



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Sistema de Baixo Custo para Monitoramento
e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis,
com Base em Tecnologia *Edge Computing*, BLE e IoT**

Lucas de Araújo Wanderley Romeiro

Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Elétrica

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO E ALERTA
REMOTO DA TEMPERATURA DE MEDICAMENTOS
TERMOLÁBEIS, COM BASE EM TECNOLOGIA EDGE COMPUTING,
BLE E IOT**

**LOW COST SYSTEM FOR REMOTE MONITORING AND ALERTING
OF TEMPERATURE OF THERMOLABILE MEDICINES, BASED ON
EDGE COMPUTING, BLE AND IOT TECHNOLOGY**

LUCAS DE ARAÚJO WANDERLEY ROMEIRO

**ORIENTADOR: DEMÉTRIO ANTÔNIO DA SILVA FILHO
COORIENTADOR: DANIEL CHAVES CAFÉ**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PUBLICAÇÃO: PPEE.MP.014.
BRASÍLIA/DF: ABRIL DE 2022**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL

**Sistema de Baixo Custo para Monitoramento
e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis,
com Base em Tecnologia *Edge Computing*, BLE e IoT**

Lucas de Araújo Wanderley Romeiro

*Dissertação de Mestrado Profissional submetida ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Elétrica*

Banca Examinadora

Prof. Demétrio A. da Silva Filho, Ph.D, FT/UnB
Orientador

Profª. Edna Dias Canedo, Ph.D, FT/UnB
Examinador Interno

Prof. Ricardo Zelenovsky, Ph.D, FT/UnB
Examinador Externo

FICHA CATALOGRÁFICA

ROMEIRO, LUCAS DE ARAÚJO WANDERLEY

Sistema de Baixo Custo para Monitoramento e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis, com Base em Tecnologia *Edge Computing*, BLE e IoT [Distrito Federal] 2022.

xvi, 53 p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2022).

Dissertação de Mestrado Profissional - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica

1. Medicamento Termolábel

2. Monitoramento Remoto

3. Baixo Custo

4. Wireless

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROMEIRO, L.A.W. (2022). *Sistema de Baixo Custo para Monitoramento e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis, com Base em Tecnologia Edge Computing, BLE e IoT*.

Dissertação de Mestrado Profissional, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 53 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Lucas de Araújo Wanderley Romeiro

TÍTULO: Sistema de Baixo Custo para Monitoramento e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis, com Base em Tecnologia *Edge Computing*, BLE e IoT.

GRAU: Mestre em Engenharia Elétrica ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Do mesmo modo, a Universidade de Brasília tem permissão para divulgar este documento em biblioteca virtual, em formato que permita o acesso via redes de comunicação e a reprodução de cópias, desde que protegida a integridade do conteúdo dessas cópias e proibido o acesso a partes isoladas desse conteúdo. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste documento pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Lucas de Araújo Wanderley Romeiro

Depto. de Engenharia Elétrica (ENE) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Professores Orientadores Doutores Demétrio Filho e Daniel Café, pela paciência, pela parceria, pelos ensinamentos e por tudo que conseguimos construir juntos;

Agradeço aos amigos e familiares pelo apoio incondicional, principalmente em tempos difíceis de pandemia e recessão econômica;

Agradeço a Adriana e Tayná, as quais compõem parte do time de grandes profissionais do PPEE, orientando e apoiando os alunos até nos fins de semana;

Agradeço a Universidade de Brasília, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, ao Núcleo de Propriedade Intelectual, ao Decanato de Pesquisa e Inovação e ao Departamento de Pós Graduação, que nos auxiliaram com instruções e apoio financeiro no registro de *software* e nas publicações;

Agradeço imensamente aos grandes nomes responsáveis pelos saltos evolutivos da história, sem os quais eu não estaria aqui, entre eles (*In Memoriam*): Nikola Tesla, Robert Hooke, Thomas Alva Edison, Albert Einstein, Isaac Newton, Marie Curie, Georg Simon Ohm e muitos outros; todo o meu respeito e admiração.

"Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes."Isaac Newton

RESUMO

Considerando que a saúde é um dos grandes pilares da sociedade, conjuntura reforçada pelas tragédias e a grande sequência de perdas decorrentes da pandemia de SARS-CoV-2 (COVID-19), objetiva-se desenvolver uma solução de baixo custo para facilitar o monitoramento remoto de itens termolábeis (sensíveis às variações de temperatura), evitando que recursos valiosos sejam perdidos em decorrência do desdobramento de eventos adversos. Para tanto, procede-se à pesquisa e fusão de tecnologias robustas para conceber um equipamento confiável e com melhor custo vs benefício, desenvolvendo a integração e formação da arquitetura adequada para o ambiente em questão, implementando um sistema inteligente que perceba a situação adversa e envie uma notificação ao WhatsApp do responsável, a qualquer hora do dia. Para isso, foi utilizado um microprocessador ESP-32 como concentrador e processador de dados e um termômetro Bluetooth *Low Energy* alimentado a bateria, com intuito de simplificar a fixação no interior dos refrigeradores sem a necessidade de fios. Desse modo, observa-se que o sistema concebido neste trabalho, atende satisfatoriamente ao pressuposto, evidenciado através de testes em laboratório, em campo e estudos estatísticos, o que permite concluir que se trata de uma solução atraente e promissora, direcionada a ajudar a cadeia do frio e o manuseio de itens termolábeis, em especial as vacinas. Principalmente por ser um sistema de alerta remoto, simples e de baixo custo, utilizando tecnologias emergentes.

Palavras Chave: Medicamento Termolábel, Monitoramento Remoto, Baixo Custo, Wireless

ABSTRACT

Considering that health is one of the great pillars of society, a situation reinforced by tragedies and the large sequence of losses resulting from the SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic, the objective is to develop a low-cost solution to facilitate monitoring of thermolabile items (sensitive to temperature variations), preventing valuable resources from being lost as a result of the unfolding of adverse events. Therefore, research and fusion of robust technologies is carried out to design reliable equipment with better cost vs benefit, developing the integration and formation of the appropriate architecture for the environment in question, implementing an intelligent system that perceives the adverse situation and sends a notification to the person responsible's WhatsApp, at any time of the day. For this, an ESP-32 microprocessor was used as a data concentrator and processor and a battery-powered Bluetooth Low Energy thermometer, in order to simplify the installation inside the refrigerators without the need for wires. In this way, it is observed that the system conceived in this work satisfactorily meets the assumption, evidenced through laboratory and field tests and statistical studies, which allows us to conclude that it is an attractive and promising solution, aimed at helping the supply chain from the cold and the handling of thermolabile items, especially vaccines. Mainly because it is a simple and low-cost remote alert system, using emerging technologies.

Keywords: Thermolabel Drug, Remote Monitoring, Low Cost, Wireless

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
3.1	CADEIA DO FRIO	8
3.2	MEDICAMENTOS TERMOLÁBEIS	10
3.3	TIPOS DE LEITOR DE TEMPERATURA	12
3.3.1	OS TERMÔMETROS ANALÓGICOS:	12
3.3.2	TERMÔMETRO DIGITAL INFRAVERMELHO (PIRÔMETRO):	13
3.3.3	TERMÔMETRO DIGITAL COM SONDA DE LEITURA:	13
3.3.4	<i>Data Loggers</i> :	13
3.3.5	EQUIPAMENTOS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL COM SUPERVISÓRIO:	13
3.3.6	EQUIPAMENTO DIGITAL COM ALERTA POR E-MAIL:	14
3.3.7	EQUIPAMENTO IOT COM ALARME EM APLICATIVOS MULTIPLATAFORMA:	14
3.4	<i>Bluetooth Low Energy</i>	15
3.5	SISTEMAS EMBARCADOS	16
3.6	<i>Edge Computing</i>	17
3.7	SEGURANÇA CIBERNÉTICA	19
3.8	NORMAS, INSTRUÇÕES E REGULAMENTAÇÕES	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	22
4.1.1	M5 STICKC	22
4.1.2	SENSORES DE TEMPERATURA BLE	24
4.1.3	ARDUINO	26
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	26
4.3	PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS	27
5	RESULTADOS	29
5.1	<i>Software</i>	29
5.2	ANÁLISE DOS DADOS	34
5.2.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS SENSORES	36
5.3	CONSOLIDAÇÃO DA SOLUÇÃO	39
5.3.1	ARMAZENAMENTO REMOTO	39
5.3.2	NOTIFICAÇÕES REMOTAS	40
6	DISCUSSÃO	43

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
APÊNDICES	52

LISTA DE TABELAS

3.1	Dados gerados por mídias sociais por minuto	18
3.2	Cenário do serviço caracterizado pelo tipo.....	19
4.1	Diagrama comparativo dos sensores adquiridos	25
5.1	Medidas resumo da Temperatura por Termômetro	37
5.2	P-valor do teste de comparação de médias (Teste de Mann-Whitney) entre as variáveis temperatura e termômetro	38
5.3	P-valor do teste de igualdade de variâncias (Teste de Levene) entre as variáveis temperatura e termômetro.....	38
6.1	Tabela comparativa de prós e contras da proposta.....	43

LISTA DE FIGURAS

1.1	Estudo da situação do Brasil na Pandemia de Covid-19	2
1.2	Diagrama inicial da solução	3
2.1	Sistema proposto por Carullo <i>et al.</i>	5
2.2	Sistema proposto por Chaudhri <i>et al.</i>	6
2.3	Sistema proposto por Gürüler.....	6
2.4	Sistema proposto por Zhou e Chakrabartty.....	6
2.5	Sistema proposto por Palacio <i>et al.</i>	7
2.6	Placa proposta para controlar o refrigerador, desenvolvida por Perez <i>et al.</i>	7
3.1	Estrutura da cadeia do frio	8
3.2	Funcionamento de um sensor.....	12
3.3	Equipamento da solução DROME	14
3.4	Funcionamento de uma rede com sensores BLE.....	15
3.5	Air Tag - Um produto apple.com	16
3.6	Três fronteiras do modelo computacional	17
3.7	Número de artigos publicados com relação a <i>Edge Computing</i> no Google Scholar®.	18
4.1	Preço do M5 no momento da compra.....	23
4.2	Diagrama de funcionalidades do M5 Stick-C	23
4.3	Sensores adquiridos para teste.....	25
4.4	Ilustração interna do sensor escolhido.....	26
4.5	Big Picture da solução almejada	27
5.1	Conversão dos dados transmitidos pelo sensor.....	29
5.2	Imagem impressa no LCD do M5 Stick-c	30
5.3	Software de conversão de imagem em array de bytes	30
5.4	Array de uma imagem de 10 x 10 pixels.....	30
5.5	M5 Stick-c lendo os dados, armazenando e mostrando no LCD.....	31
5.6	Dois sensores de fabricantes distintos sendo lidos simultaneamente pelo M5 Stick-C.....	31
5.7	Sensor WS07 em comparação com régua	31
5.8	Painel do freezer Indrel Scientific	32
5.9	Visão geral do armazém de medicamentos oncológicos	32
5.10	Visão do sensor instalado dentro do freezer.....	33
5.11	Gráfico do WS07 junto com o sensor de telemetria do equipamento	34
5.12	Diagrama da temperatura em função da entropia do ciclo de refrigeração	34
5.13	Gráfico do WS07 (com <i>offset</i>) junto com o sensor de telemetria do equipamento	35
5.14	Boxplot da Temperatura por Termômetro	37
5.15	Tabela de registro dos dados enviados.....	40
5.16	Notificação recebida no aplicativo de mensagens.	41

5.17 Mensagem visualizada no aplicativo de mensagens 42

LISTA DE ABREVIACOES

BGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RPC	Registro de Programa de Computador
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
TI	Tecnologia da Informação
SMS	<i>Short Message Service</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
LE	<i>Low Energy</i>
NBR	Norma Brasileira
PNI	Programa Nacional de Imunização
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>
ABS	<i>Anti-lock braking system</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CPS	<i>Cyber-physical system</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
DoS	<i>Denial-of-service</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
SRAM	<i>Static random-access memory</i>
RoHS	<i>Restriction of Hazardous Substances Directive</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machines</i>
IDE	<i>Integrated development environment</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
ID	<i>Identity document</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>

1 INTRODUÇÃO

A saúde é um dos pilares que sustenta a sociedade, o que justifica o investimento em suas mais diversas direções de crescimento. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE [1], uma pessoa nascida no Brasil em 2019 tinha expectativa de viver, em média, até os 76,6 anos. Isso representa um aumento de três meses em relação a 2018 (76,3 anos). A expectativa de vida dos homens passou de 72,8 para 73,1 anos e a das mulheres foi de 79,9 para 80,1 anos. Segundo Castro *et al.*[2], um outro fato que evidencia a importância singular da saúde vem de um recente estudo realizado por Harvard e outras universidades, o qual aponta uma redução de quase dois anos na expectativa de vida do brasileiro, advinda da pandemia de SARS-CoV-2 (COVID-19). Com uma simples análise dos dados supracitados, é correto afirmar que a saúde e por consequência os medicamentos, são inevitáveis para o desenvolvimento humano. Entretanto, uma questão surge: a qualidade dos medicamentos disponibilizados para consumo é adequada? Segundo estudo realizado por Gomes[3] em Pernambuco, que analisou o desperdício de medicamentos oncológicos em uma clínica privada no município de Recife-PE mostrou que o valor total de perdas de medicamentos oncológicos foi de 2,66% em 2014; 3,2% em 2015 e 3,0% em 2016. Isso refletiu respectivamente nos seguintes valores perdidos: R\$ 87.963,85, R\$ 96.278,25 e R\$ 96.268,81. Após uma pesquisa feita por Asowata *et al.*[4], em algumas vacinas que compõem o sistema de imunização Sul Africano, pôde ser constatado que a exposição à diferentes temperaturas, interfere diretamente na eficiência da vacinação. Estudos feitos ao redor do mundo, corroboram a importância do tema para se ter uma rede de distribuição mais confiável e com soluções mais acessíveis [5–25].

Os hospitais, clínicas, farmácias, laboratórios, centros de pesquisa, centros de distribuição e postos de saúde, que armazenam medicamentos termolábeis (se degradam facilmente com a variação térmica inadequada) são obrigados a seguir diretrizes dos órgãos competentes que norteiam, fiscalizam, concedem liberações de funcionamento e creditações. Um destes órgãos é a ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que determina as boas práticas de distribuição, armazenagem e de transporte de medicamentos através de resoluções como a RDC 304 [26] e a RDC 360[27]. Estas determinações devem ser seguidas para que seja concedida uma boa acreditação para laboratórios de pesquisa biotecnológica, hospitais, entidades de estudo patológico, fornecedores e fabricantes de medicamentos e até mesmo lavanderias hospitalares, o que é essencial na saúde. Os produtos termolábeis devem ser armazenados em locais refrigerados podendo ser uma câmara fria. A câmara fria deve ser limpa e organizada, além de ter temperatura controlada de acordo com a especificação do produto [28]. Os laboratórios, clínicas, institutos de pesquisa, hospitais, postos de saúde e outros estabelecimentos, fazem o armazenamento de vacinas, medicamentos e outros materiais termolábeis. Um bom exemplo de medicamento sensível é o Tetracosactide 0,25mg/ml que perde suas propriedades após 3-4 horas fora da faixa especificada pelo fabricante [29]. Muitos destes tem alto valor agregado, como é o caso do Libtayo® 50 mg/ml, uma única ampola contendo 7 ml custa R\$ 52.027,00 e deve ser mantido de 2 a 8 °C para manter suas propriedades [30]. Esse cenário levanta um questionamento: o que ocorre se houver ausência de energia elétrica em um freezer de medicamentos importantes durante o período noturno ou num final de semana e essa energia for reestabelecida antes do início do próximo expediente de trabalho? Certamente os funcionários não saberão do ocorrido e podem

administrar medicamentos sem eficácia em pacientes, o que pode acarretar em grande prejuízo ao tratamento. Com essa grande sensibilidade, atrelada ao grande custo envolvido nestas perdas, sejam custos diretos ou indiretos, como aplicar em uma criança uma vacina sem eficácia ou perder meses/anos de pesquisa biotecnológica, surge outro questionamento: é possível mitigar o impacto da falta de energia elétrica e problemas nos equipamentos de armazenagem de insumos termolábeis?

O monitoramento de medicamentos não é algo recente, é um tema amplamente discutido há quase 30 anos, como mostra Cheriyan [31]. Contudo, ainda não existe uma solução de baixo custo, de simples instalação e sem fios. Estes fatores são fundamentais para a difusão dessa tecnologia que pode salvar vidas. Diante disto, este trabalho terá como foco: estudar, desenvolver, validar e propor um sistema de monitoramento de baixo custo e fácil implantação, voltado para de medicamentos termolábeis. Este foco se deu devido a relevância do tema, extraída dos inúmeros artigos supracitados os quais serão abordados no decorrer desta pesquisa, em que abordam a problemática relacionada ao baixo nível de monitoramento das variações térmicas de medicamentos. Outra razão que endossa este desenvolvimento é a singularidade do momento de vacinação em massa atualmente vivido na pandemia do SARS-CoV-2, vacina essa que por sua vez detém características de sensibilidade à variação térmica. Outros fatores importantes que serão levados em consideração serão: custo, simplicidade, praticidade de implantação, disponibilidade da tecnologia, ciclo de vida da tecnologia, modernidade, etc. Pois, o objetivo principal é o desenvolvimento de uma solução de monitoramento que atenda às necessidades evidenciadas na literatura.

Em um estudo realizado em abril de 2021 pela Unidos pela Vacina e Locomotiva [32], constatou-se após a entrevista de 5.569 gestores municipais de saúde que apesar do grande investimento governamental, cerca de 40% das cidades sequer dispõem de medição de temperatura funcional em suas geladeiras que são utilizadas para armazenar vacinas. Este é um dado alarmante. Esse não é o número de cidades que carece de um sistema de telemetria ou alarme remoto, estas cidades não fazem qualquer tipo de acompanhamento da temperatura. Para piorar, as cidades que fazem o acompanhamento da temperatura das geladeiras, não necessariamente o fazem utilizando tecnologias de monitoramento contínuo. Como mostra o estudo realizado pela Unidos pela Vacina e Locomotiva [32] e devidamente evidenciado na Figura 1.1, grande parte das cidades detém geladeiras que não se encontram com a temperatura em boas condições e 15% das cidades sequer tem termômetros. Em alguns casos o desperdício pode ocorrer de forma muito simples, por exemplo o medicamento Tetracosactide® 0,25mg/ml dura somente 3-4 horas em temperatura inadequada [29].

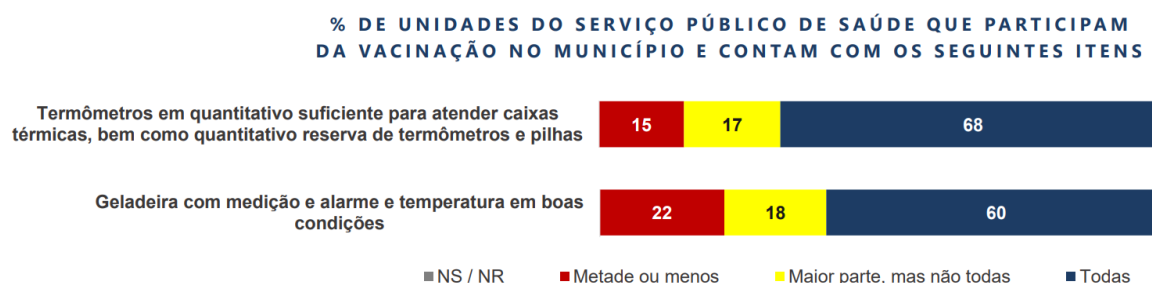


Figura 1.1: Estudo da situação do Brasil na Pandemia de Covid-19
 Fonte: Adaptado da Ref. [32].

