo 6, conclusões sobre o impacto da solução, a análise de tráfego de pessoas e possíveis melhorias e trabalhos futuros são apresentados.

CAPÍTULO 2

Fundamentos

O avanço das tecnologias sem fio possibilitou a criação de redes de dispositivos com longo alcance, as chamadas LPWAN [3]. O potencial destas tecnologias é enorme e vem para enfrentar alguns dos principais desafios da comunicação M2M (*Machine to machine*) [4], como a integração de negócios e indústrias de larga escala com um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*).

LoRa (*Long Range*) é uma tecnologia LPWAN caracterizada por seu longo alcance e que proporciona uma interface de comunicação sem fio de baixo consumo. Baseada em modulação CSS (*Chirp Spread Spectrum*) operando na faixa de sub-GHz em frequências não licenciadas, comumente conhecidas como ISM (*Industrial Scientific and Medical*), vem ocupando uma grande notoriedade no mercado por sua praticidade e robustez. Junto com LoRa, um protocolo aberto de rede chamado LoRaWAN padroniza diversas características de comunicação para alcançar uma interoperabilidade entre os mais variados dispositivos de diversos fabricantes.

Neste capítulo são apresentados conceitos básicos sobre LoRa e LoRaWAN.

2.1 LoRa

É a tecnologia que define a camada física do protocolo LoRaWAN, muito utilizado na indústria de IoT para criar redes de sensores e atuadores. A rede de comunicação criada por LoRa funciona com topologia estrela, um sensor ou endpoint envia pacotes para um gateway, processo chamado de *uplink* e o gateway envia pacotes para os endpoints, processo chamado *downlink*. Não há comunicação direta entre os endpoints. A frequência de atuação varia de acordo com a região do mundo, existindo diversos planos de frequências definidos pelo órgão regulador de cada país. Em cada plano de frequência são definidos os canais de funcionamento do protocolo usados para *uplink* e *downlink*, além de definições de taxa de transmissão de dados e outras características da modulação. Os planos de frequência e suas características podem ser encontrados em [5]. No Brasil, o código para o plano de frequência LoRa é AU915-928, atuando na faixa de 915 MHz a 928 MHz.

A modulação LoRa tem como base a técnica de espalhamento de espectro usando pulsos modulados de frequência linear em banda larga. Os pulsos, ou como chamados chirps (*Compressed High Intensity Radio Pulse*), são sinais senoidais que aumentam ou diminuem a sua frequência de forma linear em função do tempo. A modulação CSS foi desenvolvida para radares nos anos de 1940, e utilizada em comunicações militares e de segurança, devido sua relativa baixa potência na transmissão e robustez em situações de multipercurso, *fading*, *Doppler* e *jamming*. A Figura 2.1 mostra um chirp no domínio do tempo.

Um símbolo representa um ou mais bits de dados e apresenta 2^{SF} valores possíveis, ou seja, SF bits por símbolo. O fator de espalhamento SF (*spreading factor*) impacta na duração de um chirp. Quanto maior o SF, mais longo é e mais bits serão transmitidos por chirp, resultando no discernimento do sinal com uma menor *signal-to-noise ratio* (SNR) no receptor [6], e mais longe o sinal está apto a se propagar e ainda ser recebido sem erros. Porém, mais energia é gasta no transmissor por causa do tempo de transmissão ser maior. A taxa de transmissão é inversamente proporcional ao SF, quanto maior o SF, menor será a taxa de transmissão.

São usados 6 SFs diferentes (SF7 ao SF12), estes são praticamente ortogonais, ou seja, pacotes enviados com diferentes SFs não interferem entre si e podem ser recebidos ao mesmo tempo por um gateway. Na

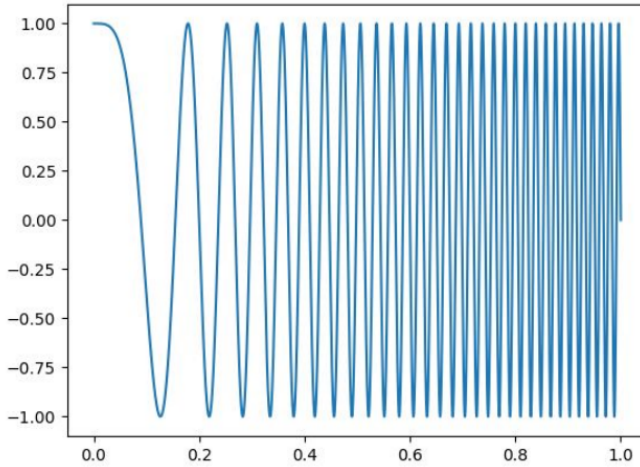


Figura 2.1: Pulso ou *chirp* no domínio do tempo. Fonte do autor.

Figura 2.2 é possível observar a diferença entre os SFs em termos da duração do chirp no tempo.

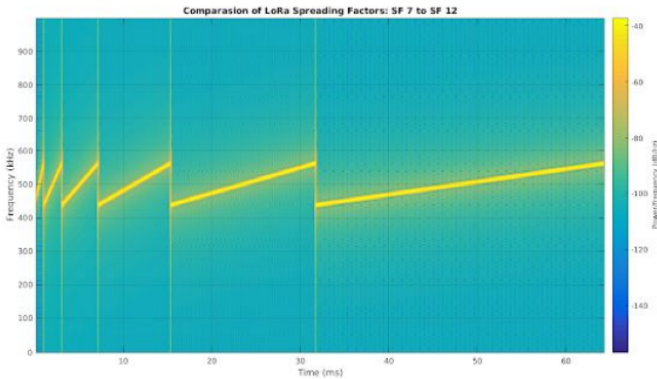


Figura 2.2: Espectrograma com diferentes SFs. Extraído de [7]

A quase-ortogonalidade dos SFs habilita múltiplas transmissões simultaneamente no mesmo canal com baixa degradação no receptor. Redes LoRaWAN podem operar com um link budget de 157 dB e uma sensibilidade de -137 dBm [8].

O pacote de transmissão LoRa é dividido em algumas partes, são elas: *Preamble*, *PHY Header*, *PHY CRC*, *Payload* e *CRC*. No campo *PHY Header* estão as informações de tamanho do *payload*, qual o *code-rate* (CR) usado na mensagem e se existe um CRC de *payload*. A Figura 2.3 representa o formato da mensagem LoRa.

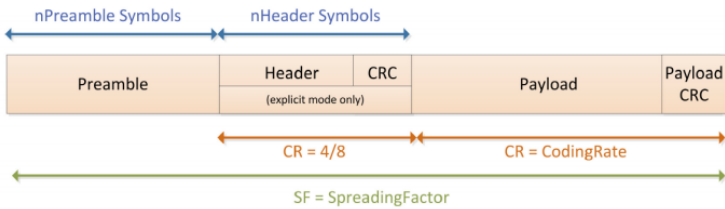


Figura 2.3: Formato da mensagem LoRa. Extraído de [9].

O início da transmissão de um pacote LoRa é marcado com uma sequência pré-definida de símbolos necessários para a sincronização do receptor e identificação do SF utilizado no pacote. Essa sequência de símbolos chamada de *preamble* é uma variável que pode ser configurada no dispositivo e pode ter de 10 até 65536 símbolos, sendo 4 deles fixos e os outros programáveis.

A Tabela 2.1 contém algumas características de LoRa calculadas através da ferramenta LoRaWAN Airtime Calculator [10]. É possível ver o impacto do SF no tempo de transmissão de um pacote (*Time on Air*).

BW = 125 kHz				
Payload = 12 bytes				
SF	Sensibilidade	Max Rb	ToA Símbolo	Max tamanho de payload
SF7	-123 dBm	5470 bits/s	61 ms	230 bytes
SF8	-126 dBm	3125 bits/s	113 ms	230 bytes
SF9	-129 dBm	1760 bits/s	205 ms	123 bytes
SF10	-132 dBm	980 bits/s	370 ms	59 bytes
SF11	-135 dBm	440 bits/s	823 ms	59 bytes
SF12	-138 dBm	250 bits/s	1483 ms	59 bytes

Tabela 2.1: SFs e respectivas características. Fonte: o autor

2.2 LoRaWAN

LoRaWAN é protocolo que utiliza a camada física LoRa. Como já citado anteriormente, o protocolo de rede LoRaWAN tem topologia em estrela, onde um conjunto de dispositivos em campo, chamados aqui de endpoints, envia mensagens para um ou mais gateways [4], estes repassam os pacotes recebidos para um servidor de rede, ou network server. Este processo é chamado de *uplink*. É chamado *downlink* quando o network server envia uma resposta, um comando ou uma mensagem qualquer para o endpoint através do gateway. Os gateways LoRaWAN são responsáveis apenas por encaminhar pacotes de dados brutos de endpoints para o network server, encapsulando-os em pacotes UDP/IP [11]. Para cada downlink, é enviada uma mensagem de apenas um gateway para um único endpoint, no qual o network server é responsável por gerenciar qual gateway irá realizar a tarefa. A Figura 2.4 demonstra uma possível arquitetura de aplicação LoRaWAN.

