

ALDO BERNARDO BARBOSA

**Proposta de dispositivo de IoT e respectiva sistemática para
monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de
vacinas em vacinação extramuros**

São Paulo
2022

ALDO BERNARDO BARBOSA

Proposta de dispositivo de IoT e respectiva sistemática para monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de vacinas em vacinação extramuros

Versão Original

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.

Área de Concentração: *Internet of Things*

Orientador: Prof. Dr. Vidal Augusto Zapparoli Castro Melo

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Catálogo-na-publicação

Barbosa, Aldo Bernardo

Proposta de dispositivo de IoT e respectiva sistemática para monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de vacinas em vacinação extramuros / A. B. Barbosa -- São Paulo, 2022.
88 p.

Monografia (MBA em Internet of Things) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Dispositivo IOT 2.Monitoramento de Temperatura 3.Vacinação Extramuro 4.Internet das Coisas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

Nome: BARBOSA, Aldo Bernardo

Título: Proposta de dispositivo de IoT e respectiva sistemática para monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de vacinas em vacinação extramuros.

Monografia apresentada ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a conclusão do curso de MBA em *Internet of Things*.


Aprovado em: 07/02/2022

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). **Vidal Augusto Zapparoli Castro Melo**

Instituição: PECE / Escola Politécnica - USP

Julgamento: Aprovado



Prof(a). Dr(a). **Kechi Hirama**

Instituição: Escola Politécnica - USP

Julgamento: Aprovado



Prof(a). **MSc. Marcel Luiz Garcia de Miranda**

Instituição: PECE - Programa de Educação Continuada - POLI/USP

Julgamento: Aprovado

MARCEL LUIZ GARCIA DE
MIRANDA-03380983802

Digitally signed by MARCEL LUIZ GARCIA DE
MIRANDA-03380983802
Date: 2022.02.07 15:48:42-0300

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus filhos
Alexia e Albert.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo – USP por ser referência de qualidade de ensino e estar entre as melhores universidades do mundo.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, por possuir um excelente corpo docente, onde todos seus profissionais estão atualizados com as tendências do mundo e sempre preparados para repassar o conhecimento da melhor maneira.

Ao PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia que promove cursos de pós-graduação e especializações de qualidade superior e fornece excelente estrutura a todos os seus alunos e corpo docente.

A todos os professores do curso por compartilharem de suas valiosas experiências acadêmicas e de negócio.

RESUMO

BARBOSA, A. B. **Proposta de dispositivo de IoT e respectiva sistemática para monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de vacinas em vacinação extramuros.** 2022. 88 folhas. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022.

As campanhas de vacinação podem se dar nas unidades de saúde ou em ambientes provisoriamente adaptados a essa finalidade, como estacionamentos e escolas, na modalidade extramuros. Há diversos casos, reportados no Brasil e no mundo, a respeito de doses de vacinas desprezadas em função da oscilação da temperatura dos imunizantes fora das margens de segurança estabelecidas por seus fabricantes. Contudo, embora sejam as unidades de saúde que disponham da infraestrutura necessária para acondicionar e monitorar a temperatura das vacinas, nenhum dos casos identificados se deu extramuros. Essa observação sugeriu, portanto, a hipótese de que as perdas de doses de vacinas somente não sejam reportadas nas campanhas extramuros, em razão da inexistência de recursos aptos a identificar a oscilação de temperatura. Sendo assim, o presente trabalho buscou especificar e desenvolver um dispositivo de IoT para monitorar a temperatura das vacinas em campanhas de imunização extramuros. Foi realizada uma pesquisa aplicada, exploratória e experimental, para fase exploratória adotou-se a disciplina Engenharia de Requisitos. Os resultados confirmaram que o dispositivo desenvolvido atende à finalidade proposta, é capaz de monitorar a temperatura desde o transporte ao armazenamento extramuros, e de incrementar a confiabilidade da imunização ao garantir a conservação das vacinas em temperatura compatível com a preservação da eficácia.

Palavras-chave: Vacinação extramuros; Dispositivo IoT; Monitoramento de Temperatura; Internet das Coisas.

ABSTRACT

BARBOSA, A. B. IoT device proposal and systemic perspective for monitoring the storage temperature and transport of vaccine in vaccine extramural. 2022. 88 folhas. Monografia (MBA em *Internet of Things*). Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2022.

Vaccination campaigns can take place in health units or in environments provisionally adapted for this purpose, such as parking lots and schools, in the extramural modality. There are several cases, reported in Brazil and in the world, regarding doses of vaccines disregarded due to the fluctuation in the temperature of the immunizers outside the safety margins established by their manufacturers. However, although the health units have the necessary infrastructure to store and monitor the temperature of vaccines, none of the identified cases occurred outside the walls. This observation suggested, therefore, the hypothesis that vaccine doses are not reported only in extramural campaigns, due to the lack of resources capable of identifying temperature fluctuations. Therefore, the present work sought to specify and develop an IoT device to monitor the temperature of vaccines in extramural immunization campaigns. An applied, exploratory and experimental research was carried out, for the exploratory phase, the Requirements Engineering discipline was adopted. The results confirmed that the developed device meets the proposed purpose, is capable of monitoring the temperature from transport to extramural storage, and of increasing the reliability of immunization by guaranteeing the conservation of vaccines at a temperature compatible with the preservation of efficacy.

Keywords: Extramural vaccination; IoT device; Temperature monitoring; Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de Perda de Vacina x Valor de Perda	18
Figura 2 - Fluxo da Rede de Frio Nacional.....	24
Figura 3 - Transportes utilizados entre Laboratório Produtor e Instância Nacional...	25
Figura 4 - Transportes utilizados entre Instância Nacional e Instância Estadual.....	26
Figura 5 - Transportes utilizados entre Instância Estadual e Instância Regional	26
Figura 6 - Transportes utilizados entre a Instância Regional x Instância Local.....	27
Figura 7 - Vacinação na Sala de Vacina x Vacinação Extramuros.....	28
Figura 8 - Sequência de Organização da Caixa Térmica.....	29
Figura 9 - Termômetros Externos com Cabo Extensor e Termômetros Embutidos ..	30
Figura 10 - Organização da Rede de Frio Nacional	30
Figura 11 - Equipamentos Utilizados na Rede de Frio.....	32
Figura 12 - Fluxograma da Metodologia.....	43
Figura 13 - Especificações Sensor de Temperatura DS18B20	57
Figura 14 - Encapsulamento DS18B20	58
Figura 15 - Display OLED 128x64 0.96”.....	59
Figura 16 - Sinalizador Acústico Buzzer ABI-042-RC	60
Figura 17 - Módulo WIFI ESP-WROOM-32.....	61
Figura 18 - Módulo GSM BG96	63
Figura 19 - Acelerômetro Adxl345.....	65
Figura 20 - Todos os Componentes para Construção do Dispositivo	68
Figura 21 - Montagem Prática do Dispositivo.....	69
Figura 22 - Arquitetura IoT Utilizada na Prototipagem	70
Figura 23 - Organização da Caixa Térmica Indicado Pelo PNI	71
Figura 24 - Instalação do Sensor de Temperatura Antes da Colocação das Vacinas	72
Figura 25 - Fixação do Termômetro da Caixa Térmica	72
Figura 26 - Arrumação das Vacinas na Caixa Térmica	73
Figura 27 - Abertura da Caixa Térmica para Troca de Calor.....	73
Figura 28 - Alerta de Temperatura Fora do Limites.....	76
Figura 29 - Temperatura Referente ao Ponto F	77
Figura 30 - Temperatura em Estabilização no Ponto H.....	77
Figura 31 - Temperatura em Estabilização no Ponto I	78
Figura 32 - Temperatura em Estabilização no Ponto J	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Período de Armazenamento x Temperatura	31
Quadro 2 - Recomendações de Instrumentos de Medição	33
Quadro 3 - Matriz de Mudge.....	47
Quadro 4 - Exemplo de Relação entre Requisitos de Negócio	47
Quadro 5 - Peso Adicionado ao Requisito	48
Quadro 6 - Matriz de Importância de Requisitos	48
Quadro 7 - Matriz de Dependência de Requisitos.....	49
Quadro 8 - Diagrama de Casos de Uso	51
Quadro 9 - Especificação 1	52
Quadro 10 - Especificação 2	52
Quadro 11 - Especificação 3	53
Quadro 12 - Especificação 4	53
Quadro 13 - Especificação 5	53
Quadro 14 - Especificação 6	54
Quadro 15 - Especificação 7	54
Quadro 16 - Especificação 8	54
Quadro 17 - Características Técnicas Display OLED 128X64 0.96”	59
Quadro 18 - Características Técnicas Buzzer ABI-042-RC.....	60
Quadro 19 - Características Técnicas Módulo WIFI ESP-WROOM-32.....	62
Quadro 20 - Características Técnicas Módulo GSM BG96	63
Quadro 21 - Características Técnicas Adxl345	65
Quadro 22 - Características Técnicas Mini Antena ANT11000044	66
Quadro 23 - Características Técnicas Antena AVX1004627	66
Quadro 24 - Características Técnicas Bateria INR18650-25R	67
Quadro 25 - Características Técnicas Chave Táctil	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Casos de Poliomielite registrados de 1980 a 2017.....	35
Gráfico 2 - Oscilação das Ações Após Anúncio da Primeira Vacina.....	36
Gráfico 3 - Resultado da Temperatura da Simulação	75
Gráfico 4 - Resultado da Temperatura da Simulação Detalhado	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos do Negócio	45
Tabela 2 - Requisitos Funcionais	46
Tabela 3 - Peso dos Requisitos.....	48
Tabela 4 - Comparação das Especificações	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACE	Análise Custo-Efetividade
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Cenadi	Central Nacional de Armazenamento e Distribuição de Insumos
Cerf	Central Estadual de Rede de Frio
CEV	Campanha de Erradicação da Varíola
CGPNI	Coordenação-Geral do Programa Nacional de Imunizações
CRRFs	Centrais Regionais de Rede de Frio
CMRF	Central Municipal de Rede de Frio
FMI	Fundo Monetário Internacional
GAVI	Aliança Global para Vacinas e Imunizações
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM	Global System for Mobile
IOT	Internet of Things
MS	Ministério da Saúde
NB-IOT	Narrowband Internet of Things
OLED	Organic Light-Emitting Diode
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNI	Programa Nacional de Imunizações
RDC	Regulamentação da Diretoria Colegiada
RF	Requisitos Funcionais
RN	Requisitos de Negócios
SI	Sala de imunização
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
UBS	Unidade Básica de Saúde
WIFI	Wireless Fidelity