Propor, desenvolver e validar um sistema de baixo custo para monitoramento de medicamentos ter-

moláveis é o objetivo principal deste estudo e para alcançar adequadamente tal finalidade alguns passos intermediários são necessários:

- Realizar um levantamento do estado da arte das soluções em monitoramento de temperatura e telemetria no geral, com foco em identificar e selecionar as principais ferramentas disponíveis atualmente;
- Estudar e determinar a melhor composição de baixo custo para um sistema simples e sem fio;
- Desenvolver um programa para sistema embarcado *edge computing* com intuito de processar, interpretar e utilizar localmente os dados provenientes de sensores sem fio;
- Integrar os componentes estudados numa solução única com foco no produto final, conforme evidenciado na Figura 1.2 e
- Analisar e avaliar os dados produzidos de modo a permitir a validação e relevância da proposta de forma clara e objetiva, para que a mesma seja capaz de auxiliar efetivamente no processo de tomada de decisão contra incidentes que possam ocasionar em perdas financeiras ou diretamente à saúde pública.

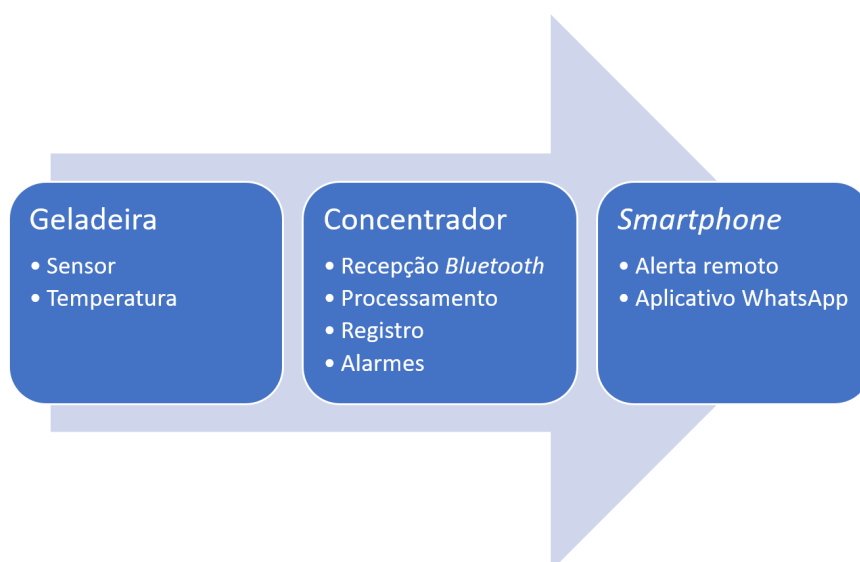


Figura 1.2: Diagrama inicial da solução
Fonte: Próprio autor.

O trabalho buscou trazer as seguintes contribuições:

- Registro de Programa de Computador (RPC) no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com o número de processo "512022000384-8".
- Publicação indexada IEEE na conferência internacional: *IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)* sob o nome: *Low-Cost Monitoring Device for Cold-Chain using Edge Computing* e o DOI: 10.1109/DySPAN53946.2021.9677079.
- Seleção para apresentação do projeto na Campus Party Brasília 2022 - CPBSB4;

- No contexto do uso da arquitetura *edge computing*, os dados são lidos e interpretados localmente, habilitando a possibilidade de alarmes locais (sonoros ou visuais) e envio de alertas diretamente ao *smartphone* do colaborador responsável, eximindo a necessidade de um servidor externo para o tratamento de dados e envio de notificações, o que impacta além da simplicidade, em mais segurança e redução de custos; redução do tráfego de dados caso exista a necessidade de historiar as leituras em servidor alocado na nuvem.
- Apresentação do estado da arte das tecnologias que envolvem uma solução para telemetria de temperatura, utilizando conceitos modernos em toda sua estrutura.
- Proposição de uma arquitetura que permite a integração de plataformas de TI com capacidade de expansão para necessidades futuras ou customizadas.
- Implementação prática e funcional da arquitetura proposta, contando com disponibilização de análises dos resultados obtidos e da qualidade da informação gerada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Inúmeros trabalhos abordam a importância de existir um sistema de monitoramento para insumos termolábeis e alguns deles desenvolvem soluções para o problema em questão [14, 15, 33–41]. Em 2009, Carullo *et al.* [39] propuseram um sistema customizado e de baixo custo para monitoramento de itens da cadeia do frio. Tal tecnologia utilizava sensores sem fio distribuídos pela carga de garrafas que estava sendo transportada e alguns deles ficavam localizados no interior das tampas das garrafas. Os sensores tinham seu microcontrolador com um rádio e enviava os dados para uma central que coletava as informações e as transferia para um notebook local, como pode ser visto na Figura 2.1.

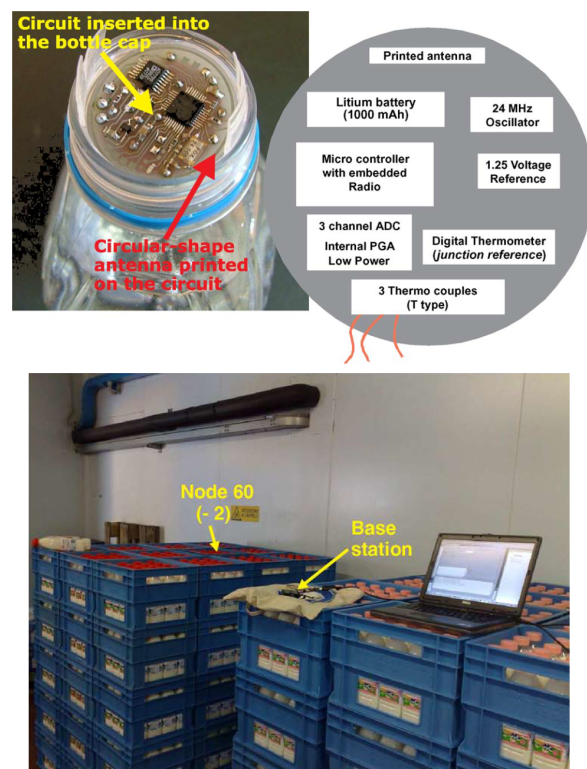


Figura 2.1: Sistema proposto por Carullo *et al.*
Fonte: Adaptado da Ref. [39].

De 2010 a 2012, Chaudhri *et al.* [33] propõem um sistema embarcado de desenvolvimento próprio que efetua a leitura de sensores locais e transmite alertas remotos utilizando um celular Nokia 1661 para enviar SMS aos responsáveis pelo produto monitorado, como pode ser apreciado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Sistema proposto por Chaudhri *et al.*
Fonte: Adaptado da Ref. [33]

Em 2015, Gürüler [35] desenvolveu uma proposta de sistema similar à de Chaudhri *et al.*, contudo ele utilizou componentes profissionais. Como pode ser visto na Figura 2.3, não faz uso de adaptação para um celular para comunicação externa, se tratando apenas de módulos industrializados. Por mais que o sistema tivesse poder de se conectar em redes 3G e efetuar comunicações mais robustas com servidores remotos, utilizava ainda da estratégia de alertar os responsáveis utilizando SMS.



Figura 2.3: Sistema proposto por Gürüler.
Fonte: Adaptado da Ref. [35].

Em 2017, Zhou e Chakrabartty [37] propõem um sistema de monitoramento utilizando etiquetas passivas de RFID (*Radio Frequency Identification*) para acompanhar a temperatura de alimentos e pacotes medicinais, como pode ser apreciado na Figura 2.4. Esse tipo de tecnologia necessita de um leitor RFID para alimentar o circuito e trocar informações, para isso é possível utilizar um smartphone ou um equipamento dedicado a essa função. Apesar de interessante, o monitoramento instantâneo e local destes dados, exige uma interação humana constante para verificação da situação do insumo. O acompanhamento não é automático e não é remoto, mas o seu custo é extremamente baixo, o que pode ser interessante para algumas aplicações.



Figura 2.4: Sistema proposto por Zhou e Chakrabartty.
Fonte: Adaptado da Ref. [37].

Ainda em 2017, Palacio *et al.* [15] conceberam um monitor móvel de medicamentos para a cadeia do frio, este era dotado de GPS (*Global Positioning System*), sensor de temperatura, Raspberry Pi e utilizava Bluetooth LE para se conectar ao *smartphone* do transportador com o intuito de enviar informações à

internet (servidor na nuvem) Figura 2.5. Neste caso era acompanhado o posicionamento geográfico e a temperatura do insumo em tempo real.

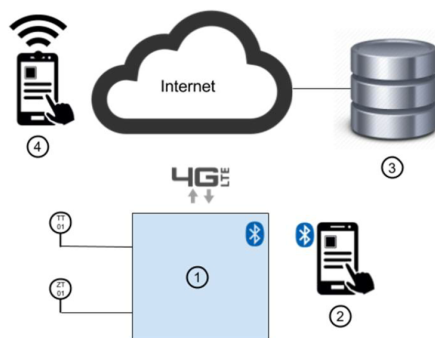


Figura 2.5: Sistema proposto por Palacio *et al.*
Fonte: Adaptado da Ref. [15].

Em 2019, Perez *et al.* [14] propõem uma placa (Figura 2.6) para medir a temperatura de refrigeradores medicinais, verificar se a energia elétrica falhou, verificar o estado da corrente elétrica do equipamento de controle do compressor. Com isso eles não se limitaram a monitorar e emitir alertas remotos utilizando protocolo para rede SigFox, a proposta é ter uma placa que pode controlar todo o refrigerador e emitir alertas operacionais à distancia. Lembrando que para isso é necessário modificar o refrigerador de forma invasiva e será necessário conhecimento técnico suficiente na área de refrigeração e elétrica, com a ciência que o refrigerador perderá a garantia após a modificação.

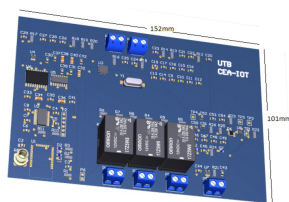


Figura 2.6: Placa proposta para controlar o refrigerador, desenvolvida por Perez *et al.*
Fonte: Adaptado da Ref. [14].

Em 2020, Singh *et al.* [41] implementam uma solução de monitoramento de temperatura que utiliza Blockchain para manter a confiabilidade das informações e combater a inserção de medicamentos falsificados na cadeia de suprimentos. Para isso é utilizada uma tecnologia RFID ativa, dados criptografados e checagens de segurança. O intuito de manter a inviolabilidade e a qualidade da carga transportada são os principais pontos propostos, o que permite a recepção segura do pacote de medicamentos, sabendo a temperatura durante o transporte, por onde ele passou e que não houve violação. Contudo, não é um sistema de monitoramento e alarmes de forma contínua e remota para equipamentos de refrigeração. Essa proposição tem como foco a qualidade durante o transporte.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 CADEIA DO FRIO

A cadeia do frio ou *cold chain* tem este nome decorrente da necessidade de refrigeração contínua ao longo de toda a cadeia de suprimento, o que é determinante para manter a qualidade, eficiência e propriedades físicas e químicas do produto, matéria prima, substância ou agente, conforme Figura 3.1. Grande parte da cadeia do frio é composta pela rede alimentícia, a qual está exposta ao mesmo problema que a rede farmacêutica, a falta do controle adequado da temperatura no transporte ou armazenamento de termolábeis. Diversas pesquisas [42–51] evidenciam essa adversidade tanto na rede de alimentos quanto no transporte de medicamentos e apesar de algumas proposições serem feitas com finalidade de mitigar ou melhorar o cenário, todas elas se baseiam na necessidade do monitoramento contínuo da temperatura dos produtos como protocolo de apoio à tomada de decisão frente a necessidade de agir rapidamente para evitar perdas.

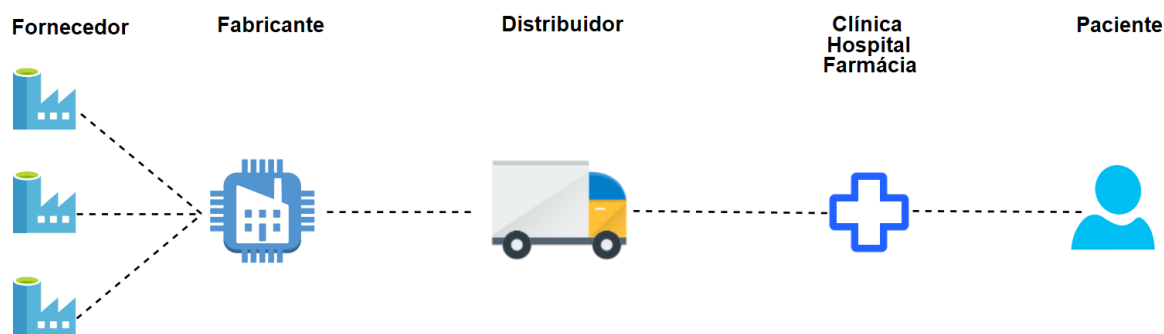


Figura 3.1: Estrutura da cadeia do frio
Fonte: Adaptado da Ref. [41].

Segundo Aung [43], “ a temperatura é o fator mais importante para prolongar ou manter a vida útil de produtos perecíveis”. Ainda segundo Aung [43], após efetuar testes e experimentos conduzidos com diversos sensores avaliando inúmeros aspectos como a densidade, localização do produto dentro de um refrigerador e utilizando técnicas como *K-means clustering*, chega a conclusão de que ainda se fazem necessárias mais pesquisas para resolver as questões desafiadoras que envolvem a cadeia do frio.

Um estudo realizado em 2017 sobre o panorama da cadeia do frio no Brasil [42] mostrou que, no cenário avaliado, o país tem grande déficit de capacidade de transporte destes materiais apresentando em 2014 um déficit estimado de 38,5 Mm³. Outro ponto importante evidenciado pelo estudo é a incompatibilidade das temperaturas médias encontradas no procedimento de transporte, chegando a uma diferença de -12 °C do que determina a legislação NBR 14701 para o tipo de transporte analisado.

Segundo Ndraha *et al.* [44], “ a maioria dos abusos de temperatura relatados são na cadeia do frio dos países desenvolvidos, enquanto muito menos se sabe sobre a situação nos países em desenvolvimento”. Isso representa um grave problema nacional, se os países em desenvolvimento sequer sabem da condição dos insumos que armazenam ou transportam, qual seria a abrangência dos danos à saúde da população?

Segundo Ndraha [44] *et al.*: “Tecnologias recentemente aplicadas no monitoramento de temperatura fornecem uma contribuição significativa para a cadeia de frio alimentar, mas, uma investigação mais aprofundada de sua aplicação é necessária para gerar dados adequados”. Não adianta somente monitorar e guardar estes dados na gaveta. É preciso contar com um sistema integrado que avise os responsáveis para uma ação imediata.

“A otimização dos disponíveis recursos para gerenciar o tempo-temperatura ao longo desta cadeia continuam a ser um desafio. Portanto, o estabelecimento de diretrizes pelas autoridades regulatórias relevantes, considerando o uso de energia, risco econômico, impacto social, questões ambientais e sustentabilidade são recomendados para alcançar a integridade da cadeia de frio alimentar” [44].

Mercier [45], por outro lado propõe: “uma combinação de pesquisa experimental e de modelagem prospectiva sobre a uniformidade do pré-resfriamento, sistemas responsivos de gestão de inventário de alimentos e cadeias do frio em países em desenvolvimento para a melhoria da cadeia de frio em escala global” o que corrobora a urgência de intervenção na cadeia do frio dos países em desenvolvimento. Segundo Abad *et al.* [46], a cadeia logística de alimentos refrigerados fica mais complexa a cada dia, pois a origem está longe do destino o que envolve movimentação a bordo em navios, transporte aéreo, terrestre e bases intermediárias na cadeia logística.

“As vacinas são um tipo especial de medicamento, cuja qualidade é altamente sensível à temperatura e diretamente relacionada à saúde pública. Recentemente, inúmeros eventos adversos relacionados a vacinas têm ocorrido no mundo, principalmente em países em desenvolvimento, devido às vacinas serem expostas a temperaturas inadequadas durante seu transporte” [47].

Segundo Zhang *et al.* [48] “Compostos biológicos sensíveis, como vacinas e antibióticos, tradicionalmente requerem uma "cadeia do frio" dependente do tempo para maximizar a atividade terapêutica. Esse processo falho resulta em bilhões de dólares em perdas viáveis de medicamentos durante o transporte e armazenamento e limita severamente a distribuição para nações em desenvolvimento com infraestrutura limitada”.

Segundo Robertson [49], entre os anos de 2004 e 2016 houveram inúmeros avanços e inovações que levaram novas tecnologias para os equipamentos da cadeia do frio. Contudo, as tecnologias citadas pelo autor são intrínsecas ao funcionamento dos freezers e caixas de transporte, fazendo com que estes equipamentos sejam mais adequados para medicamentos sensíveis. O que representa um grande avanço da qualidade dos equipamentos e na prevenção de perdas.

Segundo Chandra [50], “O sucesso dos programas de imunização depende da cadeia de abastecimento de ponta a ponta e dos sistemas de logística funcionais. Uma cadeia de suprimentos que não é eficiente e eficaz nunca entregará a vacina no lugar certo e na hora certa”.

Em um estudo realizado por Chandra e Kumar [50], concluiu após um levantamento com especialistas, que entre as maiores questões prioritárias para resolver os problemas inerentes à cadeia de fornecimento de vacinas em países em desenvolvimento é o quesito econômico. Citando o monitoramento da cadeia de frio das vacinas um problema real e sub prioritário. Em tentativa de melhorar a cadeia do frio, o autor [51] propôs um modelo matemático para projetar cadeias do frio, com considerações ambientais e propondo uma nova abordagem para resolvê-lo de forma eficiente. Este modelo propõe melhorias em inúmeros aspectos e utiliza como uma de suas bases fundamentais as equações de Lagrange. Em outra pesquisa realizada por [52], com o intuito de apresentar um modelo de otimização relacionado a ecoeficiência aponta que um dos problemas encontrados que limita a cadeia do frio é o tamanho dos lotes, principalmente devido a relação direta com a homogeneidade térmica.

3.2 MEDICAMENTOS TERMOLÁBEIS

Para uma boa conservação dos medicamentos termolábeis é assim indispensável a manutenção de uma correta cadeia do frio. Caso as condições de conservação não sejam cumpridas, corre-se o risco dos medicamentos não só não realizarem a ação pretendida, como tornarem-se prejudiciais para o tratamento do doente [23].

Os autores Silva *et al.* [23], Cuervas-Mons *et al.* [53] e Cohen *et al.* [54] apresentam estudos que mostram o tempo de estabilidade térmica de alguns dos medicamentos mais importantes, citando o princípio ativo e o tempo de estabilidade fora das condições de refrigeração preconizadas pelos fabricantes. Estes estudos são importantes para facilitar a acessibilidade às informações e tornar mais rápida a tomada de decisão perante a ocorrência de algum incidente.