Existe também no protocolo LoRaWAN a transmissão de mensagens de downlink em *multicast*, caracterizada pelo envio de uma mensagem por um ou mais gateways para diversos endpoints. Vale ressaltar também que o protocolo permite tanto mensagens com o sistema de confirmação de entrega quanto sem confirmação de entrega (*acknowledged* and *unacknowledged* messages). Para garantir a robustez da comunicação, pode-se usar mensagens com confirmação, porém com um custo

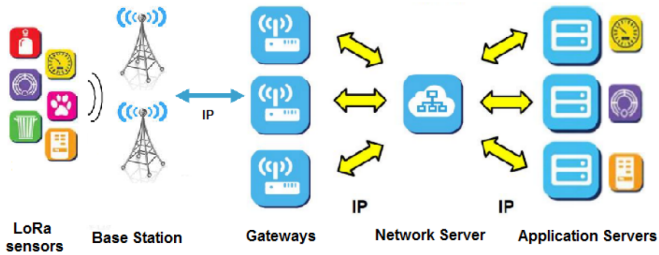


Figura 2.4: Arquitetura de aplicação de LoRaWAN. Extraído de [12].

de ter mais energia gasta nos endpoints por necessitarem da recepção de um sinal em toda transmissão de pacotes (uplink).

Este protocolo de comunicação, assim como a modulação LoRa, foi criado e desenvolvido com foco em comunicações de baixa taxa de transmissão de dados, baixa potência e longo alcance, chegando a mais de 20 quilômetros em áreas rurais. Aplicado principalmente em soluções IoT que utilizam comunicação M2M, principalmente com sensores e atuadores de baixa complexidade, foram definidos diversos padrões e métodos para facilitar o desenvolvimento e a escalabilidade de novas redes LoRaWAN, como classes de endpoints, *Data Rates* de uplinks e downlinks, grupos e máscaras de canais para comunicação e métodos de ativação de novos endpoints em uma rede. É na camada do network server que são configurados todos estes parâmetros de rede.

2.2.1 Canais

A modulação LoRa pode usar largura de banda de 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz, resultando em diversos sub-canais dentro da frequência de operação de cada região. No Brasil (AU915-928) é possível trabalhar em 64 canais diferentes (numerados de 0 a 63) para uplink, com largura de banda 125 kHz (separados incrementando 200 kHz de forma linear), iniciando em 915.2 MHz até 927.8 MHz, outros 8 canais (numerados de 64 a 71) para uplink com largura de banda 500 kHz (separados linearmente incrementando 1.6 MHz de forma linear), iniciando em 915.9 MHz até 927.1 MHz, e terminando com 8 canais (numerados de 0 a 7) para downlink com largura de banda 500 kHz (separados incrementando 600 kHz de forma linear), iniciando em 923.3 MHz até

927.5 MHz. A Figura 2.5 demonstra como são separados os canais dentro da faixa de frequência de operação da região AU915-928.

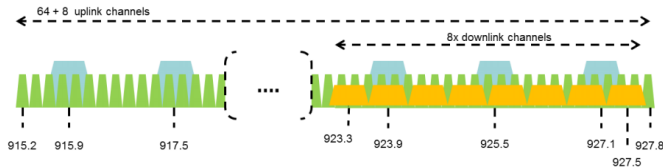


Figura 2.5: Separação de canais para AU915-928. Extraído de [13].

A separação em diversos canais, juntamente com a aleatoriedade de seleção de canal da transmissão de um uplink e também com a utilização de diferentes SFs é muito eficiente. Assim como dois pacotes enviados no mesmo canal com diferentes SFs praticamente não se interferem entre si, dois pacotes que são enviados com mesmo SF em canais diferentes também não se interferem entre si [4].

2.2.2 Data-Rates

As data rates são pré-definições de parâmetros da rede como SF e largura de banda que são fixados para padronização de taxas de envio. Juntamente com as definições de taxa de bits, o tamanho de *payload* também é definido para cada data rate. A data rate de envio de uplink pode ser fixa ou variável, dependendo da configuração no endpoint. Caso a data rate seja variável, é possível implementar algoritmos de adaptação de data rates, conhecidos como *Adaptive Data Rate* (ADR). A Tabela 2.2 mostra as data rates 0 até 15 das definições de região AU915-928.

2.2.3 Classes

As definições de classes são atribuídas aos endpoints para facilitar e padronizar uma nova configuração e ativação destes em uma rede LoRaWAN. As classes são definidas a partir da disponibilidade de recepção de janelas de downlinks vindos dos gateways, e são definidas juntamente com os padrões de cada região e de cada rede LoRaWAN. Existem três classes de endpoints configuráveis no protocolo, as classes A, B e C [14].

Data Rate	Configuração	Máxima taxa de bit
0	SF12 / BW 125 kHz	250 bits/s
1	SF11 / BW 125 kHz	440 bits/s
2	SF10 / BW 125 kHz	980 bits/s
3	SF9 / BW 125 kHz	1760 bits/s
4	SF8 / BW 125 kHz	3125 bits/s
5	SF7 / BW 125 kHz	5470 bits/s
6	SF8 / BW 500 kHz	12500 bits/s
7	RFU	
8	SF12 / BW 500 kHz	980 bits/s
9	SF11 / BW 500 kHz	1760 bits/s
10	SF10 / BW 500 kHz	3900 bits/s
11	SF9 / BW 500 kHz	7000 bits/s
12	SF8 / BW 500 kHz	12500 bits/s
13	SF7 / BW 500 kHz	21900 bits/s
14	RFU	
15	Definido em LoRaWAN	

Tabela 2.2: Definição de data rate das definições de região AU915-928. Extraído de [13].

Os endpoints classe A são os mais básicos e servem de modelo para as outras classes. Nesta classe, os endpoints iniciam a comunicação transmitindo um uplink, e abrem duas janelas de recepção, RX1 e RX2, após um intervalo de tempo para caso seja necessária a transmissão de uma mensagem de downlink. O intervalo e a duração de cada janela varia de acordo com os padrões de cada região. Na primeira janela de recepção, RX1, o downlink transmitido terá uma data rate com base na data rate do uplink transmitido pelo endpoint. Caso o endpoint não tenha sucesso na recepção de uma mensagem de downlink na primeira janela aberta, uma segunda janela de recepção, RX2, é aberta. Nesta janela RX2, o gateway transmite o downlink em uma data rate pré-definida em um canal da máscara de canais também pré-definido pela configuração do protocolo. Vale ressaltar que, para esta classe, os gateways nunca iniciam a comunicação, sempre os endpoints iniciam com uma mensagem de uplink. Então, caso haja a necessidade de realizar uma transmissão de downlink, seja por conta de um atuador em campo ou apenas a troca de uma configuração, deve-se esperar o endpoint iniciar a comunicação para realizar o downlink. Por conta disso, esta classe é limitada a aplicações tolerantes a atrasos, onde não há a necessidade de atualizações com baixa periodicidade no endpoint em campo, em troca de economia de energia.

A maior parte das aplicações de endpoints de classes A tem sua alimentação por bateria, e quando não estão coletando informações ou transmitindo pacotes, estão em um estado de *sleep* para economizar a fonte de energia. Dispositivos de classe A podem chegar a ter uma vida útil de bateria de 2 até 10 anos, dependendo da configuração de temporização do endpoint. Todos os endpoints são configurados inicialmente como classe A no processo de ativação do dispositivo na rede LoRaWAN, e podem ter sua classe alterada na troca de mensagens iniciais após a ativação. Não é possível realizar transmissão de multicast downlinks com dispositivos classe A.

A Figura 2.6 mostra a abertura da janela após a transmissão do uplink.