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação	16
1.2	Objetivo	18
1.3	Justificativa	18
1.4	Método de Pesquisa	20
1.5	Estrutura do Trabalho	20
2	VACINAÇÃO BRASILEIRA	22
2.1	Programa Nacional de Imunizações	22
2.2	Rede de Frio	23
2.3	Logística de Distribuição e Armazenamento das Vacinas	25
2.4	Temperatura e Tempo de Armazenamento das Vacinas	31
2.5	Equipamentos de Armazenamento e Distribuição	32
2.6	Instrumentos de Monitoramento e Controle de Temperatura	33
2.7	Considerações do Capítulo 2	34
3	CONTEXTUALIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE	35
3.1	Considerações do Capítulo 3	40
4	ANÁLISE METODOLÓGICA E RESPECTIVA APLICAÇÃO	41
4.1	Determinação do Objetivo	44
4.2	Elicitação dos Requisitos de Negócio	44
4.3	Determinação de Requisitos	45
4.4	Classificação dos Requisitos de Negócio	47
4.5	Matriz de Dependência de Requisitos	49
4.6	Planejamento das Liberações	50
4.7	Especificação dos Requisitos	50
4.8	Validação dos Requisitos	55
4.9	Considerações do Capítulo 4	55
5	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO (PROTOTIPAGEM)	56
5.1	Especificação 1,2,3 e 4 (Sensor de Temperatura)	56
5.2	Especificação 5 (Display OLED)	58
5.3	Especificação 5 (Buzzer)	59
5.4	Especificação 6 e 7 (Modulo Wifi)	61
5.5	Especificação 6 e 7 (Módulo GSM)	62
5.6	Especificação 6 e 7 (Módulo GNSS)	64
5.7	Especificação 8 (Acelerômetro)	64

5.8	Acessórios Necessarios Para Construção do Dispositivo	65
5.9	Montagem Completa do Dispositivo com Todas as Especificações.....	68
5.10	Montagem Prática do Dispositivo	69
5.11	Arquitetura IoT Utilizada para Prototipagem.....	69
5.12	Materiais e Software Utilizados na Simulação da Vacinação Extramuros.....	70
5.13	Método Utilizado na Simulação da Vacinação Extramuros	71
5.14	Considerações do Capitulo 5.....	74
6.	ANÁLISES DOS RESULTADOS	75
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Em um contexto pandêmico, no qual uma doença infecciosa se espalha rapidamente, a vacinação – que consiste na “aplicação preventiva de uma vacina visando gerar imunidade ativa contra uma doença específica (MICHAELIS,2022a) – é uma grande aliada na imunização da população (BRASIL, 2017). A vacina, portanto, como a própria expressão sugere, representa um elemento indispensável à vacinação.

A pandemia decorrente da COVID-19, doença infecciosa causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 e que vem desafiando o cenário global desde o final de 2019, bem como as campanhas massivas de imunização estabelecidas com vistas à sua contenção, demonstraram a necessidade de uma infraestrutura de vacinação significativamente maior do que a disponível em grande parte dos países para o atendimento da população (PAULO, 2021).

Em outras palavras, isso significa dizer que, como se pode observar amplamente nos noticiários nacionais e internacionais desde o desenvolvimento das primeiras vacinas contra a COVID-19, as estruturas de saúde convencionais dos países não foram suficientes para absorver toda a demanda da população, de modo que a criação de postos de vacinação em locais não dedicados a essa finalidade, tais como estacionamentos, escolas, estádios, etc, se fez necessária (BORGES,2021).

As campanhas de vacinação conduzidas fora das unidades de saúde, em locais não convencionais, mas que são adaptados de forma excepcional a essa finalidade, são designadas, segundo a literatura especializada, como vacinação extramuros (SANTOS, 2017). O termo “extramuros” possui entre suas acepções o sentido de fora dos muros, dos limites, e, portanto, no caso da vacinação, remete às campanhas realizadas fora das instalações das unidades de saúde (MICHAELIS,2022b).

Mas apesar da importância das campanhas de vacinação e da indispensabilidade das vacinas para que aconteçam, os desperdícios de doses são muito frequentes. Com isso, casos de falta de imunizantes suficientes e de atraso na vacinação da população foram e continuam sendo observados (BRASIL, 2014), e se

tornam ainda mais críticos quando se dão na constância do enfrentamento de uma pandemia de impacto mundial, como a da COVID-19.

Há diversos fatores que podem resultar no desperdício de doses de vacinas, como, por exemplo, a oscilação de temperatura. No entanto, desperta atenção o fato de que, embora a maioria dos artigos e notícias pesquisados (PEREIRA et al., 2013, (SALCEDO, 2021; e ASSÉ, 2021) evidenciem que eventos de perda de doses de vacinas, decorrentes de oscilação de temperatura, aconteçam com muita frequência nas unidades de saúde, não foram identificados trabalhos que discutissem a ocorrência dos mesmos em campanhas de vacinação extramuros.

A percepção quanto à carência de trabalhos voltados ao estudo de eventos de perda de doses de vacina em campanhas de vacinação extramuros indicou, pois, uma oportunidade de pesquisa a ser explorada. Isso porque, se os eventos de perda de doses de vacina por oscilação de temperatura são observados nas próprias unidades de saúde, que sugerem dispor de toda a infraestrutura necessária para acondicioná-las e monitorá-las; a ocorrência desses mesmos eventos nas campanhas de vacinação extramuros, que exigem diversas adaptações para que as vacinas sejam transportadas, armazenadas e aplicadas em um ambiente com infraestrutura reduzida, também tende ser confirmada, mas talvez não o seja simplesmente em razão da inexistência de recursos aptos a constatá-los.

Logo, partindo da premissa de que há diversos eventos reportados na literatura de perda de doses de vacinas em unidades de saúde; e que as campanhas de vacinação extramuros dispõem de infraestrutura mais precária e vulnerável a eventualidades, em razão da necessidade de adaptação aos mais variados tipos de ambientes em que se realizam; estabeleceu-se a hipótese de que os eventos de perda de doses de vacina por oscilação de temperatura sejam ainda maiores nas campanhas de vacinação extramuros e, destarte, identificou-se a oportunidade de pesquisa e desenvolvimento de um dispositivo de IoT (acrônimo da expressão *Internet of Things*, em inglês, que significa Internet das Coisas, em português), e da definição da sua sistemática, para monitoramento da temperatura das vacinas nessas condições.

1.2. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um dispositivo de IoT, e definir a sua respectiva sistemática, com vistas ao monitoramento da temperatura de armazenamento e transporte de vacinas em campanhas de imunização extramuros. Para tanto, serão adotados como referência as especificações técnicas do Ministério da Saúde, extraídas de documentos adotados pelo Governo Federal Brasileiro no âmbito do Programa Nacional de Imunizações (PNI); e o entendimento e análise de toda a cadeia de controle de temperatura inerente ao PNI, incluindo os equipamentos, instrumentos e procedimentos que são utilizados atualmente nas campanhas de vacinação.