Um estudo realizado por Pazo-Oubi *et al.* [55], mostra que a grande maioria dos produtos termolábeis liberados a pacientes de um hospital espanhol localizado em uma cidade com mais de 1 milhão de habitantes foram armazenados de forma incorreta [56]. Por serem produtos termolábeis, estes produtos perderam suas propriedades físicas e químicas, pois as vacinas precisam ser mantidas em temperaturas controladas e ideais para manter sua imunogenicidade e eficácia. A perda da estabilidade física é verificada através da alteração das características organolépticas dos medicamentos.

No entanto, quando a perda da estabilidade física pode ser percebida, as estabilidades químicas e microbiológicas já estão previamente comprometidas, acarretando prejuízos importantes para a ação terapêutica [57]. A estabilidade é a propriedade de um produto em preservar, dentro de limites estabelecidos e sob determinadas condições ambientais, as mesmas características físicas, químicas e farmacológicas, durante seu período de vida útil. Esse espaço de tempo, no qual se assegura sua integridade, representa o período de validade [57].

Segundo Mirco e Rocha [58], a estabilidade física aborda essencialmente a integridade da substância ativa e os seus produtos de degradação. Determina as características físicas dos medicamentos, principalmente a solubilidade e biodisponibilidade (eficácia e segurança). Os principais fatores são: vibrações e impactos, flutuações de temperatura e umidade.

A fim de garantir a capacidade imunogênica dos imunobiológicos, os mesmos devem estar conserva-

dos em local com temperatura entre +2°C e +8 °C e dentro do prazo de validade especificado no frasco, conforme preconiza o PNI (Programa Nacional de Imunização) [59]. Para tanto, o controle, registro e monitoramento diário da temperatura são imprescindíveis nos equipamentos das instâncias de armazenamento [56].

Quando um problema ocorre em determinado refrigerador é necessário gerar um registro manual do ocorrido, este procedimento se chama notificação. Apesar das fragilidades inerentes ao processo de notificação manual devido a erros humanos, especialmente relacionadas ao adequado preenchimento das fichas de notificação de alteração de temperatura, o sistema de monitoramento se mostra importante para assegurar a qualidade e a segurança dos imunobiológicos disponibilizados para a população [56].

Segundo Board: “O efeito de temperaturas elevadas na estabilidade química dos medicamentos é bem conhecido, mas as temperaturas elevadas também podem ter um efeito adverso nas propriedades físicas de alguns tipos de formulação. Por exemplo, a separação de sistemas de emulsão e sedimentação de ingredientes ativos em suspensões e semissólidos estão entre as mudanças que podem ocorrer. Produtos baseados em sistemas de emulsão e soluções de componentes moderadamente solúveis também podem se tornar fisicamente instáveis em temperaturas abaixo de zero” [60].

“Um número crescente de medicamentos requer condições controladas de armazenamento e transporte entre 2 ° C e 8 ° C. Alguns deles, por exemplo vacinas, insulina e produtos de biotecnologia, devem ser protegidos do congelamento. Mesmo um breve período em temperaturas abaixo de zero pode desnaturar irreversivelmente a proteína e levar a uma perda de eficácia e, portanto, tais medicamentos devem ser mantidos dentro de uma faixa estreita de temperatura acima do ponto de congelamento ao longo da cadeia de distribuição” [60].

No caso de produtos de alto risco (por exemplo, vacinas, insulinas, hemoderivados...), os refrigeradores devem ser capazes de manter a temperatura entre 2 ° C e 8 ° C com o mínimo de intervenção [60].

Moretto e Calixto [61] afirmam que:

“os pontos de medição de temperatura e umidade devem ser feitos por meio de sondas, termômetros ou *loggers* que possibilitem a monitoria em tempo contínuo”. Na percepção de Moretto e Calixto [61] “as condições de armazenamento de produtos termolábeis ou produtos de câmara fria devem estar em conformidade com o detentor do registro junto a ANVISA baseadas nos estudos de estabilidade”.

O tempo e o momento em que a temperatura do termolábel fica fora do especificado, pode ocorrer em qualquer ponto da cadeia logística. Tal evento pode acarretar em danos irreversíveis ao produto.

3.3 TIPOS DE LEITOR DE TEMPERATURA

Toda e qualquer solução que façam uso da leitura de determinada temperatura é composta minimamente por três partes: o sensor, condicionador de sinal e interface de leitura. Cada componente é responsável por fazer algum tipo de conversão para o próximo componente interpretar o fenômeno, conforme exibido na Figura 3.2.

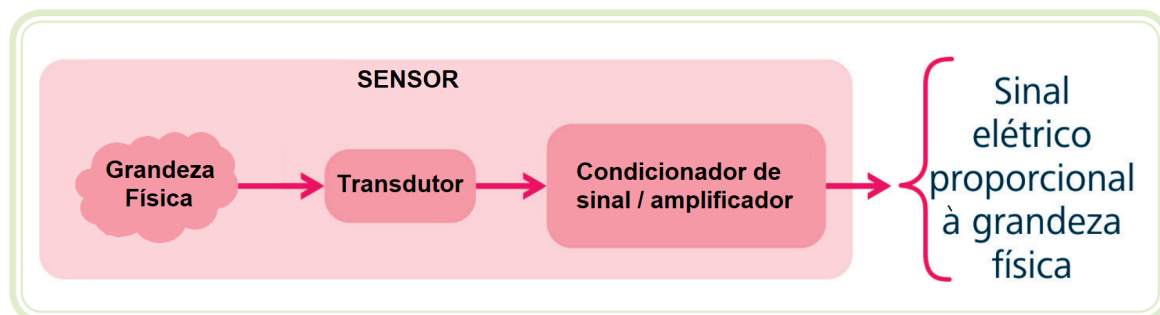


Figura 3.2: Funcionamento de um sensor
Fonte: Adaptado de [62]

Os leitores de temperatura são equipamentos que utilizam dos mais diversos métodos científicos para que seja possível a aferição da temperatura, alguns deles são:

- Expansão de um material para dar uma indicação visual, pressão, ou mudança dimensional (dispositivos de expansão de líquido como os termômetros de mercúrio);
- Mudança de resistência elétrica (RTD, termistor);
- Tensão gerada por metais diferentes (termopares);
- Energia irradiada (pirômetros).

Entre os equipamentos mais utilizados para aferição de temperatura do interior de refrigeradores medicinais destacam-se:

3.3.1 Os termômetros analógicos:

Estes equipamentos são ainda utilizados para monitoramento de medicamentos sensíveis, principalmente em instalações mais antigas ou com baixo poder aquisitivo. Este tipo de equipamento não é adequado para o monitoramento de temperatura de medicamentos, pois além de apresentarem desvios maiores que o mínimo tolerável pelos órgãos competentes, envolvem também erros de leitura visual, como erro de paralaxe, não contém qualquer tipo de registro histórico de eventos ou alarmes. Como preconiza a ANVISA na RDC304 [26], “O monitoramento e controle de temperatura devem ser realizados preferencialmente por meio de sistemas de supervisão informatizados”.

3.3.2 Termômetro digital infravermelho (pirômetro):

Este termômetro digital infravermelho, faz uso de uma tecnologia muito superior aos termômetros analógicos, contudo não são adequados ao uso para monitoramento de temperatura de itens termolábeis. Principalmente pelos seguintes fatores: É necessário abrir o refrigerador para medir a temperatura, não há o monitoramento contínuo, não faz histórico, não emite alertas, etc. Portanto, apesar de ser um equipamento digital que tem certo nível de tecnologia embarcada, não é um aparelho indicado para monitoramento de temperatura de refrigeradores.

3.3.3 Termômetro digital com sonda de leitura:

O termômetro digital com sonda de leitura é um dos dispositivos mais utilizados para monitoramento de temperatura interna de refrigeradores com insumo termolábil. O fator que tornou este equipamento muito utilizado é seu preço, que gira em torno de R\$50,00 a R\$80,00 no mercado nacional e em conjunto com um monitoramento manual e recorrente, anotando em papel as temperaturas exibidas, se tornou a forma mais barata de manter registros de temperatura como determina a ANVISA na RDC304 [26]: “O monitoramento deve ser registrado, e os registros devem ser mantidos, por, pelo menos, dois anos após sua geração”. Entretanto, este dispositivo não faz o monitoramento contínuo da temperatura, ele apenas exibe em seu visor a temperatura atual do interior do equipamento, o que necessita de um funcionário treinado para anotar diariamente, em turno recorrente de algumas horas, a temperatura de todos os refrigeradores. Este equipamento não detém qualquer tipo de alarme remoto.

3.3.4 Data Loggers:

Os *Data Loggers* também são equipamentos amplamente utilizados, principalmente no transporte de medicamentos. Estes equipamentos têm como função o registro histórico da temperatura. Para se conseguir acesso aos registros é necessário estabelecer uma conexão local com um computador para descarregar os dados e posteriormente os analisar. Este tipo de solução dispensa a utilização do registro manual das variações de temperatura, mas não é automatizado. Outra desvantagem é a ausência de alarmes, o que torna o equipamento ineficaz em casos de anormalidade da temperatura, eventos que necessitem uma rápida tomada de decisão para evitar grandes prejuízos.

3.3.5 Equipamentos de automação industrial com supervisor:

Os equipamentos industriais como Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) [63], também são utilizados com a finalidade de historiar as temperaturas de equipamentos com material sensível. Essa solução é robusta, devido ao fato de sua construção ser voltada para atender a critérios industriais. Estas soluções têm alto custo de aquisição, alto custo de manutenção e alto custo de implantação, pois, além de necessitar de mão de obra altamente treinada, é necessário em muitos casos, promover ajustes nas instalações físicas para cabear estes equipamentos até chegar aos freezers que irão monitorar.

Este tipo de equipamento registra os dados e os envia de forma automática ou manual para um servidor

local alocado para receber estes dados através de uma plataforma com um sistema supervisório instalado, normalmente fazendo uso de protocolos industriais como Modbus ou Profibus. Este tipo de solução atende ao registro ininterrupto de temperaturas e alarmes locais na central de monitoramento (supervisório dedicado). Eles não emitem alertas remotos e o alto valor necessário para adquirir e manter tal estrutura inviabiliza as instalações.

3.3.6 Equipamento digital com alerta por e-mail:

Existem também algumas soluções mais modernas que já enviam alertas por e-mail, com um custo relativamente menor, contudo, muitas delas não dispõem de registro histórico, requerem nível técnico relevante para instalar e operar. Além da consequente necessidade de cabeamento tanto para dentro do refrigerador quanto para a rede elétrica e a rede *ethernet*. Estas soluções tem se tornado obsoletas pelo simples fato de necessitar de apoio técnico constante, o que envolve investimento para manter determinada equipe de manutenção.

3.3.7 Equipamento IoT com alarme em aplicativos multiplataforma:

Existe também as tecnologias emergentes em monitoramento de temperatura de medicamentos termolábeis, como o equipamento exposto na Figura [64], um dos mais modernos e conhecidos do Brasil. Estes equipamentos dispõem de conexão Wi-Fi, geram alertas em smartphones e dispensam o uso de cabo Ethernet. São dispositivos bem menores e mais simples (Figura 3.3), contudo existem alguns agravantes: essas tecnologias ainda necessitam de um ponto de energia elétrica e passar uma sonda de temperatura para o interior do equipamento a ser monitorado. Isso demanda por uma equipe de instalação. Um ponto importante é a conexão direta com a nuvem. Estes componentes normalmente não fazem tratamento, processamento ou compressão de dados de forma local. Também não dispõem de plataforma gratuita. É necessário aderir a uma assinatura mensal para manutenção dos serviços. Outro aspecto importante é que ainda com estas tecnologias mais modernas, simples e inovadoras, existe a necessidade de pontos de energia elétrica para alimentar os equipamentos e o custo recorrente com assinaturas.



Figura 3.3: Equipamento da solução DROME
Fonte: Próprio autor.

3.4 BLUETOOTH LOW ENERGY

Segundo Siqueira [65], *Bluetooth* é um padrão de comunicação sem fio de curto alcance, baixo custo e baixo consumo de energia que utiliza tecnologia de rádio. Sua especificação é aberta e está publicamente disponível. A especificação *Bluetooth* foi inicialmente projetada com o objetivo de desenvolver dispositivos interconectáveis de baixo consumo de energia, através de frequências de rádio de curto alcance de 1 a 100 metros dependendo da categoria do dispositivo. Aspectos como segurança, disponibilidade e baixo custo foram altamente relevantes no processo de concepção.

As grandes diferenças do *Bluetooth* tradicional para o *Bluetooth LE (Low Energy)* tangem a economia de energia, objetivando uma menor potência para a transmissão das informações que ocorre em um período menor. A diferença entre o estado de transmissão e o estado de repouso pode chegar a centenas de vezes. O BLE foi projetado para operar em frequências em torno de 2,4 GHz para reduzir o custo e a complexidade das soluções de rádio existentes, já que esta faixa não necessita de licenciamento. A potência de saída de transmissão é variável até 10 mW, com uma corrente máxima do dispositivo de aproximadamente 15 mA a 3 volts (a corrente de repouso é de aproximadamente 1 uA) [66].

Segundo Hansen [67] os dispositivos IoT de baixa potência provavelmente terão *Bluetooth LE* como sua única interface sem fio, devido a finalidade da tecnologia já prever alta performance de consumo de energia. Assim, para acessar a internet, eles precisam se conectar por meio de dispositivos de *gateway* que compartilham tanto o *Bluetooth LE* quanto outra interface, normalmente Wi-Fi. O lado *Bluetooth LE* do *gateway* assumirá a função de roteador BLE, enquanto o lado Wi-Fi atua como uma estação AP. O lado Wi-Fi do *gateway* deve estar associado a um roteador que está conectado de volta à internet.

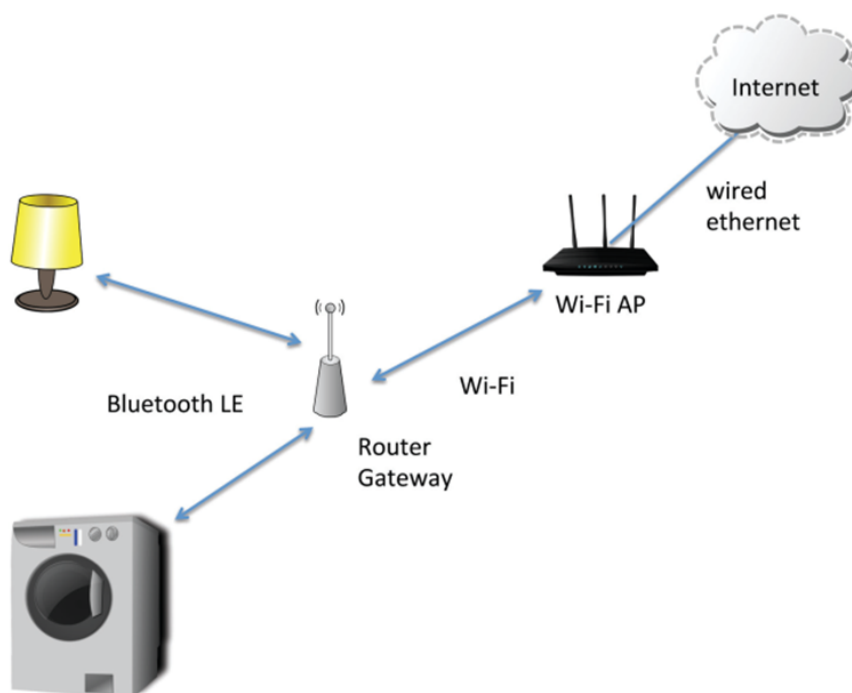


Figura 3.4: Funcionamento de uma rede com sensores BLE
Fonte: Adaptado da Ref. [67]

Um dos maiores fabricantes/desenvolvedores de CIs - (Circuitos Integrados) para aplicações BLE é a

Nordic Semiconductor (nordicsemi.com) que fabrica rádios de transmissão Bluetooth normalmente integrados a um microcontrolador no mesmo circuito. Isso facilita o desenvolvimento de soluções inteligentes e com um baixo custo energético. Outro fator importante é a popularização destes dispositivos devido a facilidade de uso, com a vasta gama de exemplos, documentos e placas didáticas. O que atrai os olhos das empresas que criam soluções sem fio.

Como o foco dos dispositivos BLE é a economia de energia, existem dispositivos que podem “sobreviver” facilmente por 5 anos ou mais, somente com duas pilhas alcalinas. Outros equipamentos podem ser alimentados por até um ano com uma simples bateria CR2032 que tem as suas dimensões similares à de uma moeda. Um bom exemplo de produto como este são as recém lançadas Air Tags da gigante Apple, como pode ser apreciado na Figura 3.5 [68]. Um dos seus principais usos é a localização de objetos como chaves, carteiras, mochilas, malas, etc.

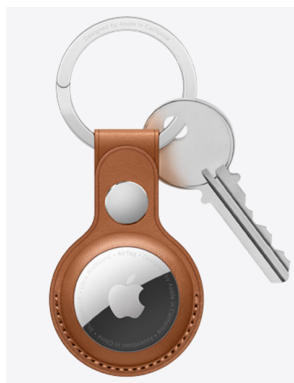


Figura 3.5: Air Tag - Um produto apple.com
Fonte: Adaptado de [68]

Os autores Devita *et al.* [69], já previam a necessidade de simplificar as tecnologias com fio, e criar algo livre de cabos e conexões físicas. Neste caso, [69] propôs um modelo *Wireless Body Area Network* (WBAN), para extinguir a quantidade de fios conectados aos pacientes nos hospitais utilizando dispositivos BLE de baixíssimo consumo. A constante necessidade de assingelar processos, produtos e soluções gerais é intrínseca ao desenvolvimento humano.

3.5 SISTEMAS EMBARCADOS

Segundo Zurita [70], a adoção de microprocessadores fora do universo dos computadores pessoais e corporativos, deu origem aos chamados Sistemas Computacionais Embarcados, ou simplesmente “Sistemas Embarcados”.

Segundo Carro [71], os sistemas computacionais embarcados estão presentes em praticamente todas as atividades do ser humano e, associando o baixo custo das novas tecnologias, a presença destes dispositivos será amplificada. Alguns exemplos de sistemas são os telefones celulares, os fornos de micro-ondas com controle de temperatura inteligente, as máquinas de lavar e outros eletrodomésticos. O projeto de sistemas embarcados toma sempre como base um ou mais processadores. Embora esta solução pareça extremamente conservadora do ponto de vista de inovação, ela traz enormes vantagens do ponto de vista operacional.

“A grande pressão mercadológica num mercado mundial globalizado, somada à contínua evolução tecnológica, impõem às empresas a necessidade de projetarem novos sistemas embarcados dentro de janelas de tempo cada vez mais estreitas, de poucos meses. Além disto, novos produtos têm uma vida cada vez mais curta, de modo que o retorno financeiro de seu projeto deve ser obtido também em poucos meses” [71].