Os endpoints de classe B se comportam praticamente da mesma forma que os endpoints de classe A, com uma adição de uma transmissão de um *beacon* periódico para sincronizar todos os endpoints em campo, de modo que o endpoint possa abrir uma janela de recepção adi-

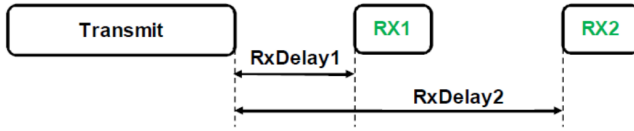


Figura 2.6: Time slots de recepção dos Endpoints de classe A. Extraído de [8].

cional curta, chamada *ping slot*, em um tempo previsível, durante um intervalo de tempo periódico [14]. O objetivo do desenvolvimento de endpoints de classe B é ter uma janela de recepção em período previsível além das janelas abertas, RX1 e RX2, após a transmissão de um uplink. Esta classe é pouco utilizada na indústria e muitos *network servers* de código fonte aberto não implementam esta configuração para seus endpoints. Os endpoints de classe B também na maior parte dos casos são alimentados por uma bateria. Nesta classe, os gateways podem iniciar a comunicação apenas na transmissão dos *beacons*. A Figura 2.7 mostra os time slots dos endpoints de classe B.

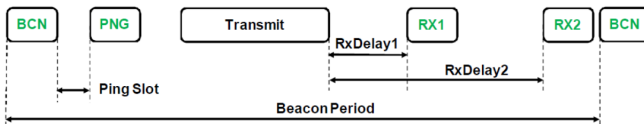


Figura 2.7: Time slots dos Endpoints de classe B. Extraído de [14].

A classe C de endpoints veio da necessidade de dispositivos que estivessem o tempo todo disponíveis para receber pacotes de downlink dos gateways. Diferentemente das classes A e B, os dispositivos da classe C estão o tempo todo com a janela de recepção aberta, recebendo downlinks a todo instante. O endpoint só não está escutando quando está transmitindo um uplink [14]. O processo de uplink e a abertura da janela RX1 funciona da mesma forma que a classe A. Mesmo no intervalo de tempo entre o uplink transmitido e a janela RX1 aberta, o endpoint abre a janela RX2 para recepção. Com esta configuração de classe, é possível realizar o envio de multicast downlinks para diversos endpoints. A Figura 2.8 mostra o time slots dos endpoints de classe C.

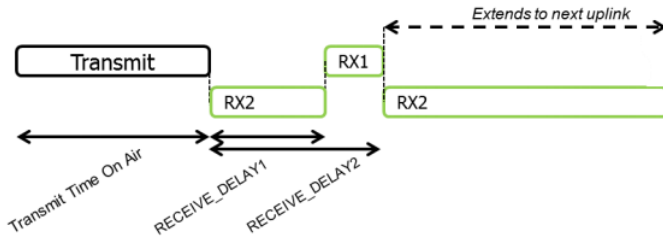


Figura 2.8: Time slots dos Endpoints de classe C. Extraído de [14].

2.2.4 Estrutura de Pacote

Como citado anteriormente, a estrutura de mensagem LoRa é composta por *preamble*, PHY Header, PHY Header CRC, PHY Payload, CRC (apenas para uplink), sendo o PHY Header e PHY Header CRC opcionais caso seja pré-definido na configuração da rede. O formato da mensagem de LoRaWAN é definido dentro do campo PHY Payload da estrutura de mensagem de LoRa. Dentro deste campo existem 3 campos, o MAC Header (MHDR), o MAC Payload ou Join-Request ou Join-Response e o *Message Integrity Code* (MIC). A Figura 2.9 mostra as possíveis estruturas de PHY Payload.

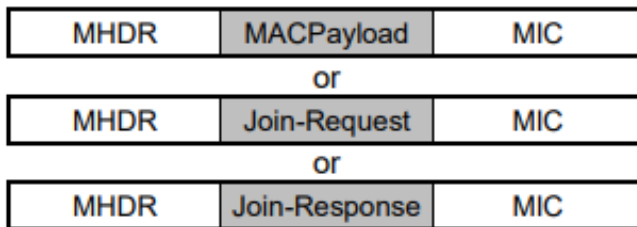


Figura 2.9: Estruturas de PHY Payload. Extraído de [14].

As estruturas de Join-request e Join-response são estruturas usadas para realizar a ativação *over-the-air* (OTAA) dos endpoints. O MAC Header contém o tipo de mensagem que está sendo transmitido e qual a versão de LoRaWAN usada. Os tipos de mensagem são: *confirmed* uplink, *confirmed* downlink, *unconfirmed* uplink, *unconfirmed* downlink, Join-request, Join-response e outros reservados para desen-

volvimentos futuros.

2.2.5 Métodos de Ativação

Para um endpoint iniciar uma comunicação em uma rede LoRaWAN, é necessário que o dispositivo seja ativado, tanto por questões de gestão de rede como de segurança. Existem dois métodos de ativação em LoRaWAN, *Activation By Personalisation* (ABP) e *Over The Air Activation* (OTAA), o primeiro usado preferencialmente para desenvolvimento e o segundo para implantação da solução. Todas as classes de endpoint necessitam passar pelo processo de ativação. Todo endpoint é ativado como classe A e pode ser alterado após feita a ativação do dispositivo na rede.

2.2.6 Definições Regionais

As definições regionais dos parâmetros de LoRa podem ser encontradas em [13]. São separados por códigos as definições de cada região do mundo, sendo a que engloba o Brasil o código AU915-928, originalmente destinado para redes LoRaWAN da Austrália. São definidas diversas características das do protocolo, tanto na camada física quanto nas camadas MAC. Essas características são: modulação utilizada, *duty-cycle* de ocupação do canal (tanto para uplinks quanto para downlinks e tanto para transmissões comuns quanto para transmissões de join-messages), *sync word* utilizada para preamble, tamanho do *preamble*, frequência dos canais de operação, data rates, potência de transmissão dos endpoints, definição da lista de canais do campo CFLIST da mensagem de join-accept, tamanho máximo de MAC payload, delays de abertura de janelas para downlinks, tanto para procedimentos de downlinks comuns quanto para downlinks de join-accepts, offset de data rate para downlinks e a configuração da transmissão de beacons para endpoints de classe B.

Uma importante definição para o protocolo é o *duty-cycle* de transmissão e ocupação do canal. Se o máximo *duty-cycle* é denotado d e o tempo de transmissão de um pacote é ToA , cada dispositivo deve ficar em silêncio, ou seja, sem ocupar o canal, por um período de tempo

mínimo T_s conforme a equação a seguir:

$$T_s = T_{oA} \times \frac{1-d}{d} \quad (2.1)$$

Por exemplo, o *duty-cycle* na região AU915-928 para transmissões comuns e transmissões de join-messages são, respectivamente, 1% e 0.1% [14]. Considerando um T_{oA} de 300 milissegundos, então o dispositivo necessariamente precisa ficar 29,7 segundos para transmissões comuns e 297 segundos para join-messages sem ocupar o canal utilizado.

2.2.7 Vantagens & Desvantagens

LoRaWAN possui diversas vantagens em relação a outras tecnologias de comunicação sem fio, assim como inúmeras desvantagens e limitações. A tecnologia utiliza banda não licenciada em frequência ISM, isto é, não é necessário uma licença para implantar uma rede LoRaWAN. A única limitação em relação a sua banda não licenciada são os parâmetros de duty cycle que são regulados pelos parâmetros regionais de LoRa definidos para cada região do mundo [4]. A distância da comunicação sem fio pode chegar a mais de 20 quilômetros em campos abertos com um valor de SF mais alto. A limitação é a taxa de envio que, quanto maior o SF, menor a taxa de bits. Em aplicações de automação industrial LoRaWAN não é um bom candidato para soluções que necessitam de uma resposta em até 100 milissegundos, pois um pacote de pouco menos de 10 bytes com configuração SF7 tem um tempo de transmissão próximo de 50 milissegundos. Mas, pequenas redes LoRaWAN podem entregar serviços e aplicações que necessitem de uma amostragem com intervalos de tempos de segundos [15].

CAPÍTULO 3

Desenvolvimento e Construção

Neste capítulo serão apresentados detalhes da implementação, desenvolvimento e construção do dispositivo. O sistema completo está representado na Figura 3.1.