1.3. Justificativa

Um estudo publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2005, reportou que 50% das doses de vacinas distribuídas ao redor do mundo são desperdiçadas (WHO, 2005). O prejuízo financeiro atrelado a essa perda é expressivo e foi objeto de estudo realizado por (PEREIRA et al., 2013), do qual se extraiu a tabela ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Quantidade de Perda de Vacina x Valor de Perda

Vacinas	Vacinas (un)	Vacinas aplicadas (un)	Perda física (un)	Perda técnica (un)	Total de perdas (un)	Total de perdas (%)	Valor de perda técnica (R\$)	Valor de perda física (R\$)	Valor por dose (R\$)
BCG	261.744	17.481	13.182	231.081	244.263	93,32	201.083,45	11.470,79	0,87
Triplíce Viral	333.647	29.583	5.716	298.348	304.064	91,13	1.804.408,70	34.570,36	6,05
Dupla Viral	51.386	9.769	2.130	39.487	41.617	80,99	238.896,35	12.886,50	6,05
Contra Febre Amarela	258.510	53.020	6.600	198.890	205.490	79,49	194.912,20	6.468,00	0,98
Contra Hepatite B	219.392	69.161	5.910	144.321	150.231	68,48	180.401,25	7.387,50	1,25
Dupla Adulto	194.517	71.233	7.110	116.174	123.284	63,38	40.718,99	2.492,05	0,35
Oral Contra Poliomielite	506.894	196.411	8.618	301.865	310.483	61,25	177.375,87	5.063,93	0,59
Triplíce Bacteriana	81.172	32.440	9.200	39.532	48.732	60,04	16.366,25	3.808,80	0,42
Tetraivalente	124.150	49.627	1.980	72.543	74.523	60,03	611.537,49	16.691,40	8,43
Contra Influenza	23.472	18.787	120	4.565	4.685	19,96	319.550,00	8.400,00	70,00
Rotavírus Humano	33.316	31.241	1.393	682	2.075	6,23	12.923,90	26.397,35	18,95
Contra Raiva-Cultivo Celular	9.614	9.036	260	318	578	6,01	7.625,64	6.234,80	23,98
Contra Meningocócica Conjugada -C	3.289	3.264	2	23	25	0,76	437,40	38,03	19,02
Total	2.101.103	591.053	62.221	1.447.829	1.510.050		3.806.237	141.910	157

Fonte: (PEREIRA et al., 2013)

Em um trabalho mais recente, realizado por (PATINE et al., 2021), restou ratificado que, mesmo após 8 anos, as perdas de doses de vacinas se dão em volume bastante significativo e, de fato, representam um aumento considerável no custo dos imunizantes comercializados.

Há diversas razões que podem ser atribuídas às perdas de doses de vacinas, dos mais variados tipos, ao redor do mundo. Entretanto, a literatura especializada sugere que uma parcela expressiva das doses é desprezada em razão da ocorrência de eventos de oscilação de temperatura (ASSÉ, 2021) durante o transporte ou por ocasião do armazenamento (SAMAD, 2011).

A título exemplificativo, apenas no ano de 2021, entre outros casos, observou-se a perda de 1.032 doses de vacinas no Japão (STAFF, 2021) e, também, de outras 16.000 nos Estados Unidos (SALCEDO, 2021), provocadas por eventos de oscilação de temperatura dos imunizantes. No Brasil, logo na primeira quinzena de 2022, 27 mil doses de vacinas contra a COVID-19 foram desprezadas pela mesma razão, comprometendo a vacinação da população de 23 municípios (KLEIN, 2021).

O estudo de possíveis elementos comuns aos eventos de perda de doses de vacinas por oscilação de temperatura permitiu identificar, em muitos casos, a ocorrência de defeitos nos equipamentos de controle. Dentre os exemplos brasileiros analisados pode se destacar um caso no estado do Espírito Santo, no qual 547 doses foram perdidas (PASTI, 2021); e, outro, no estado do Rio Grande do Sul, onde 4.500 doses foram desprezadas (SÃO LEOPOLDO, 2021); ambos devido à oscilações de temperatura nos equipamentos dedicados ao armazenamento das doses nas unidades de saúde.

Além do prejuízo financeiro envolvido, e do desperdício de insumos íntegros utilizados para a fabricação dos imunizantes, que inclusive dão margem a discussões voltadas à sustentabilidade e ao descarte apropriado dos resíduos inutilizados, as doses de vacinas desprezadas, especialmente em razão de eventos de oscilação de temperatura, colocam em risco a própria proteção à saúde da população mundial.

Afirma-se, pois, além da saúde ser um dos direitos constantes da Declaração Universal dos Direitos Humanos, incapaz de ser dissociado do próprio direito à vida (DIREITO,2022), a falta de controle adequado da temperatura das vacinas, especialmente quando não identificado e adequadamente endereçado, pode sujeitar a população à aplicação de imunizantes desprovidos da eficácia esperada e, até mesmo, capazes de provocar efeitos colaterais inesperados e indesejados.

Nesse sentido, levando-se em consideração a hipótese traçada nesta monografia, de que os eventos de perda de doses de vacina por oscilação de temperatura podem ser ainda mais expressivos no contexto das campanhas de imunização extramuros, do que aqueles reportados em unidades de saúde, a realização do objeto da pesquisa nos moldes propostos se justifica pela potencial contribuição com o incremento da segurança das vacinas e, conseqüentemente, da defesa e proteção da saúde da população no mundo todo.

1.4. Método de Pesquisa

Para alcançar o objetivo proposto, qual seja, de desenvolver um dispositivo de IoT voltado ao monitoramento da temperatura das vacinas no contexto de campanhas de imunização extramuros, bem como de estabelecer a sua respectiva sistemática, foi realizada uma pesquisa aplicada, exploratória e experimental, para fase exploratória adotou-se a Engenharia de Requisitos, com vistas a identificar requisitos presentes em documentações do Ministério da Saúde, das quais foram extraídas as especificações técnicas utilizadas para o desenvolvimento do dispositivo proposto. O detalhamento do método adotado, assim como sua implementação, estão descritos no Capítulo 4.

1.5. Estrutura do Trabalho

A estrutura do conteúdo da presente monografia se apresenta nos moldes detalhados nos parágrafos a seguir.

O Capítulo 1 – INTRODUÇÃO, apresenta a motivação, o objetivo, a justificativa, o método de pesquisa e a estrutura do presente trabalho.

O Capítulo 2 – VACINAÇÃO BRASILEIRA, apresenta todo o fluxo da vacinação nacional, desde o momento em que a vacina é adquirida do laboratório até alcançar sua instância final, onde são aplicadas na população. Esse fluxo é descrito de forma completa, abrangendo tanto a logística de distribuição e armazenamento realizada pelo Ministério da Saúde, sob coordenação do PNI, quanto equipamentos, instrumentos e boas práticas utilizados para conservação integral da eficácia das vacinas.

O Capítulo 3 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE, demonstra, a partir de estudos e notícias, a quantidade expressiva de eventos de perda de vacinas identificados no Brasil e no mundo, destacando que parcela significativa se dá em razão de oscilações de temperatura no armazenamento e/ou no transporte dos imunizantes.

O Capítulo 4 – ANÁLISE METODOLÓGICA E RESPECTIVA APLICAÇÃO, apresenta todas as fases da metodologia utilizada, bem como detalha a própria aplicação do método para a definição das especificações técnicas do dispositivo IoT proposto e estabelecimento de sua sistemática.

O Capítulo 5 – DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO (PROTOTIPAGEM), descreve a escolha de todos os componentes necessários para o desenvolvimento de um protótipo do dispositivo IoT com base nas especificações extraídas a partir da aplicação da metodologia.

O Capítulo 6 – RESULTADOS E CONCLUSÕES FINAIS, apresenta os resultados obtidos no teste de campo ao qual o protótipo do dispositivo IoT desenvolvido foi submetido, bem como propõe discussão a respeito dos mesmos por meio das Conclusões Finais.

Por fim, o capítulo REFERÊNCIAS elenca as fontes utilizadas para embasar e nortear o trabalho de pesquisa realizado nesta monografia.

2. VACINAÇÃO BRASILEIRA

2.1. Programa Nacional de Imunizações

Uma das medidas mais importantes que o Governo Brasileiro utiliza para prevenir e controlar doenças é a vacinação. Vacinar consiste em proteger antecipadamente o corpo humano, contra vírus e bactérias que causam doenças graves, e que podem resultar em sequelas irreversíveis ou, até mesmo, em morte.

No Brasil, o Ministério da Saúde, por intermédio do Programa Nacional de Imunizações (PNI), coordena as campanhas de vacinação e distribui, gratuitamente, um grande número de vacinas contra diversas doenças graves (TOSCANO, 2003).

O PNI foi criado em 18 de setembro de 1973 para atender todo o Brasil, sem distinção de qualquer natureza, e, assim, permitir que os brasileiros disponham das vacinas necessárias em todos os momentos de suas vidas (BRASIL, 2003). Para tanto, reúne entre suas competências as mais diversas atribuições, tais como (BRASIL, 2001a, p.7):

- Implantar e implementar as ações relacionadas às campanhas de vacinação de caráter obrigatório;
- Estabelecer critérios e prestar apoio técnico e financeiro à elaboração, implantação e implementação dos programas de vacinação a cargo das secretarias de saúde das unidades federadas;
- Estabelecer normas básicas para a execução das vacinações;
- Supervisionar, controlar e avaliar a execução das vacinações no território nacional, principalmente o desempenho dos órgãos das Secretarias de Saúde, encarregados dos programas de vacinação;
- Centralizar, analisar e divulgar as informações referentes ao PNI.