Para Carro [71], cada vez mais a inovação de uma aplicação depende do *software*. Embora a plataforma de *hardware* de um celular possa ser similar à de um controle de freios ABS, definitivamente o software não é o mesmo. Ele afirma que ao longo do processo de projeto, inúmeras descrições do sistema embarcado são geradas, em diferentes níveis de abstração (especificação funcional, macro-arquitetura, micro-arquitetura), cobrindo diferentes aspectos (*software* e *hardware*) e eventualmente com a utilização combinada de diferentes linguagens. A geração de uma aplicação embarcada seria extremamente facilitada caso fosse oferecida uma API (*Application Programming Interface*) padronizada, que abstraísse da aplicação todos os detalhes de mais baixo nível, não apenas do *hardware*, mas também do sistema operacional.

3.6 EDGE COMPUTING

Edge computing ou em português, computação de borda é um paradigma no qual os recursos de um servidor são colocados na borda da Internet, próximos a dispositivos móveis, sensores, usuários finais e a emergente IoT. Termos como “*cloudlets*”, “micro data centers” e “neblina” têm sido usados na literatura para se referir a esses tipos de hardware de computação pequeno e localizado na borda. Todos eles representam contrapontos ao tema da consolidação e dos *data centers* massivos que dominaram o discurso na computação em nuvem e podem ser apreciados na Figura 3.6 [72].

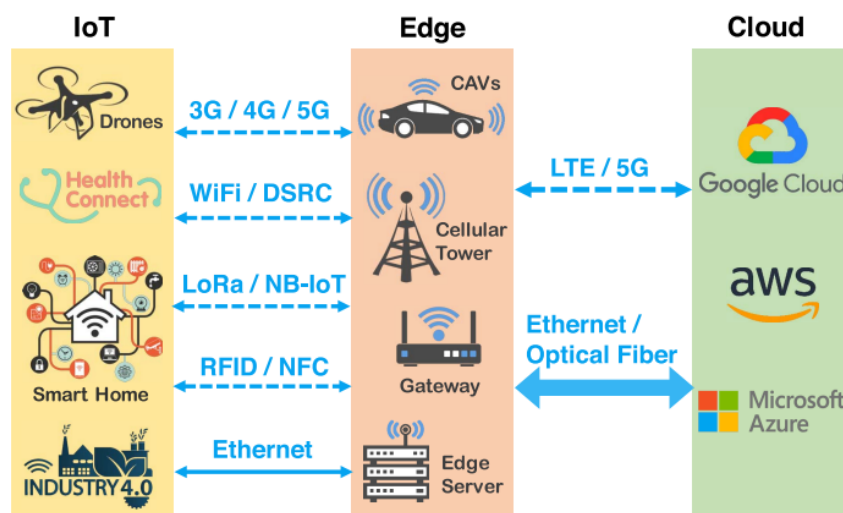


Figura 3.6: Três fronteiras do modelo computacional
Fonte: Adaptado da Ref. [72]

O conceito de *Edge Computing* já é abordado em vários artigos pelo mundo [72]. Com o tempo, o termo se popularizou, sendo impulsionado pelas tecnologias conectadas, indústrias modernas, necessidade de maior poder de pré processamento para entrada em redes neurais, descentralização da carga computacional

e outras vantagens da arquitetura proposta. Este salto é facilmente identificado na Figura 3.7, ponto de ignição para a tecnologia ter a proporção que tomou. A visibilidade desta tecnologia tem atraído inúmeras empresas de *software* por baratear alguns sistemas, propiciar maior qualidade e agilidade dos serviços prestados. Por que gastar tempo, tráfego, processamento em nuvem e outros recursos se os dados podem ser tratados de forma local e enviar para a nuvem uma informação já tratada e mais leve?

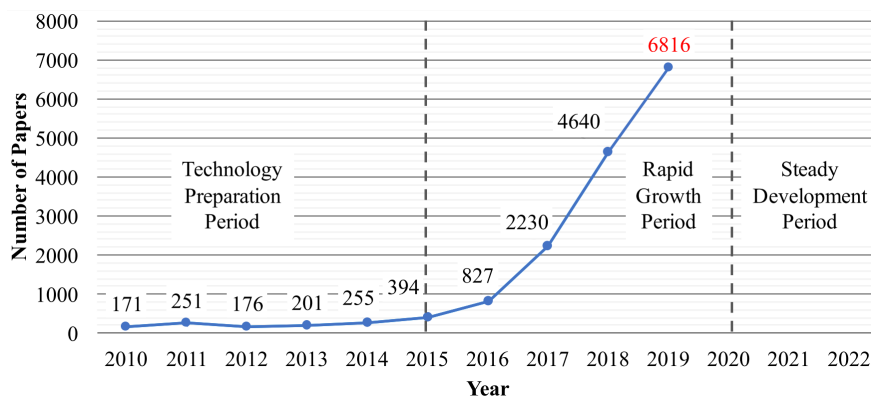


Figura 3.7: Número de artigos publicados com relação a *Edge Computing* no Google Scholar®.
Fonte: Adaptado da Ref. [72]

Um dos principais gargalos da topologia convencional que liga sensores diretamente aos servidores remotos é a alta latência quando existe a necessidade de uma ação local imediata, seja por questões de segurança, eficiência ou qualidade.

O *Edge Computing* aproveita as capacidades de armazenamento e processamento de um grande número de dispositivos IoT conectados à Internet implantados com a finalidade de fornecer uma camada intermediária entre os dispositivos finais e a nuvem. Com a presença desses “dispositivos de borda”, a carga computacional nos *data centers* é reduzida ao lidar com algumas das solicitações direcionadas à nuvem, localmente, que não requerem intervenção da nuvem. Isso, por sua vez, reduz a latência na resolução das solicitações e permite o tratamento em tempo real de um subconjunto de solicitações. Os dispositivos de borda também oferecem suporte à mobilidade devido à disponibilidade abundante e à natureza distribuída geograficamente [73].

A Tabela 3.1 mostra a quantidade de conteúdo compartilhado por vários aplicativos ou mídias sociais por segundo. Uma vez que os conteúdos compartilhados pelos aplicativos mencionados acima incluem principalmente vídeos e imagens, que são de tamanho muito grande e exigem muita largura de banda para upload. Portanto, seria mais adequado processar esse tipo de dado na borda da rede em vez de enviar dados brutos diretamente para a nuvem. Um videoclipe, por exemplo, pode ser encerrado e ajustado para uma resolução adequada na borda antes de ser carregado na nuvem [74].

	Aplicação	Conteúdo Compartilhado / Min
1	YouTube	400 horas de novos vídeos
2	Facebook	4 milhões de novas postagens
3	Twitter	350 mil Twitts
4	Instagram	2,5 milhões de novas postagens

Tabela 3.1: Dados gerados por mídias sociais por minuto

Fonte: Adaptado da Ref. [74].

Contreras *et al.* [75] afirma que a tecnologia 5G, quando totalmente implementada, mudará parte do cenário de *Edge Computing*, forçando algumas aplicações a utilizar mandatoriamente *Edge Computing*, no entanto relaxa a necessidade de uso em outras aplicações. O autor condensa essa previsão na Tabela 3.2.

Cenário	Latência (end-to-end)	Jitter	Densidade do tráfego
Automação discreta Controle de movimento	1 ms	1 μ s	1 Tbps/km ²
Automação discreta	10 ms	100 μ s	1 Tbps/km ²
Distribuição de eletricidade (média tensão)	25 ms	25 ms	10 Gbps/km ²
Distribuição de eletricidade (alta tensão)	5 ms	1 ms	100 Gbps/km ²
Sistema de transporte inteligente	10 ms	20 ms	10 Gbps/km ²

Tabela 3.2: Cenário do serviço caracterizado pelo tipo

Fonte: Adaptado da Ref. [75].

O *Edge Computing* chegou para ficar, é uma forma inteligente de melhorar o uso dos recursos (financeiros e computacionais) disponíveis para as redes de sistemas interconectados. Assim possibilitando a otimização das aplicações e crescimento tecnológico.

3.7 SEGURANÇA CIBERNÉTICA

A segurança cibernética é a coleção de ferramentas, conceitos de segurança, melhores práticas, tecnologias, que podem ser usadas para proteger o ambiente cibernético e a organização e os ativos do usuário. Os ativos da organização e do usuário incluem dispositivos de computação conectados, pessoal, infraestrutura, aplicativos, serviços, sistemas de telecomunicações e a totalidade das informações transmitidas e/ou armazenadas no ambiente cibernético [76].

Os autores Buczak e Guven [77] propõem pesquisas para o uso de métodos baseados em *Data Mining* e *Machine Learning* para detecção de invasões em sistemas cibernéticos industriais. Segundo os autores, um grande problema dessa proposta é a falta de dados rotulados (identificados) em quantidade suficiente para se treinar uma rede adequadamente. É pontuado que se torna vantajoso investir nesse tipo de identificação de dados para conceber um sistema robusto e eficiente.

Os sistemas ciberfísicos (CPSs), que são uma integração de computação, rede e processos físicos, desempenham um papel cada vez mais importante na infraestrutura crítica, no governo e na vida privada. Devido a restrições físicas, computadores, redes e sistemas embarcados podem dar origem a algumas vulnerabilidades de segurança adicionais, o que resulta em perdas de enormes benefícios econômicos ou desordem na vida social.

Como resultado, é importante investigar adequadamente a questão de segurança dos CPSs para garantir que tais sistemas estejam operando de maneira segura [78]. Por estes motivos é importante considerar fortemente os aspectos de segurança ao desenvolver um sistema embarcado ou uma aplicação. Um erro pode abrir brecha para invasões, sequestro de dados e diversos outros tipos de ataque.

Segundo Naik e Maral [79], os ataques mais comuns em sistemas cibernéticos IoT são:

1. Clonagem de dispositivos: Nesse tipo de ameaça à segurança, o hardware externo pode se conectar de uma maneira que pareça e aja como o dispositivo correto, mas não é. Esse tipo de problema pode escalar rapidamente, tornando difícil a identificação de dispositivos autênticos e clones. Dados inválidos podem sobrecarregar rapidamente os servidores, custando muito tempo e orçamento às indústrias para corrigi-los.

2. Exposição de dados confidenciais: Ocorre quando um aplicativo não protege adequadamente as informações confidenciais. As informações precisam ser criptografadas durante o trânsito. Um bom exemplo é a transferência de dados como texto não criptografado pela rede, http vs https.

3. Negação de Serviço: Um tipo de ataque em uma rede projetado para derrubar a rede gerando um grande tráfego inútil. As ameaças DoS vêm em vários tipos, com algumas visando diretamente a infraestrutura do servidor subjacente. Outros exploram vulnerabilidades em protocolos de aplicação e comunicação.

4. Acesso ou Controle Não Autorizado: Embora existam preocupações sobre a violação de muitas informações privadas, uma das maiores preocupações em torno da IoT é o acesso ou controle não autorizado. Ninguém quer que um usuário mal-intencionado ganhe o controle de seus dispositivos. Essa também é a vulnerabilidade mais frequente nas manchetes que anunciam ataques a empresas conectadas.

Da lista de ataques supra-elencada a clonagem de dispositivos é um problema que pode ocorrer ao replicarem o padrão de *broadcast* que o sensor transmite e injetar dados errados na rede. Contudo, para possibilitar este tipo de ataque é necessário ter acesso ao raio de leitura do receptor de dados e efetuar engenharia reversa no protocolo do sensor para decifrar como modificá-lo.

3.8 NORMAS, INSTRUÇÕES E REGULAMENTAÇÕES

A atenção à cadeia do frio e em especial ao que tange os medicamentos, tem ganhado grande evidência nos últimos anos em decorrência da pandemia de COVID-19. Essa notória visibilidade impulsionou a revisão de algumas instruções técnicas, atualização das normas e regulamentações por todo o mundo. Existem incontáveis documentos governamentais e não governamentais, em âmbito nacional ou internacional, que balizam as boas práticas nesta área. Alguns exemplos são: ABNT NBR ISO 13485:2016[80], RDC360[27], RDC318[81], RDC430[82],RDC497[83] 21CFR205.50[84],21CFR203.32[85], 21CFR203.36[86], 21CFR Part 11[87], 21CFR211.150[88] e CDC [89].

Estes documentos instruem e regulamentam o transporte, armazenamento, manuseio e segurança ao lidar com medicamentos. Definem procedimentos, responsabilidades e características que dispositivos eletrônicos precisam ter. Tudo para que exista o menor risco de se perder matéria prima e produtos, bem como para preservar a saúde dos pacientes.

Conforme estabelecido em resoluções da ANVISA (RDC 304 e RDC 360) é necessário efetuar registros regulares da temperatura dos itens termo sensíveis através de instrumentos calibrados. Convencionalmente isso é feito de forma manual por um funcionário que anota o valor da temperatura do mostrador do equipamento ou do termômetro em uma ficha de papel. Acompanhamento em papel é falho e não é sufi-

ciente para garantir a integridade dos itens termolábeis mais sensíveis. Por essa razão o CDC desenvolveu um manual de boas práticas para o armazenamento e manipulação de vacinas [89], neste documento de referência mundial o CDC recomenda: “Cada unidade de armazenamento de vacina deve ter um dispositivo de monitoramento de temperatura. Um histórico preciso de temperatura que reflete a temperatura real da vacina é crítico para proteger suas vacinas. Investir em um dispositivo confiável é menos caro que substituir as vacinas desperdiçadas devido à perda de eficiência causada pelo armazenamento em temperaturas fora da faixa”.

O acompanhamento manual é muito falho porque não tem ninguém monitorando a temperatura no período noturno, nos finais de semana ou fora do expediente. É justamente estes momentos que faltas de energia elétrica ou falha nos equipamentos acarretam em uma temperatura inadequada de armazenamento até que a energia volte, podendo provocar uma perda oculta em que o insumo foi perdido mas o responsável não sabe disso. Desta forma, acarreta inúmeras perdas de material e principalmente vacinas. Um estudo realizado em São José do Rio Preto - São Paulo [56] mostrou que em 2017 quase 60% das doses de vacina do município foram perdidas, normalmente causadas por falhas de cunho elétrico.

Muitas tecnologias disponíveis no mercado são ineficientes ou ultrapassadas, algumas destas necessitam que o usuário acompanhe o tempo todo a fim de encontrar variações importantes no sistema pois não incorporam alarmes, outras necessitam ser conectadas via USB para descarregar os dados internos e então avaliar o que ocorreu, algumas outras requerem um nível técnico elevado para interpretação dos dados como são as soluções baseadas em sistemas proprietários com plataformas em supervisórios de automação.

A maioria destas tecnologias tem um elevado custo de implantação e manutenção, o que assusta o cliente e o induz a continuar a monitorar a temperatura de seus produtos de forma manual e consequentemente propensa a falhas graves, pois, quando a falha acontece o tempo de identificação e reação não é suficiente para salvar os medicamentos armazenados. Mesmo com a rápida popularização das tecnologias que permitem o desenvolvimento de sistemas modernos, inteligentes e complexos por pessoas que não mais precisam ter formação superior em engenharia ou tecnologia da informação, o cenário do desenvolvimento tecnológico da cadeia do frio em especial o armazenamento de medicamentos termolábeis em seus destinos finais se mostra ainda muito incipiente, frágil e com diversas oportunidades de melhoria.

Dentre as problemáticas envolvidas neste campo estão a simplicidade de instalação e manutenção. A falta de *know-how* faz o cliente optar por contratar uma empresa para gerir este sistema. Outro fator amplamente predominante nas soluções existentes é o alto custo inerente a implantação e continuidade dos serviços de monitoramento, ponto este que se mostra aderente a motivação que leva ao baixo índice de equipamentos monitorados. Entre as soluções existentes no mercado não foi encontrada uma que se constitui de abordagens com intuito de simplificar o funcionamento da instalação, manutenção, operação, calibração e tráfego de dados ou qualquer iniciativa de código aberto com uso de edge computing e IoT para tal finalidade.

Pela avaliação supracitada, este se mostra um tema promissor para a elaboração de uma pesquisa detalhada que abre espaço para o desenvolvimento de uma proposta tecnológica com finalidade de preencher a lacuna existente, desenvolvendo métodos que simplifiquem e regatem este cenário isocronicamente, levando tecnologias mais modernas e eficientes para atender à demanda reprimida pelos altos preços praticados e baixo nível tecnológico do segmento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Alguns dos objetivos deste trabalho são referentes ao baixo custo da solução proposta e a simplicidade agregada. Desta forma, houve uma extensa busca por tecnologias que uma vez condensadas seriam capazes de entregar estes aspectos. Uma vez obtido este resultado, será analisada a questão da maturidade tecnológica, disponibilidade e viabilidade técnica.

Os componentes selecionados para o projeto foram previamente estudados em suas especificações técnicas e características intrínsecas às suas tecnologias, visando a garantia da correta integração para minimizar a possibilidade de erros e mudanças de percurso. Sendo assim, foram previamente investigados os protocolos de comunicação, níveis lógicos operacionais, faixas de leitura, tolerâncias e demais características abordadas neste estudo. Para a corrente pesquisa foram adquiridos na China, através do site aliexpress.com, os seguintes componentes:

- M5 StickC (*Hardware* de baixo custo);
- Sensores de temperatura BLE;
- Fonte de alimentação 5 V.

4.1.1 M5 StickC

Este produto, que aparece na Figura 4.1, é fabricado pela M5 Stack® (m5stack.com), uma empresa de origem chinesa que traz como proposta a criação de produtos inovadores que aceleram a velocidade de desenvolvimento e permitem uma prototipagem com alto nível de qualidade. Assim, já se consideram líderes do segmento IoT por conter soluções robustas, acessíveis e de código aberto.

O M5 StickC, um de seus produtos mais famosos pela qualidade, poder e acessibilidade, no esquema disposto na Figura 4.2 dispõe de tais características, como o uso de um micro controlador ESP32 fabricado pela Espressif (espressif.com) que trabalha a 240 MHz, tem 520 KB de SRAM, comunicação Wi-Fi e Bluetooth®, dotado de uma memória flash com 4 MB, LCD colorido de 80 x 160 pixels, dois botões físicos, LED, acelerômetro e giroscópio totalizando 6 eixos, emissor infravermelho, entradas digitais e analógicas, microfone, RTC – Real Time Clock, bateria de 97 mAh, pesando aproximadamente 15 g, medindo 48 x 24 x 14 mm e custando \$ 9,95 (Figura 4.1).



Figura 4.1: Preço do M5 no momento da compra.
 Fonte: Adaptado da Ref. [90]



Figura 4.2: Diagrama de funcionalidades do M5 Stick-C
 Fonte: Adaptado da Ref. [90]

Este é um produto voltado para o desenvolvimento de soluções IoT que dispõe de uma infinidade de módulos expansivos, agregando mais funcionalidades e mais poder ao equipamento que é mundialmente conhecido por conter a maior quantidade de tecnologias por cm³ em sua categoria. Por este motivo ele leva a fama de Finger Computer, suas dimensões físicas se assemelham a um dedo polegar.

Outro ponto amplamente favorável ao equipamento em questão é a facilidade de prototipagem. Ele possui boa integração com interfaces de desenvolvimento mundialmente conhecidas como o Arduino. Isso facilita a prototipagem rápida, validação lógica e construção da solução. Outra facilidade é a ampla disponibilidade na Internet de material técnico com exemplos, tutoriais e foruns de discussões, o que gera um enorme engajamento social e por consequência a melhoria contínua do produto por parte do fabricante.