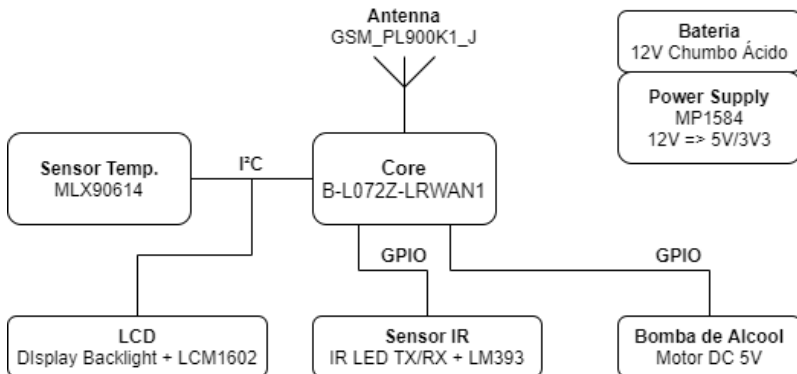


Figura 3.1: Sistema eletrônico completo do dispositivo. Fonte: do autor.

Cada componente na Figura 3.1 representa um bloco do sistema do equipamento. A seguir, serão descritos os detalhes de implementação

de cada bloco. Entre os tópicos abordados estão: ambientes de desenvolvimento, especificações técnicas dos núcleos e estrutura física da solução.

3.1 Core

O núcleo de desenvolvimento utilizado no dispositivo é o B-L072Z-LRWAN1 [16], disponibilizado pelo professor orientador. O CI que contém o processador e a interface LoRa é o CMWX1ZZABZ-091 da empresa Murata Electronics [17]. Este módulo contém um STM32L072 e um SX1276 integrados. O MCU STM32L072 [18], linha de CIs da empresa ST para aplicações de baixo consumo lançada em 2015, possui um processador ARM 32-bit e Cortex-M0+. O módulo SX1276 [19] é um módulo de rádio que trabalha com modulações como FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa e OOK. É mais utilizado no mercado como front-end LoRa. A Figura 3.2 mostra o núcleo de desenvolvimento da ST para aplicações LoRa.

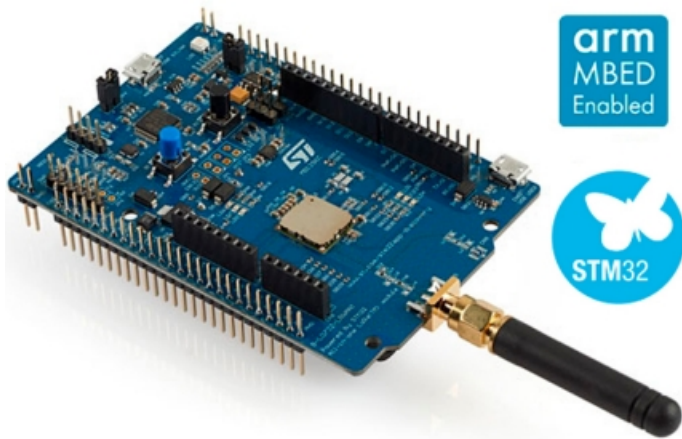


Figura 3.2: Núcleo B-L072Z-LRWAN1.

Foi utilizado como base o projeto aberto da Semtech no Github chamado LoRaMAC-node [20]. Este projeto possui uma configuração para o hardware de desenvolvimento citado, facilitando o seu porte. A plataforma de programação utilizada foi o Visual Studio Code [21], o

projeto é programado em linguagem C e foi desenvolvido em sistema operacional Linux.

O Core foi programado para receber uma interrupção de *wake-up* vinda do sensor infravermelho, sinalizando que uma medição de temperatura deve ocorrer. Após fazer a leitura com o sensor de temperatura, mostrar os resultados no display LCD e ativar a bomba de álcool, o dispositivo reabilita a interrupção de *wake-up*, desliga todos os seus periféricos, com exceção do sensor infravermelho, e entra no modo *Sleep* para esperar uma nova interrupção.

O Core foi programado como um endpoint LoRaWAN classe A que envia os pacotes LoRa em um intervalo de 30 minutos, com potência de 14dBm. O payload do pacote contém 8 bytes com os seguintes dados:

- Quantidade de pessoas: A quantidade de pessoas que fizeram a leitura de temperatura.
- Temperatura máxima registrada: O valor da temperatura máxima registrada ao longo do intervalo de transmissão. Após transmitir o pacote, este valor não é resetado.
- Temperatura média: A média das temperaturas lidas ao longo do intervalo de transmissão. Após transmitir o pacote, este valor é resetado.
- Última temperatura registrada: A última medição de temperatura registrada antes do pacote ser transmitido.

A *data-rate* utilizada para transmissão foi a *DR0* (SF10 e largura de banda de 125 kHz na região do Brasil AU915-928). Com estas configurações de transmissão e tamanho de payload de 12 bytes, CR igual a 1 e *preamble* de 6 símbolos, o tempo de transmissão calculado na ferramenta LoRa Calculator [10] é de 411 milissegundos (utilizando a região EU868 disponível para aproximação de resultado).

O núcleo de desenvolvimento possui um consumo elevado para uma aplicação de endpoint classe A, passando dos 10uA mensurados no modo de mais baixo consumo energético. Além desta desvantagem, outros periféricos como o sensor infravermelho e o LCD também possuem um consumo elevado para esta aplicação.

3.2 Antena

A antena utilizada para a transmissão LoRa é da empresa Tekfun cp, PN W081 [22]. É uma antena dipolo e possui ganho de 1 dBi para o range de frequências de 698 MHz até 960MHz, com um *VSWR* (constante de reflexão de onda) menor que 2, polarização vertical e impedância de casamento de 50 ohms. A Figura 3.3 mostra a antena descrita, conhecida comercialmente como "pé de pato".

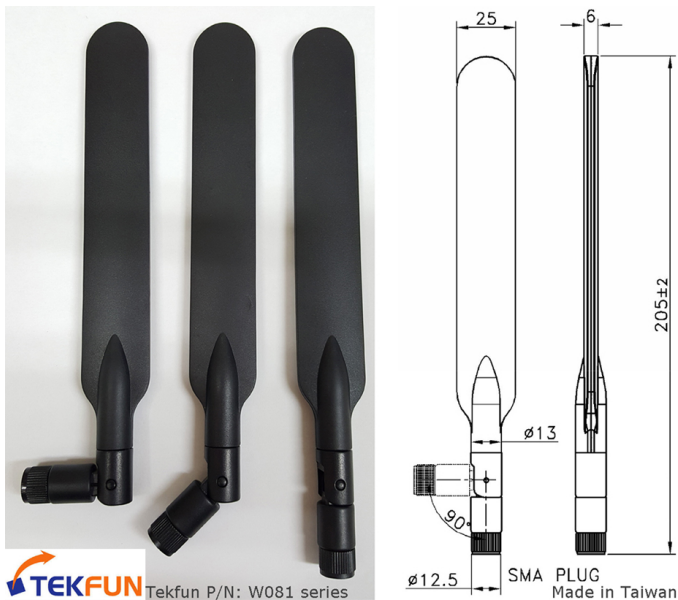


Figura 3.3: Antena W081.

3.3 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura utilizado foi o MLX90614 [23] da empresa Melexis. Foi escolhido este sensor por se tratar de um sensor termômetro infravermelho que não necessita contato para realizar a leitura, e pela facilidade de encontrar este sensor no mercado. Possui uma resolução de 0,02 °C, faixa de temperatura de 10 °C até 80 °C, além de um modo *sleep* para reduzir o consumo quando não está operando. É possível utilizar SMBus/I²C (são protocolos similares com diferenças

em algumas definições de taxas), *timeouts* e características elétricas, ou por um PWM (*Pulse Wide Modulation*) customizável. Nesta aplicação foi utilizado I²C para comunicação com o sensor. O consumo do sensor em operação é cerca de 1mA e em modo *sleep* é 2,5uA. O sensor pode ser visto na Figura 3.4.

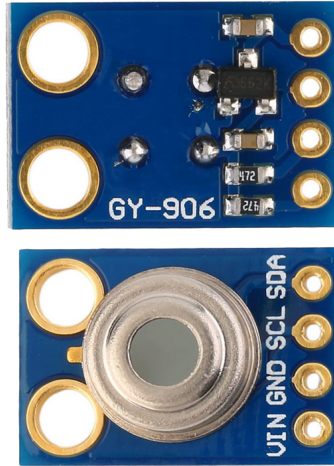


Figura 3.4: Sensor de temperatura MLX90614.

3.4 LCD

O LCD escolhido para a aplicação foi o Backlight com brilho azul e com um controlador I²C HD44780 [24]. O display tem 4 linhas e espaço para 20 caracteres em cada linha. Assim como os outros componentes, esse display foi escolhido pela sua facilidade de ser encontrado. Por conta do display possuir um consumo elevado, foi desenvolvido uma chave analógica utilizando um transistor para economizar o consumo de energia em momentos no qual o display não é utilizado. A Figura 3.5 mostra o LCD utilizado.