A atuação do PNI é amplamente reconhecida na esfera internacional, especialmente entre especialistas em saúde pública. Entre outros fatores, esse reconhecimento se deve ao fato do PNI ser responsável por assegurar a imunização de um dos países mais populosos do mundo, com dimensões continentais, e ainda assim alcançar resultados excelentes na eliminação ou controle de doenças capazes de serem prevenidas por meio da vacinação. Nesse sentido, inclusive, um dos casos de maior sucesso do PNI foi a Campanha de Erradicação da Varíola (CEV), realizada em 1975, e que recebeu da OMS a Certificação de Desaparecimento da Doença (BRASIL, 2003).

O objetivo principal da atuação do PNI, portanto, consiste em oferecer vacinas com qualidade a adultos e a todas as crianças que nascem, visando alcançar coberturas vacinais de 100%, de forma homogênea, em todo território brasileiro (TEMPORÃO, 2003).

2.2. Rede de Frio

Para contribuir com a qualidade na logística de distribuição e armazenamento das vacinas, o PNI segue diretrizes do Manual da Rede de Frio, que foi desenvolvido pelo Ministério da Saúde, por intermédio da Fundação Nacional de Saúde. Este Manual estabelece boas práticas de manuseio, distribuição e armazenamento de imunobiológicos, ou seja, de substâncias que contém anticorpos, como as vacinas (BRASIL, 2001a); e define a Rede de Frio como

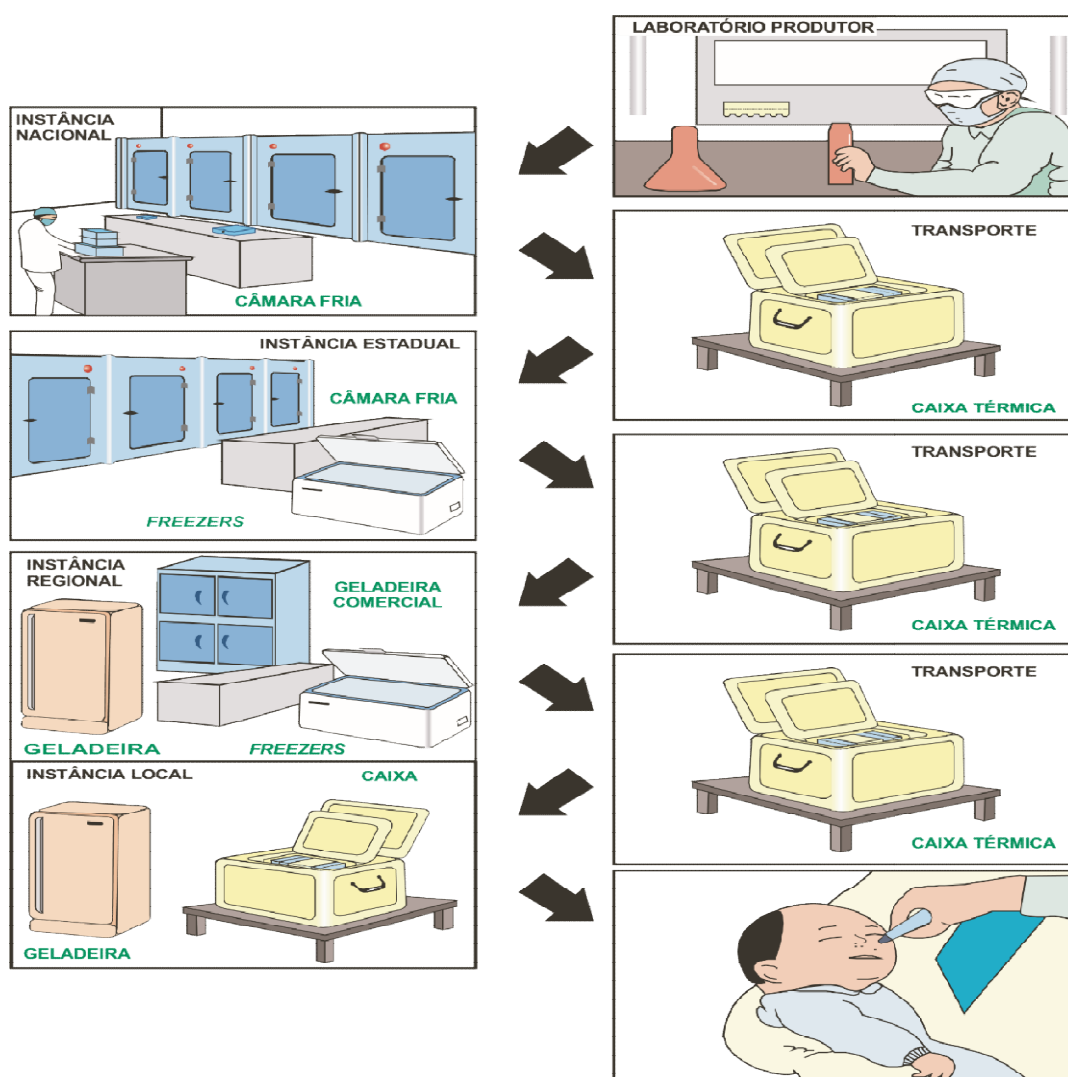
um sistema amplo, que inclui estrutura técnico-administrativa orientada pelo PNI, por meio de normatização, planejamento, avaliação e financiamento, e visa a manutenção adequada da cadeia de frio. Cadeia de frio é o processo logístico da Rede de Frio para conservação dos imunobiológicos, desde o laboratório produtor até o usuário, incluindo as etapas de recebimento, armazenamento, distribuição e transporte, de forma oportuna e eficiente, assegurando a preservação de suas características originais. (BRASIL, 2017, p.17)

O objetivo da Rede de Frio reside, portanto, em garantir que todas as vacinas mantenham suas propriedades iniciais para não perderem a eficácia. Isso porque, por serem produtos termolábeis – isso é, que tendem a se decompor sob a influência de temperaturas baixas (MICHAELIS,2022c) –, as vacinas não podem ser expostas a variações de temperaturas inadequadas. Assim, para que o controle de temperatura seja eficiente, a Cadeia de Frio conta com importantes procedimentos de qualidade, baseados em normativos federais, como as Resoluções da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (RDC - ANVISA) (BRASIL, 2013).

Em outras palavras, para que se possa resguardar a eficácia das vacinas, faz-se necessário mantê-las em temperaturas adequadas, que são indicadas pelos seus próprios fabricantes, por meio da utilização de instalações e equipamentos adequados ao longo de todo o trajeto ou período de armazenamento.

Nessa esteira, a Figura 2, a seguir, apresenta tanto o fluxo da Rede de Frio, quanto os elementos necessários para que o armazenamento dos produtos termolábeis se dê de maneira correta a cada instância a que seja submetido: nacional, estadual, regional e local. O manuseio inadequado, assim como a utilização de equipamentos ou instrumentos desajustados, e até mesmo interrupções no fornecimento de energia elétrica, podem comprometer o processo de refrigeração ideal, e conseqüentemente, prejudicar a integridade e a eficácia das vacinas (BRASIL, 2001a).

Figura 2 - Fluxo da Rede de Frio Nacional



Fonte: (BRASIL, 2001a)

2.3. Logística de Distribuição e Armazenamento das Vacinas

O PNI possui entre suas atribuições o dever de realizar a logística de distribuição e armazenamento das vacinas. Segundo o Manual da Rede de Frio (BRASIL, 2017), essa logística de distribuição e armazenamento é organizada a partir de quatro instâncias, a seguir detalhadas.

A **Instância Nacional** representa a primeira, na qual são recepcionadas as vacinas enviadas pelos laboratórios: quando a procedência é internacional, utiliza-se o meio de transporte aéreo até o terminal alfandegário e, em seguida, o meio de transporte terrestre até a Central Nacional de Armazenamento e Distribuição de Insumos (Cenadi); já quando a procedência é integralmente nacional, o transporte se dá apenas via terrestre.

A Figura 3, a seguir, ilustra ambos os cenários mencionados. Seja qual for o meio de transporte, as vacinas devem ser acondicionadas em temperaturas ideais de +2°C a +8°C e de -25°C a -15°C, em área climatizada, com temperatura controlada de +16°C a +17°C (BRASIL, 2017).

Figura 3 - Transportes utilizados entre Laboratório Produtor e Instância Nacional



Fonte: PNI

A **Instância Estadual**, por sua vez, representa a segunda, e é responsável pelo recebimento das vacinas enviadas pelo Cenadi. Nela, o transporte dos imunizantes pode ser realizado por meio terrestre ou, ainda, dependendo da sensibilidade térmica da vacina e da extensão do trajeto, por meio aéreo, como se depreende da Figura 4.

Ademais, para se preservar a temperatura ideal das vacinas são utilizados caminhões frigoríficos e/ou caixas térmicas. Além disso, a temperatura deve atender às especificações dos fabricantes dos imunizantes e ser registrada durante todo o trajeto (BRASIL, 2017).