Este produto também fez parte do estudo para validação da compatibilidade e continuidade/longevidade da corrente proposta. Este conjunto de fatores motivaram a decisão pela utilização deste equipamento IoT, que possui o melhor custo vs benefício do mercado, poder e tecnologia mais que suficiente para efetuar as comunicações necessárias no desenvolvimento, ler, processar, armazenar e enviar os dados para servidores externos ou internos, justificando o M5StickC como o candidato com melhor aderência ao proposto.

4.1.2 Sensores de temperatura BLE

O sensoriamento é o coração do projeto, o que torna sua escolha um item deveras importante, principalmente devido à sua responsabilidade na fidelidade das leituras, sendo essa razão mais que suficiente para que fosse adotado um cuidado especial e mais conservador no procedimento de escolha. Desta forma, foram adquiridos cinco modelos diferentes de sensor que foram escolhidos segundo as seguintes premissas:

1. Dispor de conectividade Bluetooth®;
2. Alimentação concebida por bateria;
3. Dimensões inferiores a 50 x 50 mm;
4. Alcance de funcionamento superior a 10 m;
5. Preço inferior a \$ 10,00;
6. Ter certificações (RoHS e FCC);
7. Disponibilidade;
8. Estética;
9. Procedência de empresa conhecida;
10. Longevidade;
11. Praticidade;
12. Simplicidade.

Tendo em vista os aspectos referentes a facilidade de instalação, manutenção, sustentação em quedas de energia, alinhamento com as novas tecnologias, inovação e simplicidade foi decidido optar por um sensor sem fio, alimentado por pequenas pilhas que fornecem autonomia de, ao menos um ano, munidos de tecnologia BLE - *Bluetooth® Low Energy*. A intenção de buscar produtos que tenham duração de bateria de um ano foi em aproveitar a remoção anual dos sensores para calibração, conforme preconiza a ANVISA. A periodicidade de calibração dos sensores é anual. Em proveito desta oportunidade já seria efetuada a troca preventiva das baterias. A busca dos sensores resultou em uma grande quantidade de opções, das mais diversas marcas, modelos e formatos. Seguindo as especificações supracitadas, os cinco modelos apresentados na Figura 4.3 foram adquiridos para testes e definição da melhor opção. Como algumas informações não estavam disponíveis nos anúncios de venda dos respectivos fabricantes, não foi possível validar todas as exigências, portanto foi necessário a aquisição dessa quantidade de opções na expectativa de que essa avaliação pudesse ser feita posteriormente.



Figura 4.3: Sensores adquiridos para teste
Fonte: Próprio autor.

Para facilitar o entendimento do cumprimento das características e exigências definidas, foi criada a tabela 4.1, a qual mostra cada produto e sua adequação aos pressupostos firmados.

		EXIGÊNCIAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SENSORES	1	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	2	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	3	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	4	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	5	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM

Tabela 4.1: Diagrama comparativo dos sensores adquiridos

Fonte: Próprio autor.

1. Seven Like (WS07);
2. Oria (WS02);
3. Sigma Wit(T201);
4. Xiaomi (LYWSD03MMC);
5. Sensor Chinês genérico.

Entre os modelos estudados, validados e comprados, foi optado por utilizar o modelo 1, devido a melhor relação custo Vs benefício e por atender aos requisitos da proposta. Este sensor se chama WS07, é fabricado pela Seven Like (seven-like.com), é alimentado por uma bateria modelo CR2477 de 3 V que lembra bastante uma moeda, ele tem dimensões de 38 mm diâmetro e 16 mm de largura, efetua leituras entre -20 e 60 °C com um erro de $\pm 0,5$ °C e consta também com um sensor de umidade de 0-100% que não será utilizado neste estudo, tem interface com aplicativo iOS ou Android, fornecidos pelo fabricante. O uso concomitante do aplicativo com o sistema de telemetria aqui proposto, não resulta em qualquer incompatibilidade. Este sensor dispõe de uma memória interna de até 100 dias para caso ocorra algum problema com o sistema, os dados podem ser recuperados diretamente do sensor através do aplicativo do fabricante. Essa recuperação dos dados poderia ser feita pelo equipamento de telemetria, contudo, o protocolo de comunicação responsável pelo acesso aos dados internos não foi disponibilizado pelo fabricante, o que não

inviabiliza a possibilidade de efetuar engenharia reversa e descobrir este protocolo em atualizações futuras. Mais detalhes da composição interna do sensor pode ser apreciado na Figura 4.4. O sensor foi submetido a calibração, e seu certificado se encontra em anexo, mesmo que para este estudo não houvesse essa obrigatoriedade. Assim foi procedido para garantir a fidelidade das informações expostas e analisadas, bem como o suporte no processo heurístico que se faz necessário em todo procedimento científico, permitindo rigor técnico e experimental.

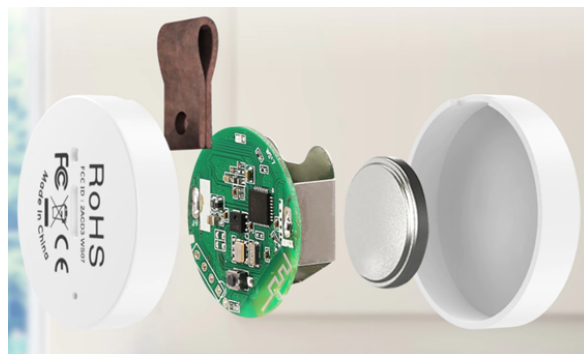


Figura 4.4: Ilustração interna do sensor escolhido.

Fonte: Adaptado da Ref. [91]

4.1.3 Arduino

O Arduino é uma plataforma código aberto para desenvolvimento fácil e rápido de softwares voltados para sistemas embarcados (*hardware*) de inúmeros fabricantes. Originalmente concebida em Ivrea na Itália com finalidade educacional, essa ferramenta utiliza a linguagem de programação “C”. Desta forma o Arduino torna transparente a programação de controladores mais complexos com tecnologia ARM e permite que o usuário abstraia toda essa parte ligada ao aprendizado de uma nova IDE, linguagem ou sistema para focar em produzir algo inovador e funcional. Essa simplicidade fez com que a plataforma crescesse num ritmo contínuo. Com a ajuda dos desenvolvedores isso foi ainda mais rápido e sólido, possibilitando dar passos largos e muito bem consolidados, fazendo da simplicidade, praticidade e funcionalidade as suas principais armas. Estes pontos fazem com que até hoje a plataforma seja a mais utilizada por desenvolvedores, educadores, curiosos ou amadores [92].

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A seleção, aquisição e desenvolvimento dos materiais e software para essa aplicação será feita inteiramente em laboratório de pesquisa de sistemas embarcados com ajuda de ferramentas básicas para análise eletrônica, como multímetro, osciloscópio e analisadores lógicos. Devido à falta de especificações de algumas interfaces, foi necessário realizar a integração do sistema através da observação dos protocolos de comunicação, caracterizado como *sniffing*.

A atual pesquisa visa o desenvolvimento de uma solução específica para o monitoramento da temperatura de medicamentos. Portanto, será realizado um estudo exploratório acerca do funcionamento dos

equipamentos utilizados na composição da solução indicada, para conseguir a validação do funcionamento do sistema.

Os primeiros testes e dados coletados serão feitos em laboratório, em ambiente controlado, para obter dados iniciais objetivando estabelecer e consolidar premissas para construir os protocolos de comunicação e desenvolver as rotinas de coleta, processamento, análise e envio de informações. Posteriormente, uma análise de coerência será efetuada em um refrigerador residencial, o qual terá como objetivo a aferição do perfeito funcionamento do sistema.

Por fim, visando qualificar o sistema num ambiente real, ele será instalado em um refrigerador industrial, específico para armazenamento de medicamentos, por um período de ao menos 24h. Após o teste em campo é imprescindível analisar as leituras, confrontar as mesmas com algum equipamento confiável e promover correções caso necessário.

Com a etapa de validação do funcionamento das partes sensíveis finalizada, se inicia a etapa de finalização da proposta, condensando as funções criadas para leitura e envio das informações da fase de testes e elaborando as funções de alarme, configuração, comunicação com o WhatsApp® e demais funções responsáveis pelas validações, conversões e estabilidade da solução. Para facilitar o entendimento da proposta final foi elaborada a Figura 4.5, que mostra de forma simples o escopo total do sistema.

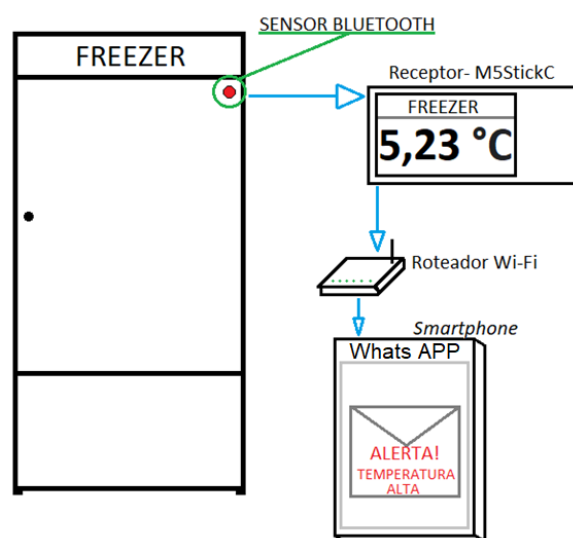


Figura 4.5: Big Picture da solução almejada
Fonte: Próprio autor.

4.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

Foi iniciada a etapa de codificação do M5StickC na tentativa de reconhecer um dispositivo BLE. Esse desenvolvimento foi feito utilizando a plataforma Arduino. Foi possível fazer com que o M5StickC reportasse um dispositivo encontrado, transmitindo as informações através de sua porta USB. Em uma primeira leitura de sucesso, o M5StickC reportou que identificou o sensor, exibindo a seguinte mensagem de recepção: ThermoBeacon, Address: fa:ac:00:00:01:10, manufacturer data: 1000000010010000ac-

faeb0c080212042e030000.

Através deste sinal, foi possível descobrir o endereço MAC do equipamento e o nome que ele exibe. Avaliando essa mensagem sob diversas óticas, foi possível encontrar alguns pedaços que variavam, foi neste instante que empiricamente foi definido que estes dados poderiam ser palavras de 16 bits para poder comportar uma variável de temperatura com a precisão que o fabricante indicava. Seguindo essa linha, a mensagem foi segmentada como mostrado abaixo:

1000-0000-1001-0000-acfa-eb0c-0802-1204-2e03-0000

Ao analisar a mensagem recebida é possível verificar que nos bytes 13 e 14 comportavam a temperatura no formato *big endian* e em formato hexadecimal (0802). Com uma simples operação de deslocamento binário seguido da adição do byte menos significativo para transformar o dado em *little endian* e posteriormente a conversão para base decimal. Assim é possível obter a temperatura instantânea do sensor, o que pode ser traduzido em uma única linha de código em "C".

```
1 (byte_14 + (byte_13 << 8)) / 16.0;
```

Neste caso, é possível verificar que o protocolo comporta dados com mais casas decimais tanto na parte mais significativa quanto na sessão menos significativa. Porém o sensor faz uso somente de uma parte deste espaço, pois existe a limitação de suas especificações funcionais.

5 RESULTADOS

5.1 SOFTWARE

Para obter dados confiáveis, alguns filtros para valores de erro e situações adversas foram implementados para eliminar as informações indesejadas, como o caso da exposição ao sensor fora da sua faixa de trabalho. Para fins didáticos, a Figura 5.1 elucida o procedimento feito para converter os dados brutos recebidos do sensor em informação relevante.

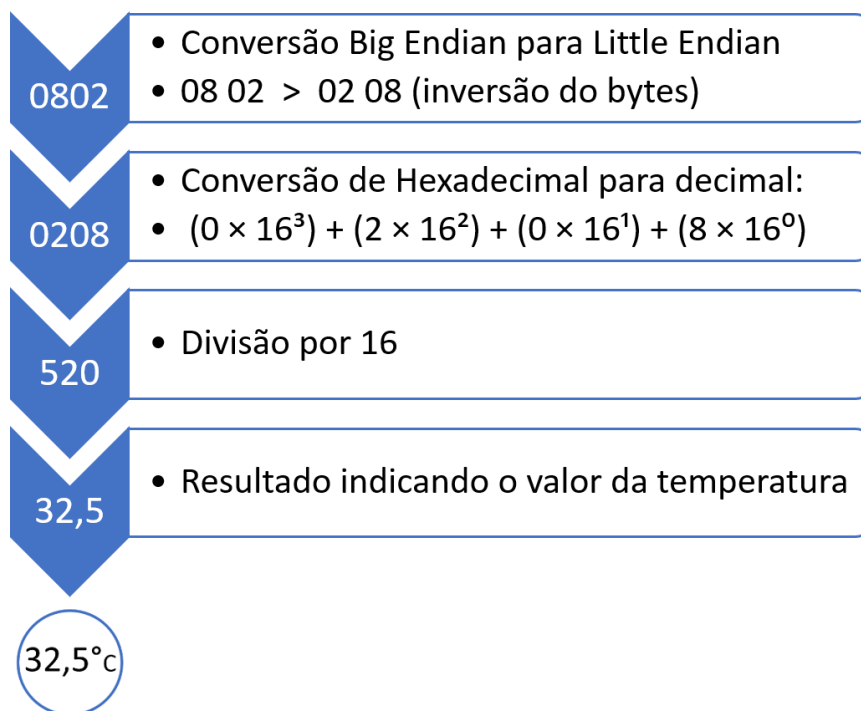


Figura 5.1: Conversão dos dados transmitidos pelo sensor
Fonte: Próprio autor.

Tendo a leitura da temperatura pronta, o próximo passo foi exibir essa informação no LCD do M5StickC para que além de facilitar o desenvolvimento, servisse de apoio ao usuário. O gráfico foi criado no *software* Paint do sistema operacional Windows 10 e pode ser visto na 5.2. A moldura foi concebida com a finalidade de tornar um produto mais apresentável e transmitir a informação local ao usuário, conforme a Figura 5.2.

Posteriormente foi feita a utilização do *software LCD Image Converter* [93] (Figura 5.3) para converter a imagem que estava em formato .PNG nas dimensões e no formato digital exigido pelo LCD do M5StickC. Este *software* faz a conversão da imagem em um vetor de pixels (Figura 5.4) já em formato interpretável pelas funções da biblioteca do fabricante. Isso agilizou bastante o processo de criação deste *design* que foi imediatamente reconhecido e exibido com êxito no LCD do M5StickC.

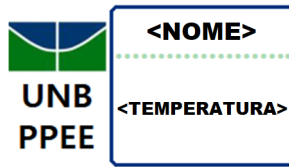


Figura 5.2: Imagem impressa no LCD do M5 Stick-c
Fonte: Próprio autor.

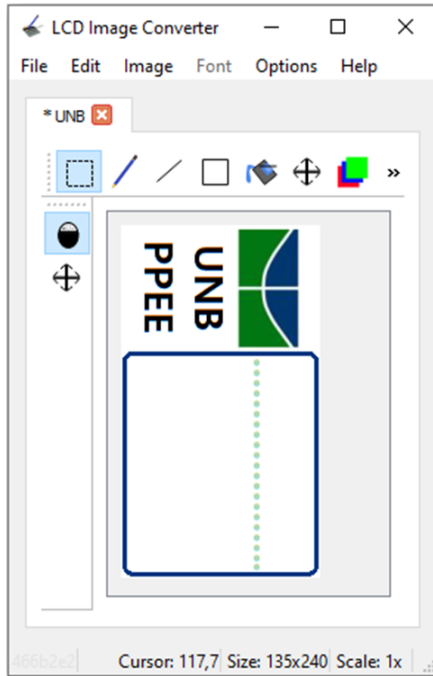


Figura 5.3: Software de conversão de imagem em array de bytes
Fonte: Próprio autor.

O passo seguinte foi simplesmente utilizar as funções padrões de impressão de texto no LCD para completar os dois espaços em branco da imagem com informações relevantes. O primeiro e menor retângulo foi responsável por exibir o nome do equipamento que está sendo monitorado e o retângulo dotado de maior área foi preenchido com a temperatura do referido equipamento, como pode ser visualizado na Figura 5.5.

```
static const uint8_t image_data_Image[300] = {
  0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
  0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
  0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,
};
const tImage Image = { image_data_Image, 10, 10,
  8 };

```

Figura 5.4: Array de uma imagem de 10 x 10 pixels
Fonte: Próprio autor.



Figura 5.5: M5 Stick-c lendo os dados, armazenando e mostrando no LCD
Fonte: Próprio autor.

Na Figura 5.6, é possível verificar a leitura simultânea de dois sensores diferentes, procedentes de processos de comunicações distintos, validando a possibilidade de integrar sensores de modelos diferentes com a finalidade de atender à demandas específicas que possam surgir no futuro. Na Figura 5.7 é possível apreciar o design, aparência física e dimensões dos principais componentes do sistema, o M5StickC e o sensor WS07 em pleno funcionamento.



Figura 5.6: Dois sensores de fabricantes distintos sendo lidos simultaneamente pelo M5 Stick-C
Fonte: Próprio autor.

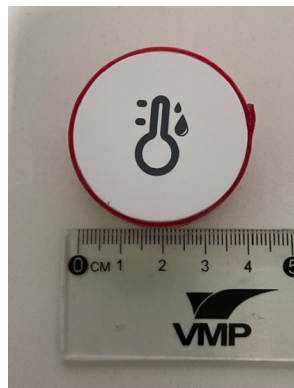


Figura 5.7: Sensor WS07 em comparação com régua
Fonte: Próprio autor.

Após o processo de comunicação com o sensor funcionando corretamente, foi necessário partir para a validação do processo de leitura para formar uma série temporal com taxa de amostragem de 0,1 Hz (mesma taxa do sensor do equipamento sob estudo). Para proceder com este primeiro teste foi utilizada uma geladeira residencial convencional *frost free* que utiliza um ciclo de refrigeração muito similar a outros equipamentos que armazenam material refrigerado. Após algumas horas neste teste, foi constatado que existia coerência do comportamento da temperatura com o ciclo de refrigeração do equipamento monitorado. Coerência essa concebida devido a observação do momento de acionamento do compressor da geladeira.

Partindo do pressuposto do funcionamento coerente do sensor em teste efetuado na geladeira residen-

cial, foi necessário validar essa informação em um ambiente aderente à proposta e avaliar por um período maior. Essa necessidade fez com que fosse contatada uma clínica oncológica localizada no município de Salvador – BA, para que o sistema pudesse ser colocado no tipo de ambiente para o qual foi idealizado, assim podendo monitorar um dos equipamentos industriais responsáveis por armazenar material termolábil. A clínica autorizou a instalação do sensor para monitoramento do equipamento da marca Indrel Scientific®, conforme a Figura 5.8 e Figura 5.9. O equipamento já detém um sistema de monitoramento de temperatura validado e calibrado que foi disponibilizado para efeito comparativo.



Figura 5.8: Painel do freezer Indrel Scientific
Fonte: Próprio autor.



Figura 5.9: Visão geral do armazém de medicamentos oncológicos
Fonte: Próprio autor.