Figura 3.5: LCD com controlador I2C.

3.5 Sensor de Obstáculo

O sensor de obstáculo é utilizado para detecção da presença da mão de uma pessoa ao aplicar o álcool e medir a temperatura. Foi utilizado um transmissor e um receptor infravermelho em linha, junto com um circuito eletrônico comparador para detecção de quando o sinal infravermelho é interrompido, sinalizando que há um obstáculo. O sensor de obstáculo comercial [25] é de fácil acesso e pode ter seu comparador ajustado por um potenciômetro. A Figura 3.6 mostra o sensor comercial e a Figura 3.7 mostra o esquema em linha construído para detecção do início do processo de medição de temperatura e aplicação de álcool.

3.6 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação utilizada é uma bateria comum de chumbo ácido com tensão 12V e 7Ah de capacidade, muito utilizada para sistemas de *nobreak* eletrônicos. Foi escolhida por termos alguns componentes eletrônicos no sistema com um consumo alto e pela mecânica do totem de álcool ter espaço para guardar esta bateria, mas nada impediria de usar ma fonte de alimentação alternativa, como uma fonte



Figura 3.6: Sensor de obstáculo.

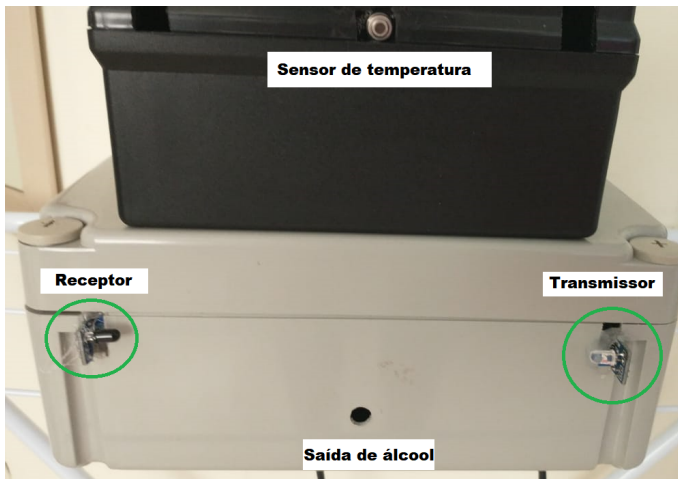


Figura 3.7: Esquema em linha montado no totem para detecção de obstáculo.

conectada a rede elétrica. Foi utilizado também um conversor CC-CC *Step-Down* de 12V para 5V com base no CI MP1584 [26] para alimentar o núcleo de desenvolvimento e os demais periféricos. A Figura 3.8

mostra a bateria e a Figura 3.9 mostra o conversor utilizado.



Figura 3.8: Bateria de Chumbo Ácido.

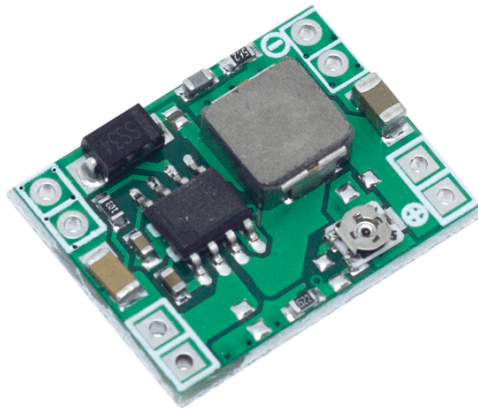


Figura 3.9: Conversor CC-CC *Step-Down*.

3.7 Bomba de Álcool

Para aplicação de álcool nas mãos da pessoa é utilizada uma bomba de aquário que funciona com PWM e tensão de 5V. Esta bomba é facilmente encontrada em sites de compras nacionais, como o Mercado Livre, e tem um custo bem baixo. A Figura 3.10 mostra a bomba utilizada.



Figura 3.10: Bomba de aquário.

3.8 Mecânica

A mecânica utilizada é a de um totem de álcool feito de madeira compensada e com ativação por pedal. A bateria e o recipiente de álcool foram colocados na parte de trás do totem e a caixa com a eletrônica foi colocada na frente. A Figura 3.11 e a Figura 3.12 mostram o dispositivo finalizado e a sua mecânica.



Figura 3.11: Dispositivo completo.

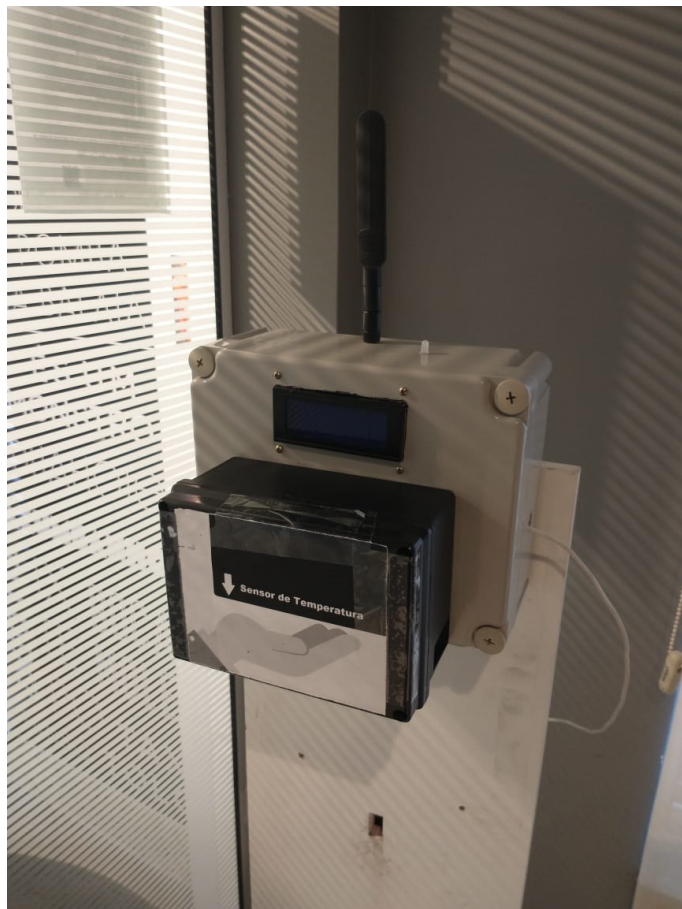


Figura 3.12: Parte eletrônica instalada no totem.

CAPÍTULO 4

Ambiente de Testes

Neste capítulo serão apresentados as características do ambiente de testes e como foram efetuados os experimentos, com o objetivo de determinar o funcionamento do dispositivo em campo.

4.1 Local dos Testes

O local onde foi realizado o experimento do protótipo foi a Khomp [27], empresa de desenvolvimento de soluções tecnológicas no qual eu, Ygor Kupas, estagiei por dois anos e hoje me encontro no cargo de analista e desenvolvedor de hardware.

Durante a pandemia, a Khomp adotou o método de trabalho híbrido, a maioria dos colaboradores trabalham em *home office*. Porém, algumas pessoas ainda necessitam vir pessoalmente para a empresa, por conta do setor industrial, desenvolvimento e suporte ao cliente.

A empresa adotou normas para proteção das pessoas que necessitam trabalhar presencialmente, e o dispositivo desenvolvido neste trabalho ajuda a garantir que algumas destas normas sejam cumpridas. O experimento foi realizado com a autorização da diretoria da empresa, no dia 24 de março de 2021, em uma quarta-feira. A Figura 4.1 mostra

a entrada da empresa que fica na rua Joe Collaço, nº 256, no bairro Córrego Grande, na ilha de Florianópolis.



Figura 4.1: Entrada da empresa Khomp.

Os colaboradores podem realizar suas atividades em dias de semana no horário das 7:00 até as 22:00, tendo um regime de horário flexível para o colaborador. O experimento foi feito na parte da manhã, entre 7:00 e 12:30, horário que a maioria dos colaboradores chegam no local. O dispositivo foi posto na recepção da empresa, para que todos passem pelo teste do dispositivo antes de adentrar a empresa. A Figura 4.2 mostra a recepção da empresa com o dispositivo posicionado e pronto para o experimento.