Figura 4 - Transportes utilizados entre Instância Nacional e Instância Estadual



Fonte: PNI

A **Instância Regional**, por seu turno, representa a terceira e é responsável pelo recebimento das vacinas da Instância Estadual. Nela, o transporte dos imunizantes se dá, via de regra, por meio terrestre, mas em situações excepcionais também se admite a utilização dos meios de transporte aquático ou aéreo, conforme ilustrado na Figura 5.

Assim como se viu na Instância anterior, para se preservar a temperatura ideal das vacinas são utilizados caminhões frigoríficos e/ou caixas térmicas, a temperatura deve atender às especificações dos fabricantes dos imunizantes e ser registrada durante todo o trajeto (BRASIL, 2017).

Figura 5 - Transportes utilizados entre Instância Estadual e Instância Regional



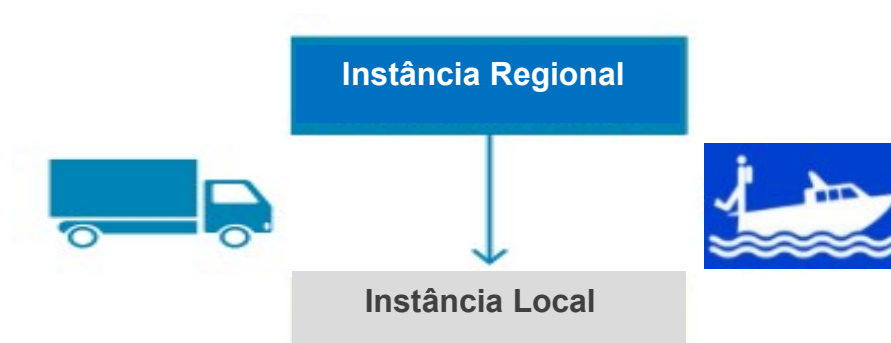
Fonte: Autor¹

¹ Montagem a partir de imagens retiradas do site PNI e Gettyimages.

A **Instância Local**, por fim, consiste na quarta e última, e recebe as vacinas da Instância Regional a partir de meios de transporte terrestres ou aquáticos, conforme ilustrado na Figura 6.

No mais, tal qual verificado nas duas instâncias imediatamente anteriores, para se preservar a temperatura ideal das vacinas são utilizados caminhões frigoríficos e/ou caixas térmicas, a temperatura deve atender às especificações dos fabricantes dos imunizantes e ser registrada durante todo o trajeto (BRASIL, 2017).

Figura 6 - Transportes utilizados entre a Instância Regional x Instância Local



Fonte: Autor²

As Salas de Imunização (SI) ou Salas de Vacinação (SV), que correspondem ao local autorizado pela Secretaria de Saúde competente para aplicação de vacinas e realização dos procedimentos inerentes às campanhas de vacinação, integram a Instância Local e representam a parte final da Rede de Frio (BRASIL, 2017). Contudo, conforme mencionado no Capítulo 1, em situações específicas, tais quais aquelas decorrentes da pandemia da COVID-19, em que o próprio contexto sanitário impôs a observância de determinadas condições especiais, como a rápida ampliação dos pólos de vacinação e o distanciamento social da população, admite-se a realização das campanhas de vacinação na modalidade extramuros, na qual se dão fora da SI ou SV.

A Figura 7, a seguir, apresenta alguns exemplos de campanhas de vacinação extramuros (BRASIL, 2017).

² Montagem a partir de imagens retiradas do site PNI e Gettyimages.

Figura 7 - Vacinação na Sala de Vacina x Vacinação Extramuros



Fonte: Autor³

De acordo com o Guia de Boas Práticas de Imunização em Áreas Remotas de Difícil Acesso, publicado por (SANTOS,2017, p.4), a vacinação extramuros compreende

quaisquer atividades realizadas fora das unidades de saúde. Baseiam-se em equipes de vacinação que realizam vacinação casa a casa (incluindo residências e instituições em geral, como escolas, creches, empresas, orfanatos, etc.), além da população em situação de rua, acampada, boias-frias, etc., especialmente, pessoas que vivem em áreas rurais, de difícil acesso (populações indígenas, ribeirinhas e quilombolas, por exemplo), possibilitando alcançar populações que, de outra maneira, certamente nunca seriam vacinadas.

Nesse sentido, para o transporte de vacinas em ações extramuros, o artigo 11 da Portaria nº 778, de 30 de agosto de 2017, da Secretaria Municipal de Saúde de São Paulo disciplina que

³ Montagem a partir de imagens retiradas do site Google.

o transporte dos imunobiológicos até o local de vacinação extramuros deve ser realizado de forma a garantir que a estabilidade, integridade e qualidade desses produtos não sejam comprometidas.

As vacinas devem ser transportadas em caixas térmicas, que mantenham temperaturas entre $+2^{\circ}\text{C}$ a $+8^{\circ}\text{C}$, com termômetro que permita o monitoramento e registro das temperaturas máxima, mínima e de momento. (SMS, 2017)

A Figura 8, a seguir, ilustra a sequência de organização do conteúdo das Caixas Térmicas e, também, a instalação do termômetro. Ambos os procedimentos devem ser adotados tanto para o transporte, quanto para o armazenamento dos imunizantes nas campanhas de vacinação extramuros, a fim de garantir uma boa refrigeração e o controle adequado da temperatura (SANTOS, 2017).

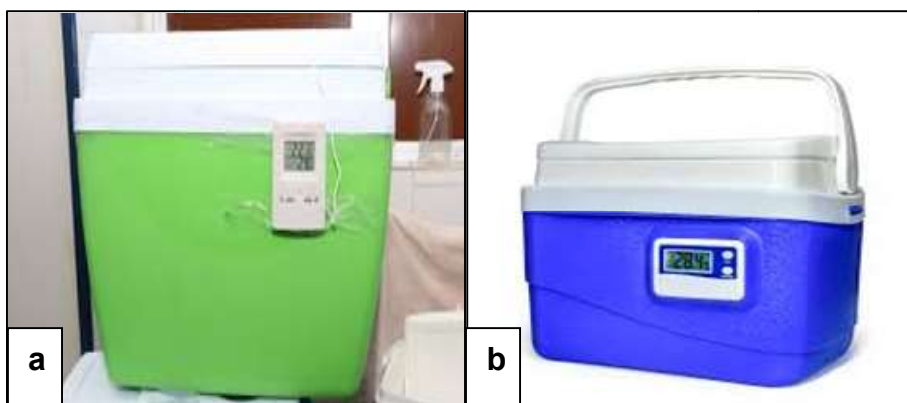
Figura 8 - Sequência de Organização da Caixa Térmica



Fonte: (SANTOS, 2017)

Ainda no que diz respeito às Caixas Térmicas, as boas práticas do PNI recomendam a utilização de termômetros externos com cabo extensor, tal qual ilustrado na Figura 9a, ou termômetros embutidos, tal qual ilustrado na Figura 9b, a fim de evitar abertura capaz de atrapalhar a leitura e propiciar o aumento da temperatura (BRASIL, 2001b).

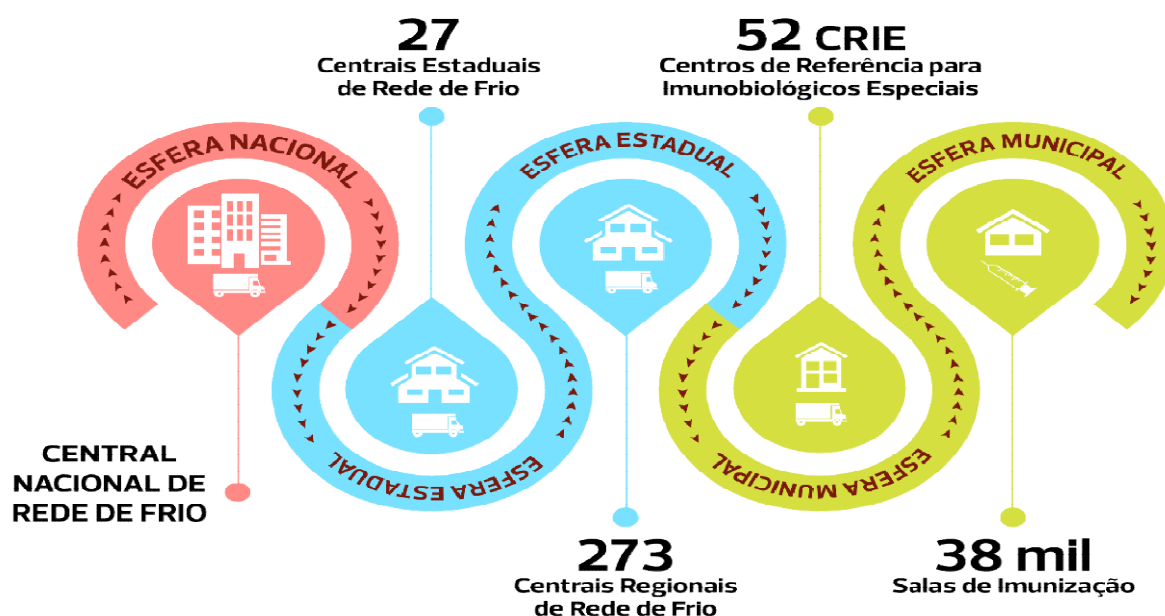
Figura 9 - Termômetros Externos com Cabo Extensor e Termômetros Embutidos



Fonte: Autor⁴

Para garantir a conservação e o armazenamento das vacinas em todas as instâncias, o PNI conta com uma estrutura nacional de logística robusta. A Figura 10 apresenta a organização da Rede de Frio, com as quantidades de centrais ou centros de distribuição de cada instância, desde a esfera nacional até a sala de imunização (BRASIL, 2021).