Com o cenário adequado para efetuar um estudo robusto, surgiu a necessidade de transmitir as leituras de temperatura para um servidor na nuvem, evitando possíveis problemas de leitura durante o experimento, pois o acesso era curto e restrito, não havia margem para erro durante o experimento. Com este desafio, foi necessário efetuar conexão com um roteador Wi-Fi para provimento de acesso à Internet. Essa funcionalidade foi desenvolvida e por se tratar de uma das funções mais básicas do M5StickC, a conectividade foi realizada e testada demandando pouco tempo de desenvolvimento.

A busca culminou no endereço dontpad.com, que se trata de um site gratuito o qual disponibiliza a criação, edição ou exclusão de um "bloco de notas"*on-line*.

No instante que foi encontrado o endereço eletrônico supracitado uma questão surgiu: Se um *browser*

consegue fazer inserção de texto simples neste site o M5StickC também pode conseguir.

Em uma análise feita no código fonte da página através de uma inspeção simples, se determinou que se fazia uso de um método POST HTTP para enviar os dados do navegador para o servidor do site. Este método foi replicado em uma função dentro do M5StickC.

Então tudo foi sintetizado numa função de envio de dados para o servidor. O primeiro parâmetro é o que se quer acrescentar ao bloco de notas e o segundo é o endereço que este bloco de notas se encontra:

```
1 byte appendStringDontpad(String data, String address)
```

O coração desta função é a estrutura do POST HTTP que é o responsável por enviar uma mensagem no formato que o servidor possa entender e interpretar como válida, para isso foi preciso seguir uma série de padrões que regem o protocolo HTTP, culminando no seguinte formato:

```
1 POST /address HTTP/1.1
2 Host: www.dontpad.com
3 Content-Type: application/x-www-form-urlencoded; charset=UTF-8
4 Content-Length: String(data.length()+bufferRX.length()+5)
5
6 text=bufferRX+data
```

Este formato de transferência de dados é um padrão de comunicação utilizado na camada de aplicação segundo o modelo OSI, é o padrão universal para comunicação na WEB. Com essa implementação foi possível o monitoramento e armazenamento remoto dos dados em uma série temporal. E essa solução possibilitou a instalação do equipamento na clínica oncológica. Em visita à clínica, foi possível ter acesso à rede Wi-Fi e proceder com a instalação. O sensor foi instalado próximo à sonda de temperatura do sistema de telemetria do equipamento, como está evidenciado na Figura 5.10. Essa proximidade foi estabelecida com a finalidade de reduzir a variação térmica devido ao gradiente calorífico no interior do refrigerador.



Figura 5.10: Visão do sensor instalado dentro do freezer
Fonte: Próprio autor.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS

Após o registro da temperatura interna do freezer de armazenamento de insumos termolábeis da clínica oncológica no período de 24h com ciclos amostrais de 10 minutos, se iniciou a etapa de organização e análise dos dados obtidos neste decurso. Os pontos coletados foram planilhados e confrontados com o sensor de referência do aparelho, o que culminou em alguns gráficos e na seguinte análise.

Na Figura 5.11 é possível observar a variação da temperatura no interior do equipamento analisado, resultado este advindo das leituras do sensor WS07 ao longo das 24h monitoradas, culminando em 145 amostras (linha laranja). A primeira informação relevante é que o equipamento trabalhou sempre dentro da faixa de temperatura aceitável para o cenário (2-8 °C), o segundo fator observado permeia o ciclo de refrigeração de equipamentos refrigeradores, este ciclo termodinâmico de sistema de refrigeração por compressão de vapor é normal em equipamentos refrigeradores [94], o que proporciona uma evidente e característica curva de variação térmica em forma de ondas nos gráficos das leituras, este fenômeno é melhor detalhado na Figura 5.12, isso significa que o sensor se mostrou responsivo às variações de temperatura que o equipamento promove.

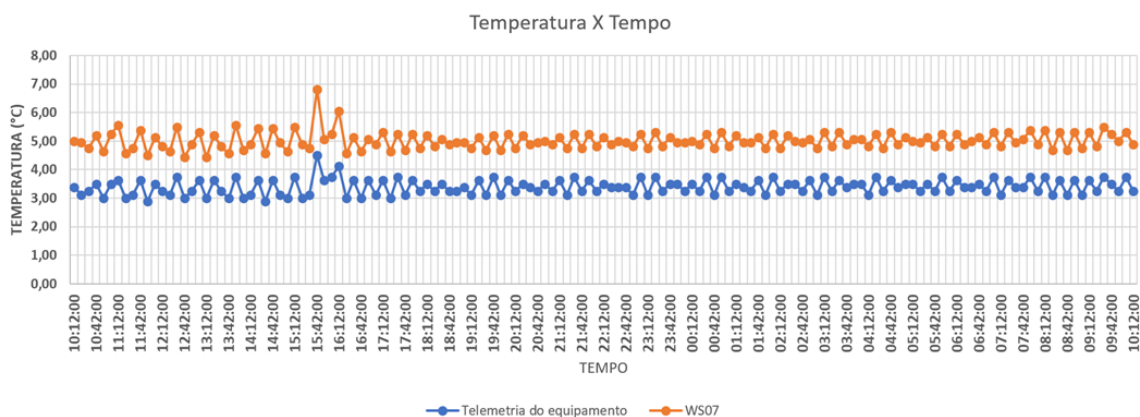


Figura 5.11: Gráfico do WS07 junto com o sensor de telemetria do equipamento

Fonte: Próprio autor.

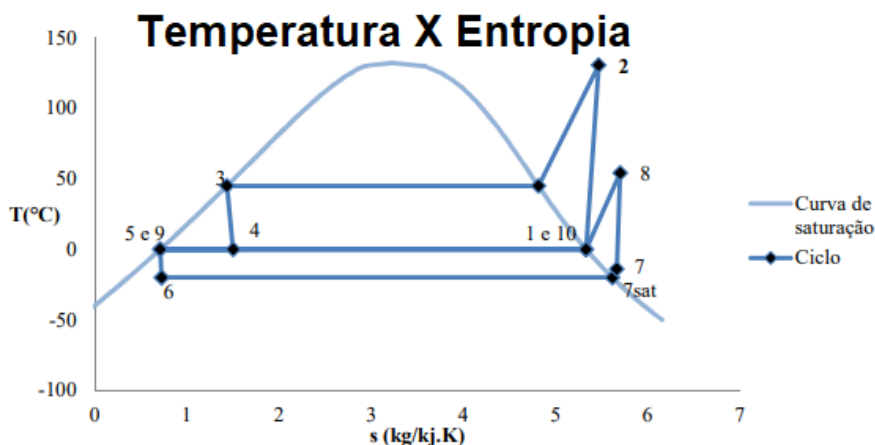


Figura 5.12: Diagrama da temperatura em função da entropia do ciclo de refrigeração

Fonte: Adaptado da Ref. [94]

Como pode ser apreciado na Figura 5.11, a leitura do sensor responsável pela telemetria do equipamento Indrel no mesmo instante que o sensor WS07, foi realizando a mesma quantidade de amostras no tempo (linha azul). Guarnecido destas informações é possível inferir empiricamente que o comportamento amostral das duas curvas de temperatura é similar. A frequência amostral dos sensores foi alinhada para uma leitura a cada 10 minutos.

A similaridade entre os gráficos supracitados levou à necessidade de os confrontar em um mesmo perfil dimensional, o que mais uma vez ressaltou a confluência entre as informações coletadas no mesmo equipamento e por sensores distintos. Essa assinatura comportamental de grande equivalência é um excelente indício da coerência dos dados lidos.

Contudo, existe um evidente deslocamento vertical das informações apresentadas, assim levando à análise da causa deste deslocamento que resultou nos seguintes pontos:

- A localização dos sensores, por mais que estejam próximos existe um gradiente térmico entre eles;
- O certificado de calibração do sensor WS07 aponta a incerteza combinada de valor inferior a $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em calibração efetuada a $-2,65\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que também influenciou na diferença observada;
- Outro ponto importante é a tolerância/incerteza de cada um dos sensores, que uma vez combinadas pode gerar alguma diferença.

O conjunto dos cenários descritos, é a principal causa provável desta diferença de temperatura entre as unidades. Discrepância essa que em breve análise da diferença entre os pontos de coleta foi determinada como sendo de em média $1,62\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para efeito comparativo, foi efetuado um *offset* de mesma magnitude em todos os pontos de leitura do sensor WS07. Após a alteração, as informações foram plotadas em nova comparação, como mostra a Figura 5.13, ressaltando que realmente se tratava de uma diferença intrínseca às características supracitadas, o que revela a fidelidade e a correta variação lida pelo sensor WS07 no cenário ao qual foi submetido.

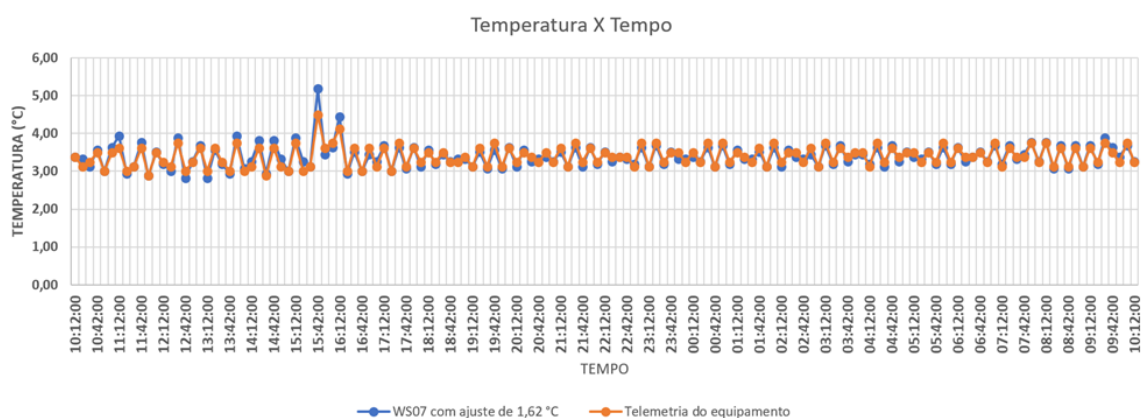


Figura 5.13: Gráfico do WS07 (com *offset*) junto com o sensor de telemetria do equipamento

Fonte: Próprio autor.

Após a análise e validação da coerência, qualidade e funcionalidade do sensor, foi possível inferir que houve êxito na escolha do mesmo. Porém, o custo da distância euclidiana das mudanças de temperatura,

são normalmente diferentes aos tradicionais métodos de avaliação visual, por este motivo é necessário uma avaliação estatística para corroborar e validar as informações de aparente similaridade.

5.2.1 Análise estatística dos sensores

Com o objetivo de analisar a medição de temperatura dos dois termômetros diferentes em mesma geladeira de vacina, será utilizado um banco de dados com a medição de ambos termômetros em um intervalo de 24 horas. Além de uma análise descritiva detalhada para que seja possível entender como as temperaturas se distribuem nos diferentes termômetros, serão aplicados também testes para verificar a existência de diferença entre as temperaturas médias e de variação nos termômetros. É importante ressaltar que todas as análises e gráficos foram executadas com o auxílio do *software* R versão 4.2 [95].

5.2.1.1 Análise descritiva

Tendo como objetivo observar tendências nas temperaturas registradas pelo Termômetro WS07 e pelo Termômetro do freezer, as medições foram devidamente ordenadas de acordo com o dia e horário registrado. Assim, obteve-se o gráfico de linhas apresentado anteriormente na Figura 5.11

A maior observação a ser feita a partir da visualização gráfica é que as temperaturas parecem variar semelhantemente nos dois termômetros, de forma que é possível observar no pico, entre 15h40 e 16h15 do primeiro dia de testes, que, em ambos, a elevação de temperatura ocorre similarmente. Assim, com intuito de observar detalhadamente o comportamento da variável temperatura de acordo com cada termômetro, tem-se a seguinte análise:

O boxplot (Figura 5.14) mostra, com clareza, que o Termômetro WS07 registrou temperaturas mais altas que o Termômetro do freezer. Percebe-se também a existência de duas temperaturas altas discrepantes registradas pelo Termômetro WS07, e uma pelo Termômetro do freezer. A discrepância no Termômetro do freezer (4,5 °C) representa a maior temperatura registrada por esse termômetro e se aproxima bastante da menor temperatura registrada pelo Termômetro WS07 (4,44 °C).

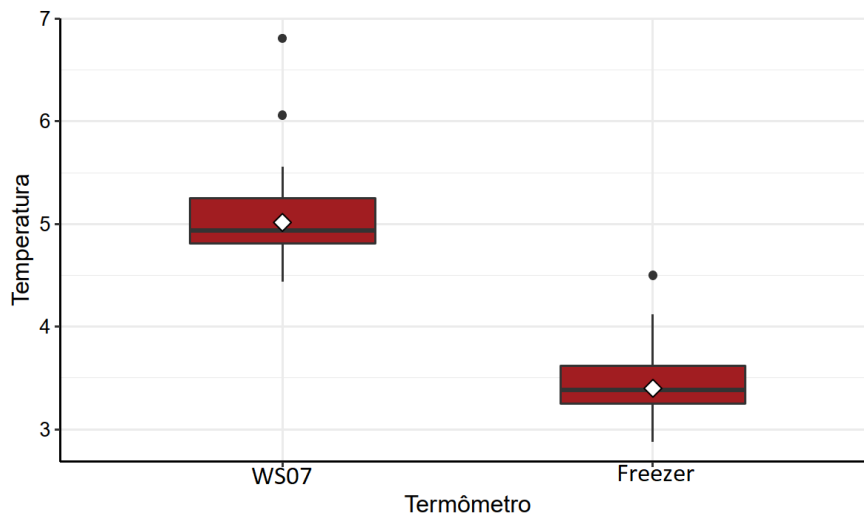


Figura 5.14: Boxplot da Temperatura por Termômetro
 Fonte: Próprio autor.

Além disso, existem duas medidas que se destacam entre as estatísticas da Tabela 5.1: as médias e os desvios padrões. É possível observar que a média de temperaturas registradas pelo Termômetro WS07 é 1,61 °C maior que a média registrada pelo Termômetro do freezer. No entanto, examinando o desvio padrão, há uma sugestão de que as temperaturas em ambos termômetros variam similarmente, assim como sugeri a análise das temperaturas ao longo do tempo por termômetro.

Estatística	WS07	Freezer
Média	5,01	3,4
Desvio Padrão	0,30	0,26
Mínimo	4,44	2,88
1° Quartil	4,81	3,25
Mediana	4,94	3,38
3° Quartil	5,25	3,62
Máximo	6,81	4,5

Tabela 5.1: Medidas resumo da Temperatura por Termômetro

Fonte: Próprio autor.

5.2.1.2 Comparação das temperaturas médias

Buscando confirmar as observações feitas a partir dos gráficos e das medidas de posição da Tabela 5.1, de que realmente há diferenciações na média de temperatura por termômetro, tem-se como hipóteses:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{A média de temperatura é a mesma para os dois termômetros.} \\ H_1 : \text{Existe diferença entre as médias de temperatura.} \end{array} \right.$$

Para selecionar o teste adequado de comparação de médias foi realizado um Teste Shapiro-Wilk [96,97] para normalidade (Tabela 5.1), que ofereceu evidências para afirmar que os dados não podem ser descritos por uma distribuição normal. Assim, como temos que a temperatura registrada por um termômetro não depende da temperatura registrada pelo outro (variáveis independentes), o teste adequado é o Teste de Mann-Whitney [97,98], apresentado a seguir:

Variáveis	Teste de Mann-Whitney	Decisão do teste
Temperatura - WS07	< 0,001	Rejeita H_0
Temperatura - Freezer		

Tabela 5.2: P-valor do teste de comparação de médias (Teste de Mann-Whitney) entre as variáveis temperatura e termômetro

Fonte: Próprio autor.

A tabela 5.2 indica um p-valor muito baixo, o que corrobora as informações observadas na análise descritiva das temperaturas por termômetro: a média de temperatura é diferente de acordo com o instrumento utilizado.

5.2.1.3 Comparação da variação das temperaturas

Para verificar se realmente as variações de temperatura ocorrem de forma similar nos dois termômetros, tem-se como hipóteses:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{As temperaturas variam igualmente nos dois termômetros.} \\ H_1 : \text{A variação de temperatura é diferente para cada termômetro.} \end{array} \right.$$

Novamente, tendo em vista que os dados não são adequadamente descritos por uma distribuição normal, um dos teste apropriado para verificar igualdade de variâncias é o Teste de Levene [99][97], indicado a seguir:

Variáveis	Teste de Levene	Decisão do teste
Temperatura - WS07	0,56	Não rejeita H_0
Temperatura - Freezer		

Tabela 5.3: P-valor do teste de igualdade de variâncias (Teste de Levene) entre as variáveis temperatura e termômetro

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 5.3 indica um p-valor maior que o nível de significância considerado para decisão do teste (0,05), assim confirma-se que em ambos termômetros a variação de temperatura é muito similar.

Foi possível atestar que o Termômetro WS07 registra temperaturas maiores que o Termômetro do Freezer, de modo que as médias das temperaturas são diferentes em cada medidor. A diferença média de temperatura entre ambos os medidores foi de aproximadamente 1,6 °C. Por mais que a temperatura média tenha se mostrado diferente, foi possível observar, tanto nos gráficos quanto por meio de testes estatísticos que as variações das temperaturas foram semelhantes. Portanto, estatisticamente os sensores tem comportamento equivalente. Desta forma, fica validada a qualidade do sensor adquirido, reafirmando sua adequação à resolução do problema proposto na pesquisa.

5.3 CONSOLIDAÇÃO DA SOLUÇÃO

Para conceber a solução proposta, algumas etapas de implementação foram seguidas, pois o algoritmo utilizado até o momento foi destinado para testes e validações. A arquitetura do *software* final é composta por alguns módulos, são eles:

- Módulo de tratamento e leitura *Bluetooth*;
- Módulo de avaliação e armazenamento das leituras;
- Módulo de envio de alarmes ao WhatsApp®;
- Módulo de envio de dados para o Google Sheets®;
- Módulo de gerenciamento do LCD.

A arquitetura escolhida permite o processamento e interpretação local dos dados lidos. Nos casos que ocorrerem inconsistências, se conecta na internet para envio de um alerta ao responsável.