4.2 Gateway utilizado

O gateway utilizado para recepção dos pacotes LoRa foi o ITG200 Indoor [28], equipamento desenvolvido e produzido pela Khomp. A Figura 4.3 mostra o gateway ITG200 Indoor.

No momento do experimento, o gateway se encontra dentro da empresa no segundo andar, na área de desenvolvimento. O gateway foi conectado à rede interna da empresa e apontado para um *network server* da *The Things Network*. A Figura 4.4 mostra o painel de *Overview* da opção *gateways* do console da TTN, é possível ver que está conec-



Figura 4.2: Recepção da empresa Khomp.



Figura 4.3: Gateway ITG200 Indoor.

tado.

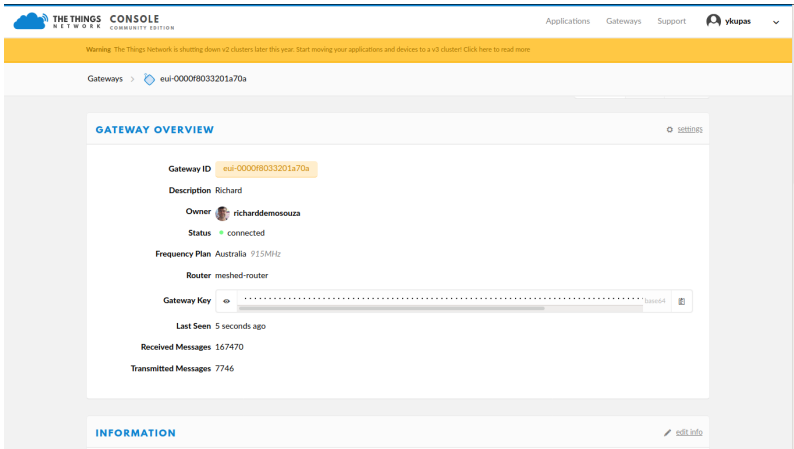


Figura 4.4: Gateway overview do console da TTN.

4.3 Definição de Parâmetros LoRa

O ambiente do experimento, por se tratar de ser dentro da empresa, possui um número elevado de pacotes LoRa trafegando. São cerca de 50 dispositivos instalados para testes dentro da empresa, com diversos SFs diferentes, enviando pacotes em diversos intervalos diferentes, como de 10 em 10 minutos e até de 10 em 10 segundos, resultando em perdas nos pacotes enviados pelo dispositivo causado por colisões.

Por conta disso, a taxa de transmissão foi reduzida para 5 minutos, para que, caso haja perdas de pacotes, não demore a atualizar as informações em novos pacotes.

Os parâmetros LoRa escolhidos para o teste foram os seguintes:

- Taxa de envio: 5 minutos
- DR utilizada: DR2 (SF10 e Banda 125 kHz)
- Potência de transmissão: 14 dBm
- Tamanho de payload: 8 bytes
- Tempo de transmissão (calculado): 400 milissegundos

4.4 Utilização do Dispositivo

Para os colaboradores que chegam na empresa, é apresentado um pequeno passo-a-passo de como deve ser feita a leitura da temperatura no punho da pessoa, para que não aconteçam falhas na leitura ou que uma pessoa gaste muito tempo para realizar o teste.

O dispositivo faz a medição de temperatura do punho do colaborador e soma uma unidade na quantidade de pessoas que trafegam no local. O dispositivo então transmite o pacote LoRa com a quantidade de pessoas contadas até o momento, a última medição de temperatura, a máxima medição de temperatura e a média das medições de temperatura.

4.5 Adquirindo Resultados

Os resultados podem ser adquiridos pela interface de recepção de dados do dispositivo da aplicação pelo console da TTN, como mostrada na Figura 4.5.

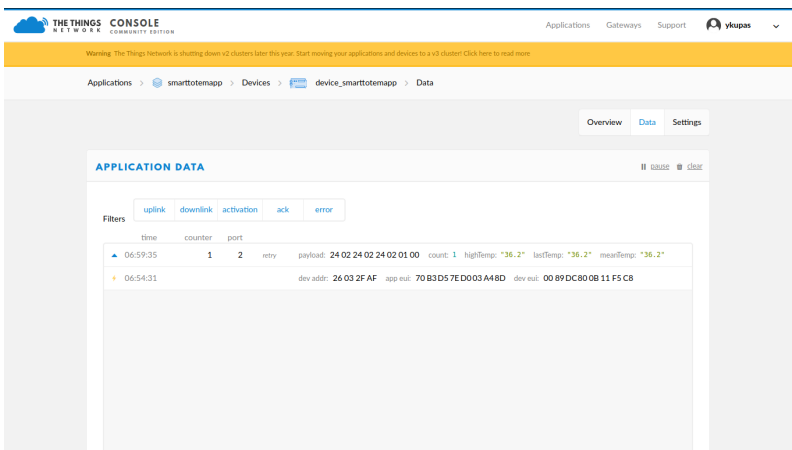


Figura 4.5: Dados do dispositivo visto pelo console da TTN.

Assim, é possível depurar todos os pacotes que chegam, com informações de RSSI, SNR e id de pacotes para verificação de perda de pacotes.

CAPÍTULO 5

Resultados e discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados do experimento realizado no dia 24 de março de 2021, em uma quarta feira, na empresa Khomp, localizada na rua Joe Collaço, número 256, no bairro Córrego Grande, na cidade de Florianópolis.

5.1 OTAA

O experimento começou alguns minutos antes das 7:00, horário que a empresa abre suas portas para os colaboradores trabalharem. Como dito antes, a empresa adotou a atividade híbrida desde o início da pandemia. Sendo assim, alguns colaboradores trabalham presencialmente.

Pouco tempo antes de iniciar o experimento, o equipamento foi ligado para realizar a OTAA. O resultado do uplink é mostrado nas Figuras 5.1 e 5.2.

É possível observar que o endereço atrelado ao dispositivo é (em hexadecimal) 26 03 2F AF, o indicador de potência de sinal recebido, ou RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), é -18 dBm, a relação sinal-ruído (*Signal to Noise Ratio*) é 12.8 dB, e as características LoRa utilizadas para OTAA foram: *Coding Rate* igual a 4/5; *Data Rate* SF10

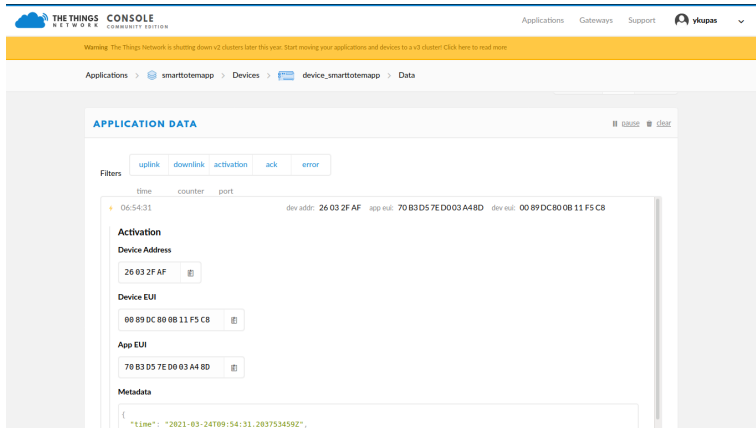


Figura 5.1: Informações dos pacotes de uplink da OTAA, parte 1.

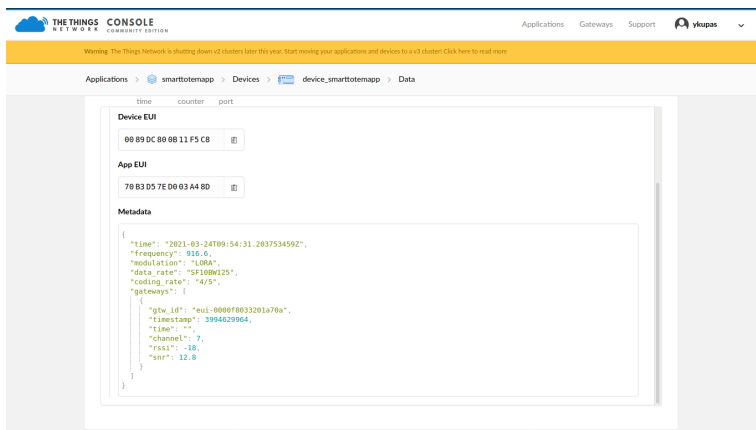


Figura 5.2: Informações dos pacotes de uplink da OTAA, parte 2.

e BW125kHz, ou DR2.