Figura 10 - Organização da Rede de Frio Nacional



Fonte: (BRASIL, 2021)

⁴ Montagem a partir de imagens retiradas do site Google e Tecnoferramentas.





2.4. Temperatura e Tempo de Armazenamento das Vacinas

O Manual da Rede de Frio (BRASIL, 2017, p.24) prevê duas variáveis de extrema importância para o armazenamento das vacinas, quais sejam, o tempo de armazenamento e a temperatura. Segundo se extrai da publicação,

a conservação dos imunobiológicos nas diversas instâncias da Rede de Frio prevê o tempo de armazenamento e temperatura, variáveis determinantes para a promoção de operações seguras na cadeia de frio. Conforme orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS), adotadas pelo PNI/MS, a relação entre as variáveis considera os processos da cadeia de frio, o volume e as atribuições das instâncias da Rede.

O Quadro 1 apresenta o período de armazenamento em relação à temperatura em toda a Rede de Frio. Com base nesses dados é possível realizar o planejamento do armazenamento das vacinas em cada uma das instâncias da logística de distribuição da Rede de Frio (BRASIL, 2017).

Quadro 1 - Período de Armazenamento x Temperatura

		Cenadi Centrais estaduais 6 a 12 meses	Centrais regionais, distrital ou municipais – Crie 3 a 6 meses	Local Sala de vacinação 1 mês
POSITIVO	+8°C	Vacinas diluentes* ¹ FA* ²	Vacinas diluentes* ¹ FA* ² VOP* ³	Vacinas diluentes* ¹ FA VOP
	+2°C	Soros Imunoglobulinas	Soros Imunoglobulinas	Soros Imunoglobulinas
NEGATIVO	-15°C			
	-25°C	FA VOP	FA VOP	
		 Vacinas diluentes Vacinas: BCG, dT, DT, HB, DTP, VRH, SCR, VRC, FTp, HiB, VIP, DTPa, HA, Meningo conj C, penta, Pncc 23V, Pncc10V, raiva embrião galinha, raiva vero, Varc, VRC, cólera, tetra viral, FLU3V.	 Soros Imunoglobulinas Soros: SARC, SBOTR, SBOCR, SBOLAQ, SBOTULBI, SCROT, SAD, SELAP, SESCOR, SLONO, SLOXO, SARH, SAT. Imunoglobulinas: IGHB, IGRH, IGTH, IGVZ.	 FA VOP  FA VOP FA: Vacina Febre amarela VOP: Vacina poliomielite oral.

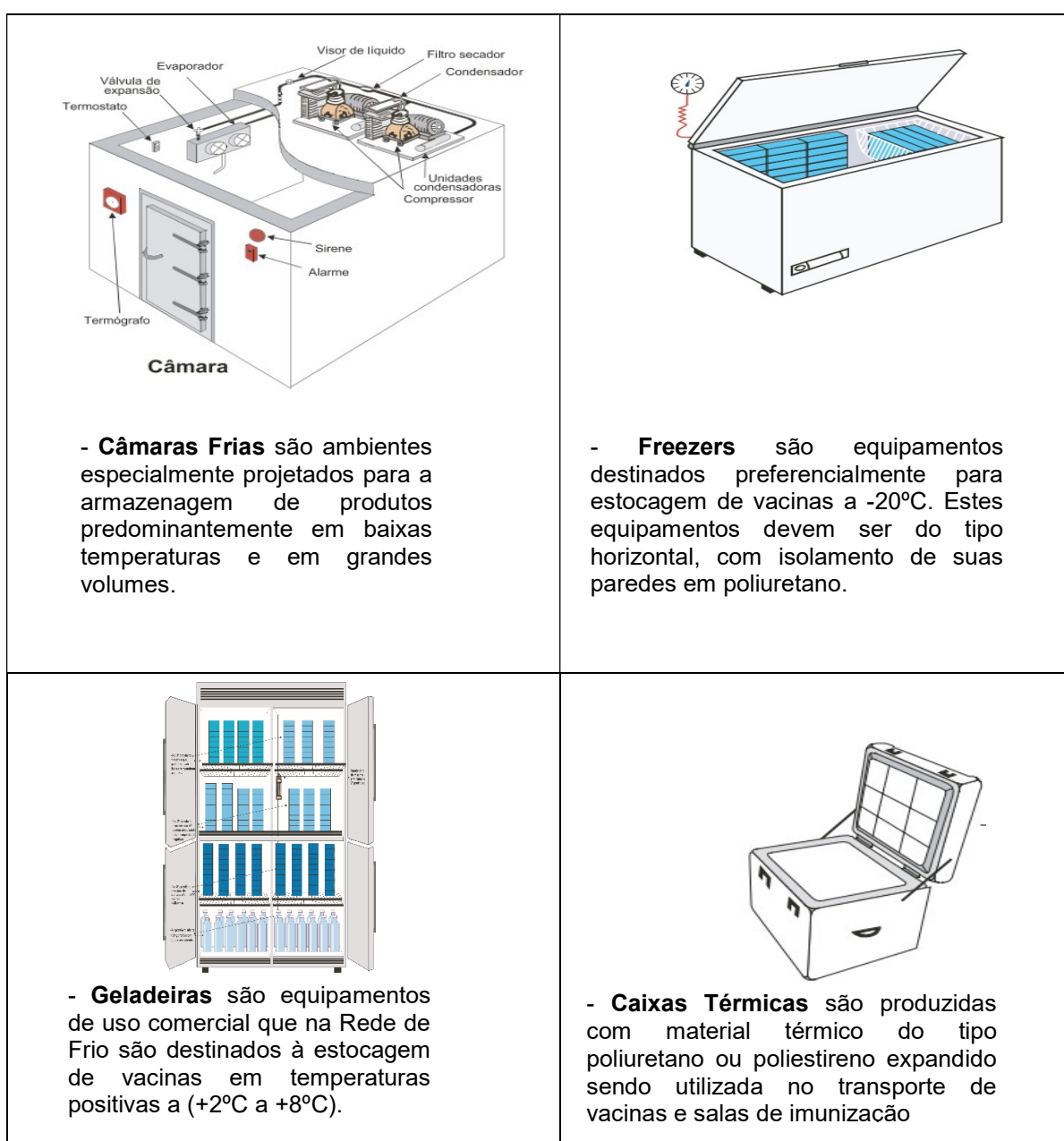
Nota: ¹ Alguns laboratórios fornecem determinados diluentes, separadamente das vacinas, à temperatura ambiente, que poderão ser mantidos nessa temperatura. ² Alguns laboratórios produtores orientam temperatura de armazenamento da FA de +2°C a +8°C. ³ A VOP após descongelada tem o prazo de validade de 3 meses.

Fonte: (BRASIL, 2017)

2.5. Equipamentos de Armazenamento e Distribuição

Para que a Rede de Frio alcance eficiência no armazenamento e na distribuição de vacinas, tanto no transporte dos imunizantes, quanto na Central de Recebimento, a utilização de determinados equipamentos se faz essencial à conservação da temperatura. A Figura 11 a seguir, ilustra e apresenta os equipamentos utilizados (BRASIL, 2001a).

Figura 11 - Equipamentos Utilizados da Rede de Frio



Fonte: Adaptada de (BRASIL, 2001)

2.6. Instrumentos de Monitoramento e Controle de Temperatura

Há vários tipos e modelos de instrumentos no mercado, com diferentes princípios de funcionamento, destinados a medir a temperatura e monitorar as suas variações nos ambientes de armazenamento, como o são os equipamentos de refrigeração e as caixas térmicas.

Os termômetros consistem nos instrumentos de medição mais utilizados pela Rede de Frio e são aplicados em toda a Cadeia de Frio do PNI. Ainda assim, em atenção às orientações da OMS, o PNI também possui recomendações referentes à utilização de outros instrumentos de medição, conforme apresentado no Quadro 2 (BRASIL, 2017).