5.3.1 Armazenamento remoto

Para gozar da função de armazenar remotamente os dados coletados, foi desenvolvida uma função de integração com o Google Sheets®. Essa implementação foi efetuada no hardware M5Stick-C e na plataforma de customização do Google Sheets®. O equipamento de monitoramento recebeu somente uma função de conexão ao servidor da Google® e posteriormente efetuar uma requisição HTTP para o endereço da planilha desejada, conectando e enviando os dados para serem processados. De forma similar ao efetuado anteriormente para enviar dados ao dontpad.com. O Google Sheets® recebe as informações em seu software customizado para automatizar (chamado de: App scripts) o preenchimento da planilha com os dados dos sensores. O software personalizado de automação desenvolvido está representado na Listagem 5.1:

Listing 5.1: Código para App Scripts do Google Sheets® para recepção e organização dos dados.

```
1 var id = '1IT_8wqAtcQTMZxxxxxxYO5MFlc3xxxAOo'; // ID da tabela
2
3 function doGet(e) { // GET dos parametros
4
5   if (e.parameter == undefined) { // Faltam parametros
6     result = 'Falha nos parametros';
7   }
8   else {
9     var sheet = SpreadsheetApp.openById(id).getActiveSheet();
10    var newRow = sheet.getLastRow() + 1; // Ultima linha escrita +1
11    var rowData = [];
12
13    //PARA DATA E HORA EM COLUNAS SEPARADAS
```

```

14     var date = new Date();
15     rowData[0] = Utilities.formatDate(date, "America/Sao_Paulo", "dd/MM/yyyy")
16     rowData[1] = Utilities.formatDate(date, "America/Sao_Paulo", "HH:mm:ss")
17
18     for (var param in e.parameter) { //formato 1_xxx=xxx&2_yyy=yyy&3_zzz=zzz
19         var value = e.parameter[param];
20         rowData[parseInt(param)+1] = value;//Pula as 2 primeiras colunas
21     }
22
23     var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
24     newRange.setValues([rowData]); //Preenche a tabela com os valores recebidos
25     var result = 'Ok'// Retorno
26 }
27
28 return ContentService.createTextOutput(result);
29 }

```

Deste modo, o *script* do Google Sheets® recebe as informações enviadas pelo M5Stick-C, separa os dados e os aloca em um vetor de temperaturas, depois o *script* insere o *timestamp* de cada dado de acordo com o *time zone* do Brasil, separando uma coluna para data e outra para hora. Após a rotulagem e organização dos dados recebidos ainda na memória volátil do *script*, as informações são inseridas na tabela associada ao código por meio de um ID, a inserção dos dados são feitas sempre na última linha vazia, assim permitindo a constante expansão da tabela, se comportando como um banco de dados. Ao final da operação o *script* retorna OK ao M5Stick-C como sinalização que a operação foi bem sucedida. A organização das informações ficam ajustadas conforme a Figura 5.15.

	A	B	C
1	DIA	HORA	VALOR
2	14/12/2021	13:22:02	31.56
3	14/12/2021	13:22:48	31.56
4	14/12/2021	13:23:31	31.5
5	14/12/2021	13:24:16	31.56
6	14/12/2021	13:25:02	31.56
7	14/12/2021	13:25:48	31.56
8	14/12/2021	13:26:31	31.56

Figura 5.15: Tabela de registro dos dados enviados.
Fonte: Google Sheets®.

5.3.2 Notificações remotas

As notificações com alarmes de irregularidades aos responsáveis pelos insumos monitorados é de cunho crítico para itens termolábeis. Portanto, foi decidido utilizar a plataforma mais difundida do momento: o WhatsApp®. Para conseguir essa integração, foi necessário utilizar a API CallMeBot. Se trata de um

serviço de redirecionamento de mensagens que não cobra nada desde que não exceda os limites estabelecidos pelo fornecedor da ferramenta. Para efetuar a integração com a API supracitada, foi necessário fazer uma outra requisição HTTP. Este tipo de requisição é bastante comum para comunicação WEB, portanto foi necessário acompanhar o que determina a plataforma e os requerimentos mínimos de funcionamento do protocolo HTTP. A mensagem enviada ao responsável é totalmente customizável, contendo informações do equipamento monitorado. Exemplo de notificação e mensagem, se encontram na Figura 5.16 e Figura 5.17.

Para a integração com a API do CallMeBot é necessário seguir as instruções do site, isso pode mudar de acordo com a plataforma que se for utilizar. De forma geral, é necessário enviar uma mensagem para o WhatsApp® do CallMeBot e ele responde com a *apikey* e uma breve instrução de como efetuar o envio de uma mensagem simples. Neste caso, é necessário efetuar um GET HTTP, preenchendo alguns campos da URL com dados de identificação. Os campos da URL que devem ser preenchidos estão destacados em **vermelho** na seguinte requisição:

<https://api.callmebot.com/whatsapp.php?phone=TELEFONE&text=MENSAGEM&apikey=APIKEY>

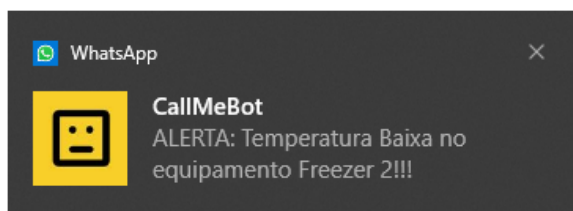


Figura 5.16: Notificação recebida no aplicativo de mensagens.

Fonte: Próprio autor.

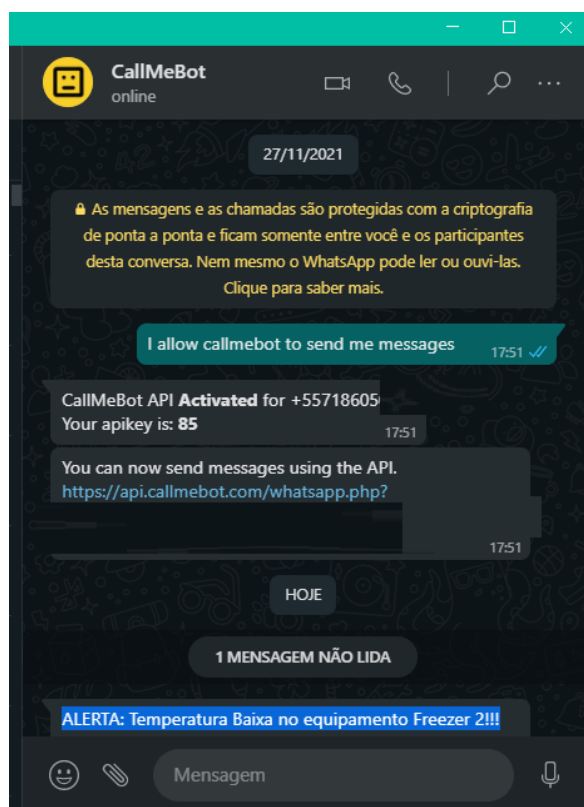


Figura 5.17: Mensagem visualizada no aplicativo de mensagens
Fonte: WhatsApp®.

6 DISCUSSÃO

Analisando os trabalhos correlatos e seus aspectos tecnológicos é possível verificar um grande avanço no aprimoramento das ferramentas, técnicas e metodologias, buscando atingir os objetivos de simplicidade, eficiência, baixo custo e facilitar a gestão com maior segurança operacional.

Os mecanismos utilizados e a preocupação em absorver tecnologias emergentes agrega longevidade à proposta. A atenção aos dispositivos legais ampara a possível utilização em outros países ou em sistemas intercontinentais. Considerando as tecnologias utilizadas e o escopo completo da solução, existiu a preocupação em prover um sistema robusto e seguro.

As partes sensíveis e eventualmente acessíveis a sujeitos de má intenção se localizam na infra-estrutura local, restringindo o acesso às informações aos funcionários do estabelecimento que tenham conhecimento técnico suficiente para manusear e alterar os aparelhos fisicamente. As redes sem fio trafegam dados somente no momento de enviar alguma informação de algum sensor, não é manuseada informação sigilosa.

O *hardware* é um sistema embarcado e não possui sistema operacional com sub-rotinas de rede ou de acesso remoto. É altamente improvável de ser acessado remotamente, pois ele não trata qualquer tipo de requisição externa. Os dados armazenados em nuvem contam com proteção de acesso e mesmo que alguém tenha o endereço, não conseguirá acessar ou modificar informações.

A solução conta também com a possibilidade de desligar o envio de dados para a nuvem e deixar somente o alerta remoto em aplicativo de mensagens quando ocorrer uma situação potencialmente danosa aos medicamentos. Desta forma o equipamento fica inacessível e faz conexão com a Internet somente no momento de enviar um alarme. Tal configuração pode ser efetuada em sistemas críticos de empresas mais exigentes quanto aos acessos recorrentes a servidores externos.

Uma análise comparativa dos prós e contras estão evidenciados na Tabela 6.1.

PRÓS	CONTRAS
Baixo custo de implantação	Sem assistência técnica
Pouca necessidade de infraestrutura	
Pouca necessidade de configurações	
Pouca necessidade de manutenção	
Manutenção simplificada	
Alarmes remotos	
Registro remoto	
Sem mensalidade	
Sem fio	
Não afeta a garantia dos equipamentos	
Esteticamente agradável	
Facilidade na mobilidade de equipamentos	
Maior segurança operacional	
Maior segurança cibernética	

Tabela 6.1: Tabela comparativa de prós e contras da proposta.

Fonte: Próprio autor.

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A saúde é um dos grandes pilares que sustenta e impulsiona a sociedade em suas mais diversas direções de crescimento. A grande prova disso é o aumento da perspectiva de vida com o avanço das tecnologias medicinais, vacinas, equipamentos e tudo que pode dar suporte na cura, recuperação e prevenção de doenças e mortes. O desenvolvimento humano está intrinsecamente ligado à evolução da saúde e às pesquisas, por menores que sejam, servem de subsídio científico para grandes descobertas. Como ficou claramente evidenciado no decorrer deste trabalho, o mundo perde grande parte das vacinas produzidas. A maior parte deste número se encontra nos países sub-desenvolvidos e se agrava em climas tropicais. Na atual conjuntura de saúde global, agravada com a chegada do SARS-CoV-2 (COVID-19), cada dose de vacina é ainda mais valiosa, em termos econômicos e em vidas salvas. Não é admissível perder doses de vacina por falta de cuidado e ações preventivas.

Os resultados dos experimentos realizados reforçam que o objetivo de propor um equipamento de baixo custo, confiável, simples e seguro para monitorar a temperatura do interior de equipamentos para armazenamento de material termolábil foi atingido com êxito.

Este resultado agrega mais tecnologia e segurança para os processos biomédicos, o que reflete em mais saúde, pesquisas mais confiáveis e economia de recursos. Como evidenciado anteriormente, existe uma enorme perda de medicamentos e vacinas todos os anos e a utilização de um sistema de alerta remoto pode ajudar a salvar insumos e conseqüentemente salvar vidas.

Desta forma é esperado que a ajuda desta pesquisa incentive e alerte as entidades competentes e os empresários para um maior cuidado com os seus medicamentos sensíveis. O custo financeiro para implementação é irrisório diante dos inúmeros benefícios de ter o acompanhamento 24h dos recursos importantes e valiosos.

Como sugestão para pesquisas futuras, fica a necessidade de integrar um módulo GSM para gerar alertas mesmo na falta de energia elétrica e fornecimento de Internet. Desenvolver aplicativo gratuito para facilitar a instalação e a interação com usuário. Desenvolver solução para utilização de sirene para alarme local. Investigar com mais profundidade a disparidade entre temperaturas distintas de sensores no mesmo equipamento e a causa raiz deste fenômeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BRASIL, F. I. B. de Geografia e E. Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade para o período 2010-2060. [S.l.: s.n.], 2019.
- 2 CASTRO, M. C.; GURZENDA, S.; TURRA, C. M.; KIM, S.; ANDRASFAI, T.; GOLDMAN, N. Reduction in the 2020 life expectancy in brazil after covid-19. *medRxiv*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2021.
- 3 GOMES, A. C. *Análise do desperdício de medicamentos oncológicos em uma clínica privada no município de Recife-PE*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- 4 ASOWATA, O. E.; ASHIRU, O. T.; STURM, A. W.; MOODLEY, P. Stability of a monovalent rotavirus vaccine after exposure to different temperatures observed in kwazulu-natal, south africa. *African health sciences*, v. 19, n. 2, p. 1993–1999, 2019.
- 5 SARASWATI, L. D.; GINANDJAR, P.; UDIYONO, A. et al. Vaccines cold chain monitoring: A cross sectional study at three district in indonesia. In: IOP PUBLISHING. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. [S.l.], 2018. v. 116, n. 1, p. 012082.
- 6 BELL, K. N.; HOGUE, C. J.; MANNING, C.; KENDAL, A. P. Risk factors for improper vaccine storage and handling in private provider offices. *Pediatrics*, Am Acad Pediatrics, v. 107, n. 6, p. e100–e100, 2001.
- 7 ANDERSON, R.; PERRIER, T.; PERVAIZ, F.; SISOUVETH, N.; KUMAR, B.; PHONGPHILA, S.; RAHMAN, A.; DHIMAN, R.; NEWLAND, S. Supporting immunization programs with improved vaccine cold chain information systems. In: IEEE. *IEEE global humanitarian technology conference (GHTC 2014)*. [S.l.], 2014. p. 215–222.
- 8 WILLIAMS, P. D.; PAIXÃO, G. On-farm storage of livestock vaccines may be a risk to vaccine efficacy: a study of the performance of on-farm refrigerators to maintain the correct storage temperature. *BMC veterinary research*, Springer, v. 14, n. 1, p. 1–7, 2018.
- 9 THIELMANN, A.; PUTH, M.-T.; KERSTING, C.; PORZ, J.; WELTERMANN, B. Vaccine cold chain in general practices: A prospective study in 75 refrigerators (keep cool study). *PloS one*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 14, n. 11, p. e0224972, 2019.
- 10 CAI, W.; PING, L.; SHEN, W.; LIU, J.; ZHANG, M.; ZHOU, J.; PENG, J.; WANG, M.; ZHU, Y.; JI, G. et al. Potency of the sabin inactivated poliovirus vaccine (sipv) after exposure to freezing temperatures in cold chains. *Human vaccines & immunotherapeutics*, Taylor & Francis, v. 16, n. 8, p. 1866–1874, 2020.
- 11 FALCÓN, V. C.; PORRAS, Y. V. V.; ALTAMIRANO, C. M. G.; KARTOGLU, U. A vaccine cold chain temperature monitoring study in the united mexican states. *Vaccine*, Elsevier, v. 38, n. 33, p. 5202–5211, 2020.
- 12 SOW, C.; SANOU, C.; MEDAH, C.; SCHLUMBERGER, M.; MIREUX, F.; OUÉDRAOGO, I.; OUÉDRAOGO, S.; BETSEM, E. Challenges of cold chain quality for routine epi in south-west burkina-faso: An assessment using automated temperature recording devices. *Vaccine*, Elsevier, v. 36, n. 26, p. 3747–3755, 2018.
- 13 SOUZA, L.; VASQUES, J.; AGUIAR, T.; FLEXA, R. Vaccine cold chain in brazilian health system: a logistics assessment. In: *New Global Perspectives on Industrial Engineering and Management*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 179–186.

- 14 PÉREZ, E. V.; ORTEGA, O. B.; VILLA, J. Iot circuit design to monitor cold chain refrigerators. In: IEEE. *2019 Latin American Electron Devices Conference (LAEDC)*. [S.l.], 2019. v. 1, p. 1–5.
- 15 PALACIO, M. G.; PALACIO, L. G.; MONTEALEGRE, J. J. Q.; PABÓN, H. J. O.; RISCO, M. A. L. D.; ROLDÁN, D.; SALGARRIAGA, S.; VÁSQUEZ, P.; HERNÁNDEZ, S.; MARTÍNEZ, C. A novel ubiquitous system to monitor medicinal cold chains in transportation. In: IEEE. *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- 16 MANI, G.; DANASEKARAN, R.; ANNADURAI, K. Controlled temperature chain: Reaching the unreached in resource-limited settings. *Bangladesh Journal of Medical Science*, v. 16, n. 3, p. 477–479, 2017.
- 17 MAGLASANG, P. L.; BUTALID, M. L.; PASTORIL, M. F.; PRATAMA, A. N.; TAN, E. Y. A cross-sectional survey on cold chain management of vaccines in cebu, philippines. *Pharmacy Practice (Granada)*, SciELO Espana, v. 16, n. 2, 2018.
- 18 LUTUKAI, M.; BUNDE, E. A.; HATCH, B.; MOHAMED, Z.; YAVARI, S.; SOME, E.; CHWEYA, A.; KANIA, C.; ROSS, J. C.; KEDDEM, C. et al. Using data to keep vaccines cold in kenya: remote temperature monitoring with data review teams for vaccine management. *Global Health: Science and Practice*, Global Health: Science and Practice, v. 7, n. 4, p. 585–597, 2019.
- 19 LLOYD, J.; CHEYNE, J. The origins of the vaccine cold chain and a glimpse of the future. *Vaccine*, Elsevier, v. 35, n. 17, p. 2115–2120, 2017.
- 20 LLOYD, J.; LYDON, P.; OUHICHI, R.; ZAFFRAN, M. Reducing the loss of vaccines from accidental freezing in the cold chain: the experience of continuous temperature monitoring in tunisia. *Vaccine*, Elsevier, v. 33, n. 7, p. 902–907, 2015.
- 21 DAS, M. K.; ARORA, N. K.; MATHEW, T.; VYAS, B.; SINDHU, M.; YADAV, A. et al. Temperature integrity and exposure to freezing temperature during vaccine transfer under the universal immunization program in three states of india. *Indian journal of public health*, Medknow Publications, v. 63, n. 2, p. 139, 2019.
- 22 WAWRYK, A.; MAVROMATIS, C.; GOLD, M. Electronic monitoring of vaccine cold chain in a metropolitan area. *Bmj*, British Medical Journal Publishing Group, v. 315, n. 7107, p. 518, 1997.
- 23 SILVA, C.; FERREIRA, S.; MONTEIRO, C.; CARVALHO, A.; CARINHA, P. H. Medicamentos termolábeis: estabilidade após ruptura da cadeia de frio. *Actas do VIII Colóquio de Farmácia*, Instituto Politécnico do Porto. Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto, p. 50–64, 2012.
- 24 KARTOĞLU, Ü.; NELAJ, E.; MAIRE, D. Improving temperature monitoring in the vaccine cold chain at the periphery: An intervention study using a 30-day electronic refrigerator temperature logger (fridge-tag®). *Vaccine*, Elsevier, v. 28, n. 24, p. 4065–4072, 2010.
- 25 CAVALLARO, K. F.; FRANCOIS, J.; JACQUES, R.; MENTOR, D.; YALCOUYE, I.; WILKINS, K.; MUELLER, N.; TURNER, R.; WALLACE, A.; TOHME, R. A. Demonstration of the use of remote temperature monitoring devices in vaccine refrigerators in haiti. *Public Health Reports*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 133, n. 1, p. 39–44, 2018.
- 26 BRASIL. Resolução RDC nº 304, de 17 de setembro de 2019. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2019. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-304-de-17-de-setembro-de-2019-216803526>>.
- 27 BRASIL. Resolução RDC nº 360, de 27 de março de 2020. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2020. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-360-de-27-de-marco-de-2020-250404862>>.