5.2 Recepção dos Pacotes

Com o passar do tempo, os colaboradores foram chegando na empresa, foram feitas as medições de temperatura e foram enviados os pacotes LoRa com as informações. O primeiro pacote foi recebido às 6:59, mostrando que apenas uma pessoa havia passado por ali até o

momento. É possível observar isto na Figura 5.3.

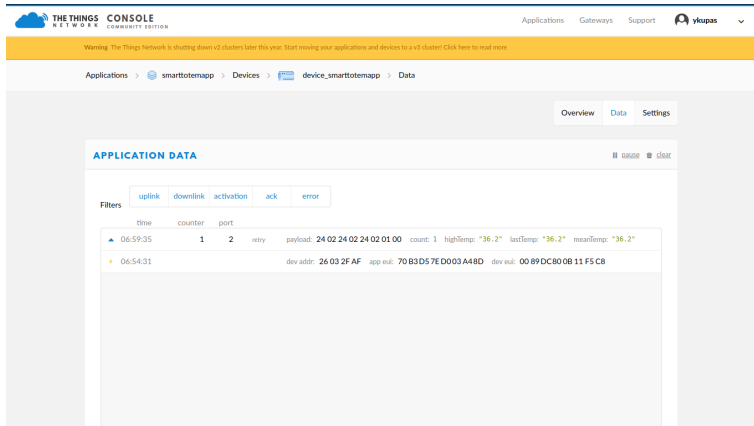


Figura 5.3: Primeiro pacote recebido.

Ao longo da manhã, dados foram adquiridos e enviados para o gateway. Muitos pacotes foram perdidos por conta do enorme tráfego de pacotes LoRa dentro da empresa (cerca de 1 pacote diferente chegando a cada 5 à 10 segundos), porém ainda assim foi possível ter uma atualização de dados bem aceitável e robusta no protocolo de comunicação da aplicação. Na Figura 5.4 é possível ver que os pacotes 3, 5, 7, 8, 9, 10 e 12 não foram recebidos no processo.

Até o momento da Figura 5.4, a contagem de pessoas estava em 22, a temperatura registrada mais alta foi 36.7°C , a última temperatura registrada foi 30.7°C , e a média das temperaturas registradas foi 34.5°C .

É possível observar que algumas medições de temperatura estão muito baixas para um ser humano. Temperaturas como 30.7°C e 31.3°C acontecem pelo fato de que algumas pessoas fazem a medição da temperatura de forma errônea, sem aproximar o suficiente o punho do sensor, ou até mesmo por conta de outros aspectos, como por exemplo, algumas pessoas se transportam para a Khomp de motocicleta, e ao chegarem, suas extremidades estão com uma temperatura mais baixa por causa do vento que pegam.

Quando o experimento chegava próximo de uma hora e meia de duração, o equipamento apresentou alguns problemas de travamento. Não foi possível reconhecer a fonte do problema, até porque o dispo-

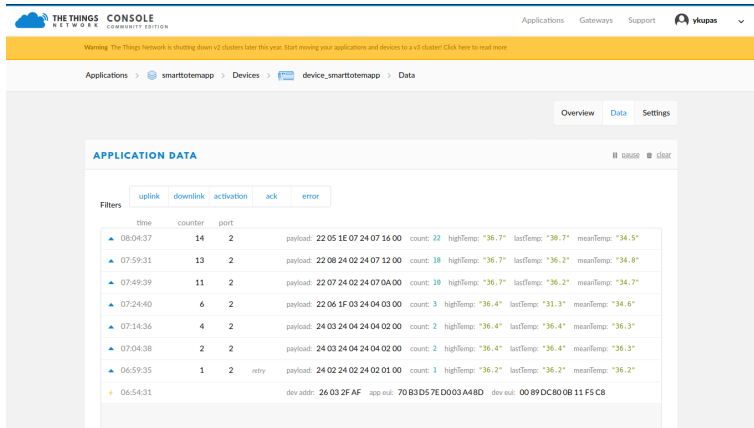


Figura 5.4: Pacotes 3, 5, 7, 8, 9, 10 e 12 não foram recebidos.

tivo teve de ser reiniciado para que o experimento continuasse. Alguns pacotes não tinham sido recebidos pelo gateway, e dados foram perdidos. Porém, foi contabilizado que cinco pessoas passaram no teste entre o último pacote recebido e o travamento do dispositivo. Estes cinco colaboradores concordaram em passar novamente pelas medições e contabilizar novamente os testes.

As Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 mostram o recebimento dos pacotes LoRa ao longo do experimento após o problema de travamento. O experimento foi finalizado às 12:00, sendo o último pacote recebido às 11:41. Vale ressaltar que as perdas de alguns pacotes se deu por conta do ambiente com um tráfego intenso de pacotes LoRa, já que diferentes aplicações são exaustivamente testadas no ambiente da empresa, com o gateway recebendo pacotes com diferentes data-rates em intervalos de 10 à 20 segundos. O método de transmissão dos dados adquiridos no dispositivo é apenas enviar os pacotes LoRa sem confirmação, o que pode gerar perdas de pacotes. Porém, com um período reduzido de 5 minutos entre transmissão, as perdas não impactaram significativamente no resultado final.

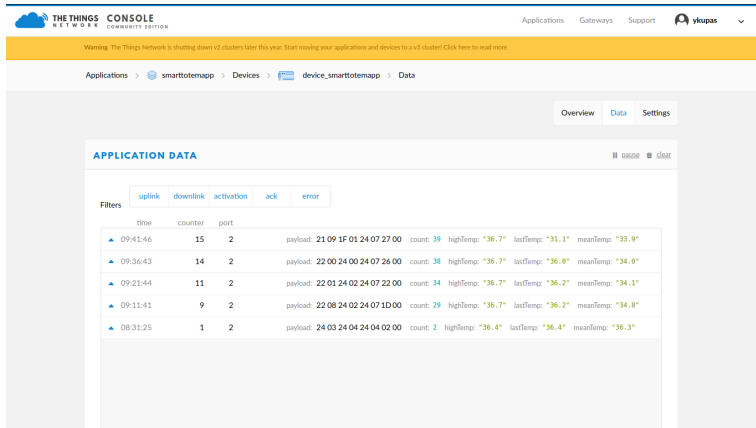


Figura 5.5: Pacotes recebidos após o travamento.

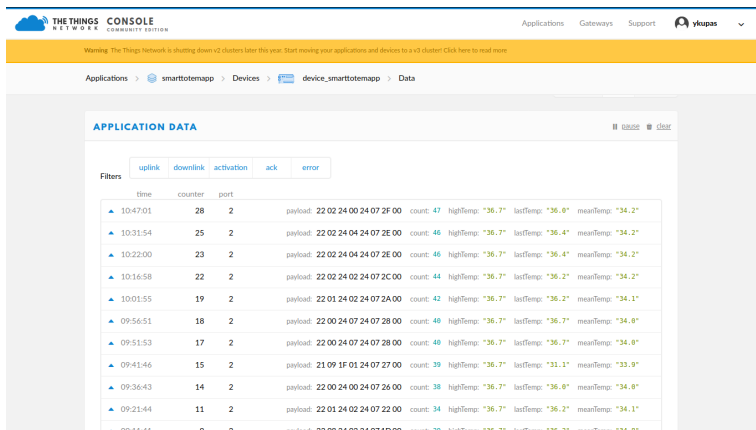


Figura 5.6: Pacotes recebidos durante a manhã do experimento.

5.3 Teste de Temperatura Alta

A temperatura mais alta registrada foi de 36.7°C, algo já esperado, pois, em caso de sistemas e suspeita de febre, o recomendado pela empresa é ficar em casa e informar a direção para tomarem as devidas providências. Contudo, foi inviável validar o funcionamento de acusação de temperatura elevada do dispositivo, necessitando de um teste extra separado do experimento para validação. Foi usada uma xícara

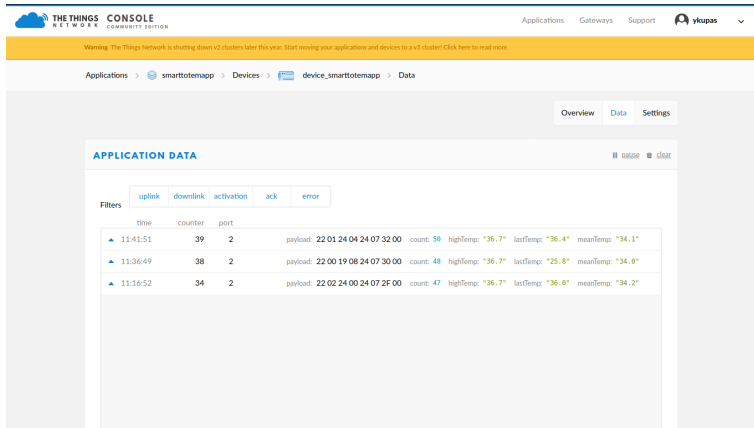


Figura 5.7: Últimos pacotes recebidos do experimento.

de café quente na medição de temperatura, registrando 46.6°C , apitando o buzzer e piscando o LED vermelho, que no mesmo instante, enviou um pacote com esta informação, como mostrado na Figura 5.8.