Quadro 2 - Recomendações de Instrumentos de Medição

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	CÂMARA FRIA	CÂMARA REFRIGERADA	CAIXA PARA TRANSPORTE	CAIXA DE USO DIÁRIO
Termômetro de momento, máxima e mínima digital, com cabo extensor				
Termômetro de infravermelho com mira a laser				
Data Logger				
Registrador eletrônico frigorífico				
indicador de congelamento				

Fonte: PNI

2.7. Considerações do Capítulo 2

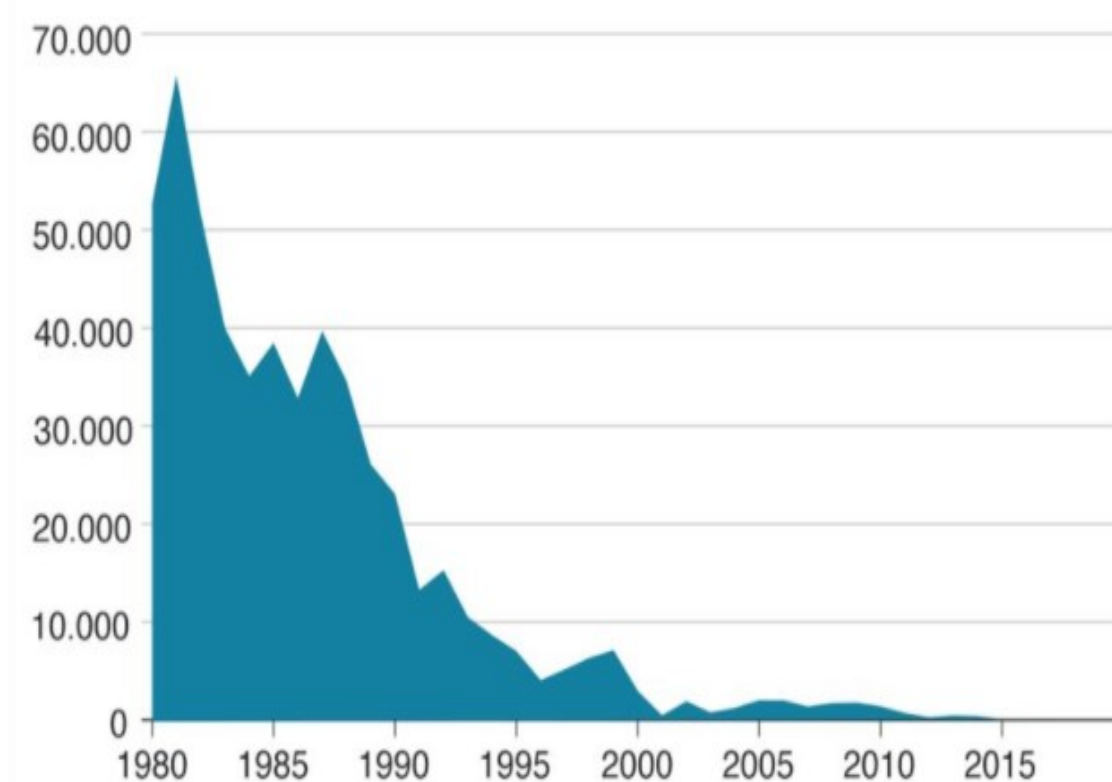
O conteúdo do Capítulo 2 teve por objetivo analisar de uma forma abrangente a estrutura inerente ao modelo de vacinação brasileiro, desde o recebimento das vacinas até a aplicação no paciente final, inclusive no que diz respeito aos equipamentos, instrumentos e procedimentos utilizados desde a logística de distribuição até o armazenamento dos imunizantes. O entendimento da Cadeia de Frio como um todo é essencial para suportar o desenvolvimento do dispositivo IoT proposto nesta monografia, que busca viabilizar o monitoramento da temperatura das vacinas no contexto das campanhas de vacinação extramuros.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Em um cenário de pandemia, como o decorrente da COVID-19, no qual a população mundial foi desafiada por índices de mortalidade em patamares absolutamente elevados, a vacinação consiste no melhor método para imunizar a população. Nesse sentido, inclusive, dados da OMS demonstram que, todos os anos, cerca de dois a três milhões de pessoas deixam de morrer devido à realização de campanhas de vacinação (IMPORTÂNCIA, 2021).

Apesar de serem eventos relativamente comuns há alguns anos, a importância da realização das campanhas de vacinação é tão significativa que, algumas doenças graves, tais quais a Poliomielite, foram praticamente extintas em decorrência das recorrentes ações de imunização em massa, conforme ilustrado no Gráfico 1 (VACINAS, 2020).

Gráfico 1 – Casos de Poliomielite registrados de 1980 a 2017

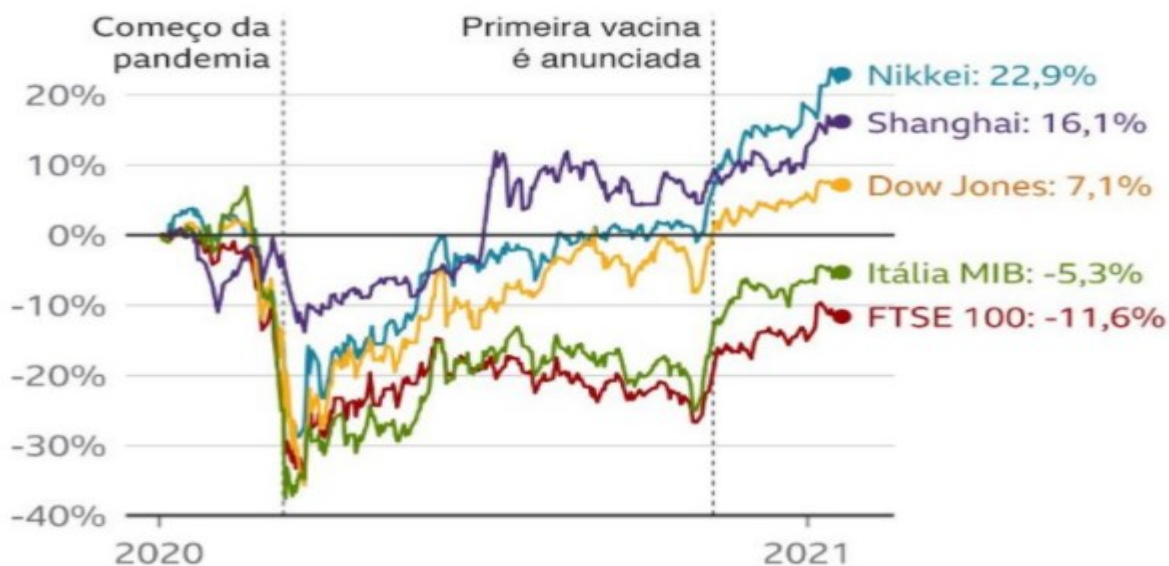


Fonte: OMS

Mas além do aspecto inerente à imunização da população, a vacinação também desempenha um papel muito importante na esfera econômica. Segundo estudo conduzido pelo Fundo Monetário Internacional (FMI), o crescimento mundial se estabeleceria em um patamar cerca de 3% menor, caso a vacinação contra a COVID-19 não houvesse ocorrido no ano de 2021 (SHIMABUKURO, 2021).

Indo além, porém ainda sob a perspectiva do reflexo econômico, tem-se que o impacto da vacinação contra a COVID-19 foi capaz, inclusive, de alterar o fluxo global de ações. O Gráfico 2, a seguir, ilustra um exemplo extraído no decorrer da pandemia da COVID-19, especificamente no momento em que se deu o anúncio do desenvolvimento da primeira vacina, no final do ano de 2020. O mercado de ações reagiu imediatamente, aumentando os índices das principais bolsas internacionais (JONES; PALUMBO; BROWN, 2021).

Gráfico 2 – Oscilação das Ações Após Anúncio da Primeira Vacina



Fonte: Boombreg

A importância da vacinação em massa, sob os mais variados prismas, é, como se viu, manifesta. Contudo, para que possa funcionar corretamente, faz-se necessário que as diretrizes do PNI sejam executadas com eficiência, isto é, com a adequada organização dos serviços de saúde, aplicação de estratégia de vacinação, comprometimento da comunidade, aquisição de vacinas eficazes, robusta logística de distribuição e controle no armazenamento das doses (BRASIL, 2001b).

É exatamente nesse contexto, portanto, que a vacina se inclui como item indispensável para a vacinação. Entretanto, apesar disso, perdas das mais diversas naturezas são esperadas e devem ser levadas em consideração, sejam decorrentes do atingimento do prazo de validade, quebra de frascos, falha em procedimentos, equipamentos ou instrumentos da rede de frio com defeitos (BRASIL, 2014).

A OMS reportou, em 2005, que 50% das doses de vacinas fornecidas ao mundo são desperdiçadas. A partir disso, a Aliança Global para Vacinas e Imunizações (GAVI) expediu orientação aos países no sentido de adotarem ações com vistas à redução desse percentual, gradativamente, até se alcançar o patamar de 5% (WHO, 2005).