- 28 MAIO, C. A. D.; SILVA, J. L. G. da. Armazenagem e distribuição de medicamentos na cadeia fria. *Latin American Journal of Business Management*, v. 5, n. 2, 2014.
- 29 CAMPOS, R. C.; COLLADO, P. S.; GENER, A. G.; BORBONES, M. B. Estabilidad máxima de los medicamentos termolábiles fuera de nevera. *Farmacia Hospitalaria*, Elsevier, v. 30, n. 1, p. 33–43, 2006.
- 30 ARAUJO, D. *Libtayo 50mg/ml Injetável com 1 Frasco Ampola de 7ml*. 2022. Disponível em: <<https://www.araujo.com.br/libtayo-50mgml-injetavel-com-1-frasco-ampola-de-7ml/p>>.
- 31 CHERIYAN, E. Monitoring the vaccine cold chain. *Archives of disease in childhood*, BMJ Publishing Group Ltd, v. 69, n. 5, p. 600–601, 1993.
- 32 PESQUISA, L. I. de. *Vacina Covid-19 - Pesquisa quantitativa nacional através de questionário estruturado em 5.569 municípios brasileiros (Covid-19)*. 2021. Disponível em: <<https://static.poder360.com.br/2021/04/vacina-municipios-lovomotiva-unidos-abr2021.pdf>>.
- 33 CHAUDHRI, R.; BORRIELLO, G.; ANDERSON, R. Pervasive computing technologies to monitor vaccine cold chains in developing countries. *IEEE Pervasive Computing. Special issue on Information and Communication Technologies for Development*, v. 10, 2012.
- 34 CHAUDHRI, R.; O'ROURKE, E.; MCGUIRE, S.; BORRIELLO, G.; ANDERSON, R. Foneastra: enabling remote monitoring of vaccine cold-chains using commodity mobile phones. In: *Proceedings of the First ACM Symposium on Computing for Development*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–9.
- 35 GÜRÜLER, H. The design and implementation of a gsm based user-machine interacted refrigerator. In: IEEE. *2015 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- 36 MONTELEONE, S.; SAMPAIO, M.; MAIA, R. F. A novel deployment of smart cold chain system using 2g-rfid-sys temperature monitoring in medicine cold chain based on internet of things. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*. [S.l.], 2017. p. 205–210.
- 37 ZHOU, L.; CHAKRABARTTY, S. Self-powered continuous time-temperature monitoring for cold-chain management. In: IEEE. *2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*. [S.l.], 2017. p. 879–882.
- 38 HOSSAIN, S.; ABDELGAWAD, A. Smart refrigerator based on internet of things (iot) an approach to efficient food management. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Digital Environment*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 15–18.
- 39 CARULLO, A.; CORBELLINI, S.; PARVIS, M.; VALLAN, A. A wireless sensor network for cold-chain monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, IEEE, v. 58, n. 5, p. 1405–1411, 2008.
- 40 SHADANGI, V.; JAIN, N. Medical internet refrigerator. In: IEEE. *2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. [S.l.], 2015. p. 363–366.
- 41 SINGH, R.; DWIVEDI, A. D.; SRIVASTAVA, G. Internet of things based blockchain for temperature monitoring and counterfeit pharmaceutical prevention. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 14, p. 3951, 2020.
- 42 BRESOLIN, C. S.; SCHNEIDER, P. S.; REGO, R.; FILHO, E. P. B. Brazilian cold chain panorama. *International Journal of Refrigeration*, Elsevier, v. 90, p. 145–155, 2018.

- 43 AUNG, M. M.; CHANG, Y. S. Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain. *Food Control*, Elsevier, v. 40, p. 198–207, 2014.
- 44 NDRAHA, N.; HSIAO, H.-I.; VLAJIC, J.; YANG, M.-F.; LIN, H.-T. V. Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations. *Food Control*, Elsevier, v. 89, p. 12–21, 2018.
- 45 MERCIER, S.; VILLENEUVE, S.; MONDOR, M.; UYSAL, I. Time–temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Wiley Online Library, v. 16, n. 4, p. 647–667, 2017.
- 46 ABAD, E.; PALACIO, F.; NUIN, M.; ZARATE, A. G. D.; JUARROS, A.; GÓMEZ, J. M.; MARCO, S. Rfid smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. *Journal of food engineering*, Elsevier, v. 93, n. 4, p. 394–399, 2009.
- 47 LIN, Q.; ZHAO, Q.; LEV, B. Cold chain transportation decision in the vaccine supply chain. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 283, n. 1, p. 182–195, 2020.
- 48 ZHANG, J.; PRITCHARD, E.; HU, X.; VALENTIN, T.; PANILAITIS, B.; OMENETTO, F. G.; KAPLAN, D. L. Stabilization of vaccines and antibiotics in silk and eliminating the cold chain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 109, n. 30, p. 11981–11986, 2012.
- 49 ROBERTSON, J.; FRANZEL, L.; MAIRE, D. Innovations in cold chain equipment for immunization supply chains. *Vaccine*, Elsevier, v. 35, n. 17, p. 2252–2259, 2017.
- 50 CHANDRA, D.; KUMAR, D. Prioritizing the vaccine supply chain issues of developing countries using an integrated ism-fuzzy anp framework. *Journal of Modelling in Management*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- 51 SAIF, A.; ELHEDHLI, S. Cold supply chain design with environmental considerations: A simulation-optimization approach. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 251, n. 1, p. 274–287, 2016.
- 52 ZANONI, S.; MAZZOLDI, L.; FERRETTI, I. Eco-efficient cold chain networks design. *International Journal of Sustainable Engineering*, Taylor & Francis, v. 12, n. 5, p. 349–364, 2019.
- 53 CUERVAS-MONS, M.; FERNÁNDEZ, M.; SÁNCHEZ, M.; ABAD, E.; SALVADOR, A.; FRUTOS, A. d.; MAESTRE, M. Posible validez de medicamentos termolábiles fuera de las condiciones de conservación recomendadas por el fabricante. *Farm. hosp*, p. 440–444, 2004.
- 54 COHEN, V.; JELLINEK, S. P.; TEPERIKIDIS, L.; BERKOVITS, E.; GOLDMAN, W. M. Room-temperature storage of medications labeled for refrigeration. *American Journal of Health-System Pharmacy*, Oxford University Press, v. 64, n. 16, p. 1711–1715, 2007.
- 55 FD, P.-O.; ALORDA-LADARIA, B.; GÓMEZ-LOBON, A.; VALLESPER, B.; ESTELRICH, M.; PUIGSERVER, C.; ZAMORA, M.; BOSCH, P.; SÁNCHEZ, O. Thermolabile drug storage in an ambulatory setting. 2020.
- 56 PATINE, F. d. S.; LOURENÇÃO, L. G.; WYSOCKI, A. D.; SANTOS, M. d. L. S. G.; RODRIGUES, I. C.; VENDRAMINI, S. H. F. Análise da perda de vacinas por alteração de temperatura. *Revista Brasileira de Enfermagem*, SciELO Brasil, v. 74, 2021.
- 57 MARIN, N.; LUIZA, V. L.; CASTRO, C. G. Osorio-de; SANTOS, S. Machado-dos. Assistência farmacêutica para gerentes municipais. In: *Assistência farmacêutica para gerentes municipais*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 334–p.

- 58 MIRCO, J.; ROCHA, M. S. d. Estudo de estabilidade de medicamentos. *Rev Acadêmica Oswaldo Cruz*, v. 2, n. 7, 2007.
- 59 BRASIL. Manual de rede de frio do programa nacional de imunizações. *Ministério da Saúde*, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://pni.datasus.gov.br/Download/manual_rede_frio.pdf>.
- 60 BOARD, I. M. Guide to control and monitoring of storage and transportation temperature conditions for medicinal products and active substances. *March 2006*, 2006.
- 61 MORETTO, L.; CALIXTO, J. *Boas Práticas de Armazenagem, Distribuição e Transporte na Indústria Farmacêutica*. 2012.
- 62 SEIDEL, Á. R. Instrumentação aplicada. 2016.
- 63 TAVARES, N. M. Simulação de processos industriais utilizando um clp com controle de posição em step/dir. 2021.
- 64 DROME.COM.BR. <<http://drome.com.br>>. Accessed: 2021-08-10.
- 65 SIQUEIRA, T. S. de. Bluetooth—características, protocolos e funcionamento. 2006.
- 66 WANT, R.; SCHILIT, B.; LASKOWSKI, D. Bluetooth le finds its niche. *IEEE Pervasive Computing*, IEEE, v. 12, n. 4, p. 12–16, 2013.
- 67 HANSEN, C. J. Internetworking with bluetooth low energy. *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, ACM New York, NY, USA, v. 19, n. 2, p. 34–38, 2015.
- 68 AIR Tag - Apple. <<https://store.storeimages.cdn-apple.com/4982/as-images.apple.com/is/airtag-gallery4-202104?wid=2824&hei=2400&fmt=jpeg&qlt=80&.v=1617656677000>>. Accessed: 2022-01-17.
- 69 DEVITA, G.; WONG, A. C. W.; DAWKINS, M.; GLAROS, K.; KIANI, U.; LAURIA, F.; MADAKA, V.; OMENI, O.; SCHIFF, J.; VASUDEVAN, A. et al. A 5mw multi-standard bluetooth le/ieee 802.15.6 soc for wban applications. In: IEEE. *ESSCIRC 2014-40th European Solid State Circuits Conference (ESSCIRC)*. [S.l.], 2014. p. 283–286.
- 70 ZURITA, M. E. Projeto de sistemas embarcados. *Universidade Federal do Piauí, Curso de Engenharia Elétrica, Campus Universitário Ministro Petrônio Portela*, 2011.
- 71 CARRO, L.; WAGNER, F. R. Sistemas computacionais embarcados. *Jornadas de atualização em informática. Campinas: UNICAMP*, 2003.
- 72 SHI, W.; PALLIS, G.; XU, Z. Edge computing [scanning the issue]. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 107, n. 8, p. 1474–1481, 2019.
- 73 DOLUI, K.; DATTA, S. K. Comparison of edge computing implementations: Fog computing, cloudlet and mobile edge computing. In: IEEE. *2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- 74 MITTAL, S.; NEGI, N.; CHAUHAN, R. Integration of edge computing with cloud computing. In: IEEE. *2017 International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- 75 CONTRERAS, L. M.; BALIOSIAN, J.; MARTÍNEZ-JULIA, P.; SERRAT, J. Computing at the edge: But, what edge? In: IEEE. *NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. [S.l.], 2020. p. 1–9.

- 76 SOLMS, R. V.; NIEKERK, J. V. From information security to cyber security. *computers & security*, Elsevier, v. 38, p. 97–102, 2013.
- 77 BUCZAK, A. L.; GUVEN, E. A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 18, n. 2, p. 1153–1176, 2015.
- 78 DING, D.; HAN, Q.-L.; XIANG, Y.; GE, X.; ZHANG, X.-M. A survey on security control and attack detection for industrial cyber-physical systems. *Neurocomputing*, Elsevier, v. 275, p. 1674–1683, 2018.
- 79 NAIK, S.; MARAL, V. Cyber security—iot. In: IEEE. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*. [S.l.], 2017. p. 764–767.
- 80 (ABNT), A. B. de N. T. *ABNT NBR ISO 13485: 2016. Produtos para saúde-Sistemas de gestão da qualidade-Requisitos para fins regulamentares*. [S.l.]: ABNT, 2016.
- 81 BRASIL. Resolução RDC nº 318, de 6 de novembro de 2019. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2019. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-318-de-6-de-novembro-de-2019-226513805>>.
- 82 BRASIL. Resolução de diretoria colegiada - RDC nº 430, de 8 de outubro de 2020. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2020. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-430-de-8-de-outubro-de-2020-282070593>>.
- 83 BRASIL. Resolução RDC nº 497, de 20 de maio de 2021. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2021. ISSN 1677-7042. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-497-de-20-de-maio-de-2021-322110518>>.
- 84 FDA, U.; FOOD; ADMINISTRATION, D. et al. CFR- Code of Federal Regulations title 21 - part 205 - sec. 205.50: Minimum requirements for the storage and handling of prescription drugs and for the establishment and maintenance of prescription drug distribution records. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2021.
- 85 FDA, U.; FOOD; ADMINISTRATION, D. et al. CFR- Code of Federal Regulations title 21 - part 203 - sec. 203.32: Drug sample storage and handling requirements. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2021.
- 86 FDA, U.; FOOD; ADMINISTRATION, D. et al. CFR- Code of Federal Regulations title 21 - part 203 - sec. 203.36: Fulfillment houses, shipping and mailing services, comarketing agreements, and third-party recordkeeping. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2021.
- 87 FDA, U.; FOOD; ADMINISTRATION, D. et al. CFR - Code of Federal Regulations title 21 - part 11: Electronic records; electronic signatures. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2021.
- 88 FDA, U.; FOOD; ADMINISTRATION, D. et al. CFR - Code of Federal Regulations title 21 - part 211 - sec. 211.150: Distribution procedures. *US Food and Drug Administration: Washington, DC, USA*, 2021.
- 89 IMMUNIZATION, C. for Disease Control. National Center for; DISEASES, R. *Vaccine storage & handling toolkit*. [S.l.]: Centers for Disease Control and Prevention, 2021.
- 90 M5 Stack. <<https://m5stack.com/>>. Accessed: 2022-01-17.
- 91 SEVEN-LIKE. <<https://seven-like.com/>>. Accessed: 2022-01-17.

- 92 ARDUINO. <<https://Arduino.cc>>. Accessed: 2022-01-17.
- 93 SOFTWARE LCD Image Converter. <<https://lcd-image-converter.riuson.com/en/about/>>. Accessed: 2022-01-18.
- 94 BARTHEM, G. S. Análise exergetica de um sistema de refrigeração por compressão de vapor para um supermercado. *Trabalho de graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro–Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015.*
- 95 SOFTWARE R. <<https://www.r-project.org/>>. Accessed: 2022-01-18.
- 96 SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, JSTOR, v. 52, n. 3/4, p. 591–611, 1965.
- 97 CONOVER, W. J. *Practical nonparametric statistics*. [S.l.]: john wiley & sons, 1999. v. 350.
- 98 MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, JSTOR, p. 50–60, 1947.
- 99 LEVENE, H. Robust tests for equality of variances. *Contributions to probability and statistics. Essays in honor of Harold Hotelling*, Stanford University Press, p. 279–292, 1961.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512022000384-8**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 01/12/2021, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Sistema de Monitoramento e Alerta Remoto da Temperatura de Medicamentos Termolábeis, com base em Tecnologia EDGE Computing, BLE e IoT

Data de publicação: 01/12/2021

Data de criação: 01/11/2021

Titular(es): FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASILIA

Autor(es): LUCAS DE ARAÚJO WANDERLEY ROMERO; DANIEL CHAVES CAFÉ; DEMÉTRIO ANTÔNIO DA SILVA FILHO

Linguagem: C

Campo de aplicação: FQ-07

Tipo de programa: CT-03

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

99CC41CF783DC2FF8F32FB0A2CD2C4066339BBB03EAD403736FB2AF99BD25C1C6609073C482BB89AA3ADC34
F6746D66C6BCCE00091E94A4444DE33DA58A9A51C

Expedido em: 03/03/2022

Aprovado por:
Carlos Alexandre Fernandes Silva
Chefe da DIPTO



Certificado de Calibração

MGR Calibrações - 71 - 3239-2788 - www.mgrcalibracoes.com.br Laboratório: RUA CARIRANHA, N°12, JARDIM BRASILIA, PERNAMBUCOS, SALVADOR-BA Escritório: AVENIDA TANCREDO NEVES N°939, ED. ESPLANADA TOWER, SALA 407, CAMINHO DAS ARVORES, SALVADOR-BA	Número 0442/21	Data de emissão 30/04/2021 09:47
--	--------------------------	--

CARACTERÍSTICAS DO OBJETO

Tag: SENSOR-01	N° Série: NADA CONSTA	Fabricante: ROHS	Modelo: WS07
Instrumento: SENSOR BLUE		Faixa de: -20 até 65	Unidade: °C
LEITURAS REALIZADAS NO INSTRUMENTO CALIBRADO	Resolução: 0,1	Data da calibração: 22/04/2021	
Área: N/C ; Local: N/C ; Lacre: N/C			
Empresa: LUCAS ROMERO			
Endereço: Rua Juraci Magalhães Junior, 50 Empresarial Irmões			
Contratante: LUCAS ROMERO		Local da calibração : MGR CALIBRAÇÕES,SALVADOR-BA	

CONDIÇÕES AMBIENTAIS DURANTE A CALIBRAÇÃO

Temperatura ambiente: 20,3°C - Umidade: 74,4 UR% - Pressão: 1007,8 hpa

PADRÕES UTILIZADOS

- TBH-01#TEMPERATURA — Descrição: SENSOR TEMPERATURA - TESTO 622 - NS:39521079/906 — Certificado: T04776-19 — Validade: 10/20
- TBH-02#UMIDADE — Descrição: SENSOR DE UMIDADE - TESTO 622 - NS:39521079/906 — Certificado: T04776-19 — Validade: 10/2021
- TBH-03#PRESSÃO — Descrição: BARÔMETRO DIGITAL - TESTO 622 - NS:39521079/906 — Certificado: M07489-19 — Validade: 10/2021
- TBH-01# — Descrição: TERMO HIGRÔMETRO - TESTO 622 - NS=39521079/906 — Certificado: T04776-19 — Validade: 10/2021
- PT-100 -02 — Descrição: PT 100 FAIXA NEGATIVA - NS=6723/20 — Certificado: 6723/20 — Validade: 10/2023
- PT -100 TER- 001 — Descrição: PT 100 - ECIL PT-100 - NS=4958/17 — Certificado: 0598/19 — Validade: 08/2022

PROCEDIMENTO

CALIBRAÇÃO REALIZADA POR COMPARAÇÃO DIRETA A UM PADRÃO EM MEIO CLIMATIZADO COM VALORES DE TEMPERATURA E UMIDADE ESTABELECIDOS CONFORME PROCEDIMENTO MGR-0129

MEDIÇÕES

	Referência	Média	Desvio	Incerteza	Veff	k	Resolução	Unidade	Faixa
- TEMPERATURA									
padrão:	-7,23	-7,12	0,140	0,122	349,12	2,01	0,1	°C	-20/65
padrão:	-5,15	-5,01	0,165	0,122	349,12	2,01	0,1	°C	-20/65
padrão:	-4,34	-4,68	-0,316	0,122	349,12	2,01	0,1	°C	-20/65
padrão:	-2,65	-2,72	-0,050	0,122	349,12	2,01	0,1	°C	-20/65
padrão:	8,22	7,95	-0,305	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
padrão:	15,25	15,09	-0,190	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
padrão:	20,54	20,14	-0,427	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
padrão:	25,68	25,09	-0,614	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
padrão:	30,19	30,11	-0,101	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
Padrão:	35,21	35,08	-0,147	0,266	∞	2,00	0,1	°C	-20/65
- UMIDADE UR%									
padrão:	40	38,00	-2,837	2,261	∞	2,00	1	UR%	0/100
padrão:	50	49,00	-1,654	2,261	∞	2,00	1	UR%	0/100
Padrão:	60	59,00	-1,543	2,261	∞	2,00	1	UR%	0/100

CONCLUSÕES

- A reprodução deste certificado só poderá ser total e depende da aprovação, por escrito, do laboratório emitente.
- Os resultados deste certificado se referem exclusivamente ao equipamento submetido à calibração nas condições e data especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- As incertezas, aqui relatadas nos resultados, foram combinadas e expandidas por fatores de abrangência k, devidamente correspondentes aos respectivos graus de liberdade e a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- Os cálculos das incertezas foram executados em conformidade com as normas ISO GUM e EA4/02 anexo E.

Responsável RAFAEL NERES DE SOUZA	Validade 04/2022
---	----------------------------

130114542312325464114422245022 4771114335537725531177713354422 25443117335334660224663102011011 76676632376710054645501301154410 21016750120110

Pág: 1 / 1