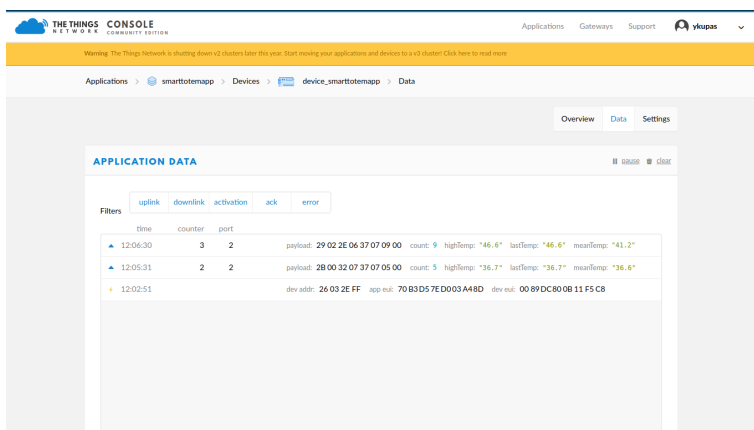


Figura 5.8: Pacote com informação de temperatura elevada.

5.4 Discussão

Com os dados recebidos no experimento, é possível fazer diversas análises sobre o tráfego de pessoas que entram na empresa. A leitura da temperatura das pessoas e a detecção de uma pessoa com temperatura elevada é essencial para o controle e combate ao COVID-19 nos estabelecimentos comerciais durante a pandemia.

Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho apresentou-se uma solução utilizando tecnologia LoRa para controle de temperatura e tráfego de pessoas em um estabelecimento durante a pandemia. Foi desenvolvido um dispositivo que realiza as tarefas de contagem de pessoas, aquisição de temperatura de cada indivíduo, alerta de temperatura elevada e transmissão destes dados utilizando o protocolo LoRaWAN. Foi feito um experimento na empresa Khomp para validação do funcionamento do equipamento e da aplicação. No experimento, foi observado uma quantidade total de 72 pessoas que entraram na empresa entre 7:00 e 12:00 de um dia de semana, uma temperatura média de 34.1°C e temperatura máxima de 36.7°C. Foi também validado o funcionamento de transmissão de pacote de emergência em caso de uma temperatura elevada adquirida.

6.1 Trabalhos Futuros

Existem diversos aspectos neste trabalho que ainda podem ser melhorados. Por exemplo, o acesso a componentes de menor consumo energético e o estudo da aquisição de temperatura corporal a partir das extremidades. O uso de métodos de ADR podem ser aplicados, pois os

dispositivos ficariam estáticos nos estabelecimentos ao redor da cidade.

Caso a alimentação não se faça por baterias, o uso de uma câmera térmica pode ser estudado para a aquisição de temperatura máxima do corpo, junto do reconhecimento facial para analisar se todas as pessoas que passam estão usando máscaras. Uma câmera térmica é um componente que, além de consumir mais energia, possui um custo elevado no mercado e necessita de um processador mais poderoso para ser utilizada, como um Raspberry Pi.

Estes podem ser pontos de partida para o desenvolvimento de novos sistemas para controle de tráfego de pessoas durante e após a pandemia, além do desenvolvimento de aplicativos de smartphones com acesso ao protocolo MQTT para acesso aos dados adquiridos.

Bibliografia

- [1] Decreto nº 21569, de 15 de Maio de 2020, Florianópolis/SC. <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/f/florianopolis/decreto/2020/2157/21569/decreto-n-21569-2020-consolida-as-medidas-para-enfrentamento-da-e-q=21569>.
- [2] Legislação referente ao COVID-19, Florianópolis/SC. <http://www.pmf.sc.gov.br/transparencia/index.php?pagina=legislacaoCOVID&menu=11&cms=legislacao+referente+a+covid19&IdEntidade=17>.
- [3] RAZA, U., *et al.* “Low Power Wide Area Networks: An Overview.” IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 19, no. 2, Secondquarter 2017, pp. 855–73. IEEE Xplore, doi:10.1109/COMST.2017.2652320. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7815384>.
- [4] LAVRIC, A., and A. I. Petrariu. “LoRaWAN Communication Protocol: The New Era of IoT.” 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS), 2018, pp. 74–77. IEEE Xplore, doi:10.1109/DAAS.2018.8396074. <http://www.dasconference.ro/dvd2018/data/papers/B04-paper.pdf>.

- [5] “Frequency Plans.” The Things Network, 16 Feb. 2021. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html>.
- [6] LoRa and LoRaWAN: Technical Overview | DEVELOPER PORTAL. Accessed 19 Feb. 2021. <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>.
- [7] LoRa: Symbol Generation. Accessed 19 Feb. 2021. <https://www.sghoslya.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>.
- [8] CHEONG, P. S., *et al.* “Comparison of LoRaWAN Classes and Their Power Consumption.” 2017 IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology (SCVT), 2017, pp. 1–6. IEEE Xplore, doi:10.1109/SCVT.2017.8240313. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8240313>.
- [9] SEMTECH. LoRa Modem Design Guide. Accessed 19 Feb. 2021. <https://www.rs-online.com/designspark/rel-assets/ds-assets/uploads/knowledge-items/application-notes-for-the-internet-of-things/LoRa%20Design%20Guide.pdf>.
- [10] LoRaWAN Air Time Calculator. <https://www.thethingsnetwork.org/airtime-calculator>.
- [11] HAXHIBEQIRI, Jetmir, *et al.* “A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application.” *Sensors*, vol. 18, no. 11, Nov. 2018, p. 3995. www.mdpi.com, doi:10.3390/s18113995. <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3995>.
- [12] SILVA, J. de Carvalho, *et al.* “LoRaWAN — A Low Power WAN Protocol for Internet of Things: A Review and Opportunities.” 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), 2017, pp. 1–6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8019271>.
- [13] LoRa-Alliance. LoRaWAN Regional Parameters. LORA Alliance, 2020. https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/RP_2-1.0.2.pdf.

- [14] SEMTECH. LoRaWAN 1.0.3 Specifications. LoRa Alliance Technical Committee. Jul. 2018. <https://loro-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan1.0.3.pdf>.
- [15] ADELANTADO, F., *et al.* “Understanding the Limits of LoRaWAN.” IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 9, Sept. 2017, pp. 34–40. IEEE Xplore, doi:10.1109/MCOM.2017.1600613. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8030482>.
- [16] B-L072Z-LRWAN1 - STM32L0 Discovery kit LoRa, Sigfox, low-power wireless. <https://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l072z-lrwan1.html>.
- [17] CMWX1ZZABZ Datasheet. https://wireless.murata.com/pub/RFM/data/type_abz.pdf.
- [18] STM32L072 Datasheet. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l072v8.pdf>.
- [19] SX1276 Datasheet. <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/loro-transceivers/sx1276>.
- [20] Github LoRa-Net/LoRaMAC-node. <https://github.com/Lora-net/LoRaMac-node>.
- [21] Visual Studio Code. <https://code.visualstudio.com/>.
- [22] W081 Datasheet. <https://www.tekfun.com.tw/exec/product.php?mod=show&cid=53&pid=W081&lg=E>.
- [23] MLX90614 Datasheet. https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_MLX90614.pdf.
- [24] Página da FilipeFlop do LCD. <https://www.filipeflop.com/produto/display-lcd-20x4-i2c-backlight-azul/>.
- [25] Página da FilipeFlop do Sensor infravermelho. <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-obstaculo-infravermelho-ir/>.
- [26] Página da FilipeFlop do Conversor Step Down. <https://www.filipeflop.com/produto/mini-conversor-de-tensao-dc-dc-step-down/>.

[27] Página da Khomp. <https://www.khomp.com/pt/>.

[28] Página do ITG200 da Khomp. <https://www.khomp.com/pt/produto/itg-200/>.