O Brasil, por intermédio do PNI, iniciou o ano de 2021 admitindo um percentual 5% de perda das doses de vacinas, o qual posteriormente foi elevado para 10% (BRASIL, 2021). Todavia, alguns índices praticados por cidades brasileiras, que começaram a ser divulgados na própria constância da pandemia da COVID-19 no ano de 2021, revelaram, por exemplo, uma perda de 6,6% de doses em Belo Horizonte - MG (FONTES, 2021) e outra ainda mais expressiva, de 21% das doses, na cidade de Jardim de Angicos – RN (RN, 2021),

De acordo com o Manual da Rede de Frio (BRASIL, 2017, p.76), as perdas das doses de vacinas são classificadas de duas formas:

Perdas físicas, que ocorrem quando o imunobiológico ainda não teve sua embalagem primária aberta, com o frasco fechado. Decorrem de inadequada armazenagem, acondicionamento, conservação, manipulação e transporte, por exemplo, quebra ou fissura de frasco, vencimento de validade, excursão de temperatura por falha do equipamento, problemas de rotulagem, procedimento inadequado etc. Este tipo de perda, por sua característica, é mais controlável e mais fácil para reduzir ou eliminar; e

Perdas técnicas, que acontecem após a abertura da embalagem primária, com a abertura do frasco para administração da vacina. Pela característica da perda técnica e atividade desenvolvida nas instâncias locais, as perdas técnicas são, senão exclusivas, essencialmente das salas de imunização e crias, ocorrem, em grande parte, devido ao curto prazo de validade após abertura do frasco. O controle deste tipo perda, em relação à perda física, é considerado mais complexo, inclusive em função da diversidade da Rede de Frio Nacional, demanda novas políticas, estratégias e práticas melhoradas.

Ao longo da pandemia da COVID-19, o Brasil experimentou diversos eventos de perda física dos imunizantes em decorrência de variação de temperatura.

No estado do Espírito Santo, observou-se uma perda de 547 doses por oscilações de temperatura no armazenamento das vacinas. O trabalho de perícia realizado posteriormente detectou que uma falha no refrigerador da Unidade Básica de Saúde (UBS) da Instância Local foi responsável pelo comprometimento das doses (PASTI, 2021).

Outro caso se deu no estado do Rio Grande do Sul, no qual 4.500 doses foram desprezadas, em virtude de oscilações de temperatura identificadas em uma das câmaras da Rede de Frio, na Instância Municipal. A análise técnica, conduzida após o evento, constatou que uma queima de equipamento foi responsável por provocar a inutilização das vacinas (SÃO LEOPOLDO, 2021).

Mas as perdas de doses causadas por oscilação de temperatura não são um problema exclusivo do Brasil. Até mesmo países desenvolvidos, de primeiro mundo, sofrem as consequências desses eventos indesejados, como se observou no Japão, que perdeu 1.032 doses em 2021, em razão de uma falha no freezer de armazenamento (STAFF, 2021); e nos Estados Unidos, em que 16.000 doses foram desprezadas em razão da identificação de variação de temperatura na logística de distribuição (SALCEDO, 2021).

A comprovação da perda efetiva de doses de vacina, de per si, representa um problema significativamente grave, conforme restou amplamente demonstrado. Contudo, as consequências advindas da oscilação de temperatura podem ser ainda mais complexas e, inclusive, colocar em dúvida a integridade de um lote inteiro de vacinas, e não somente de algumas doses. Nesse caso específico, faz-se necessário suspender a campanha de vacinação como um todo, a fim de que o comprometimento ou não do lote seja constatado por meio de trabalho de perícia especializado, tal qual se deu em São Bento do Una – PE, em 2021, com 2.800 doses de imunizantes (VACINAS, 2021).

Estudos publicados sobre perdas de vacinas no PNI demonstram que as perdas físicas, provocadas por oscilação de temperatura, ocorrem na maioria das

vezes por ocasião do transporte ou do armazenamento dos imunizantes no decorrer das instâncias (SAMAD, 2011; PEREIRA et al., 2013). No entanto, especialistas alertam que boa parte da perda se deve à oscilação de temperatura, provocada por falhas em equipamentos das Unidades Básicas de Saúde (ASSÉ, 2021).

Em que pese a importância das campanhas de vacinação em massa para a saúde da população, e até mesmo para a economia dos países, bem como o fato de que muitas vezes são realizadas na modalidade extramuros para alcançar populações específicas ou atender a necessidades supervenientes, não foram observados na literatura especializada, nem mesmo nos noticiários, relatos de perda de doses de imunizantes em ações extramuros.

No entanto, as vacinações extramuros, pelo próprio fato de serem realizadas fora das dependências aprovadas pelas secretarias de saúde competentes, não dispõem dos mesmos recursos de infraestrutura comumente presentes nas SI ou SV para assegurar a manutenção da eficácia dos imunizantes, tampouco para permitir a identificação de oscilações de temperatura. Logo, não parece razoável admitir que, em um ambiente mais preparado para a vacinação, como o são as SI e SV, haja diversos eventos de perdas de doses de imunizantes por oscilação de temperatura, e que, em ambientes completamente adaptados e não dedicados a esse fim, como o são escolas, estacionamentos, shoppings centers, etc., os mesmos não aconteçam.

Em resumo, a constatação de que eventos de perda de doses de vacinas por oscilação de temperatura, que são justamente a sua causa mais comum, não são reportados no contexto extramuros, que sugere maior exposição dos imunizantes a vulnerabilidades face a necessidade de adaptação dos procedimentos de imunização às mais variadas condições ambientais, ratifica a hipótese proposta nesta monografia e consolidada a partir da oportunidade contextualizada no presente capítulo, de desenvolvimento de um dispositivo de IoT, e de sua respectiva sistemática, com vistas ao monitoramento da temperatura das vacinas por ocasião do transporte e armazenamento nas campanhas extramuros.

É importante destacar, por fim, que, mais do que um desenvolvimento tecnológico, a oportunidade ora contextualizada representa um importante elemento para resguardar a eficácia das doses de vacinas e a própria saúde da população

global, na medida em que permitirá monitorar a temperatura dos imunizantes ao longo do seu transporte e armazenamento nas campanhas extramuros e, com isso, assegurar que a sua aplicação se dê nas condições necessárias à preservação de sua integridade e ao desenvolvimento dos efeitos esperados.

3.1. Considerações do Capítulo 3

O conteúdo do capítulo contextualizou a oportunidade de pesquisa identificada na presente monografia, a partir da demonstração de que, embora os eventos de perda de doses de vacina por oscilação de temperatura sejam bastante comuns, os relatos identificados compreendem apenas as unidades de saúde, que dispõem de toda a infraestrutura necessária à conservação dos imunizantes, e não as campanhas extramuros, que se dão nos mais variados contextos e estão sujeitas à diversas adaptações para que possam ocorrer. Ao final, sugere que os eventos de perdas de doses em campanhas extramuros possuem grande potencial de ocorrência, mas apenas não sejam reportados em razão da ausência dos recursos necessários para que sejam constatados.

4. ANÁLISE METODOLÓGICA E RESPECTIVA APLICAÇÃO

Para a definição da metodologia adotada no presente trabalho foi realizada uma pesquisa narrativa, nas ferramentas de busca disponibilizadas pelas plataformas Google e Scielo, a partir da aplicação conjunta das expressões-chave “metodologia”, “análise de tecnologia” e “saúde”. Essa pesquisa teve por objetivo identificar eventuais trabalhos acadêmicos desenvolvidos a partir de métodos de análise de tecnologia, com vistas à auxiliar na identificação dos requisitos necessários ao desenvolvimento do dispositivo IoT proposto.

Os resultados iniciais da pesquisa identificaram, inicialmente, a metodologia Análise Custo-Efetividade (ACE), a qual foi descartada devido ao enfoque dado ao custo do desenvolvimento, que não consiste no objetivo do presente trabalho.

Em seguida, a repetição da pesquisa revelou entre seus resultados a metodologia intitulada Parecer Técnico-Científico (PTC), que é inclusive adotada pelo Ministério da Saúde em algumas análises de tecnologia, mas que também foi descartada devido à complexibilidade imposta pelo modelo frente ao tempo disponível para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, uma nova repetição da pesquisa apresentou a disciplina de Engenharia de Requisitos, que visa colher antecipadamente os requisitos necessários para o bom funcionamento de um projeto, a fim de que posteriormente sejam analisados, verificados e validados, e atendam por completo as necessidades estabelecidas (PANDEY; SUMAN; RAMANI, 2010).

O estudo conceitual do modelo proposto pela disciplina de Engenharia de Requisitos sugeriu, em um primeiro momento, a aderência da metodologia ao escopo da presente monografia. Sendo assim, passou-se para um segundo estágio da pesquisa narrativa, com vistas a compreender em profundidade as suas características e forma de aplicação.

Ao longo da realização da pesquisa foi identificada uma outra metodologia, sugerida por (MELLO, 2005), que embora também esteja baseada nos pilares da Engenharia de Requisitos, propõe um modelo mais simplificado, voltado a atender

às necessidades de uma equipe menor de desenvolvedores, a qual enfim se revelou integralmente aderente e fortemente indicada à realização deste trabalho.

A disciplina de engenharia de requisitos foi bastante utilizada, no passado, para desenvolvimentos voltados à engenharia de software. Atualmente, porém, se faz presente em várias áreas e vem sendo aplicada à análise de requisitos em Realidade Aumentada (ALMEIDA, 2018), Sistemas Embarcados (MARQUES; SIEGERT; BRISOLARA, [s.d.]) e, até mesmo, para o desenvolvimento de aplicações de Internet das Coisas (SILVA et al., 2019).

Todavia, para que o desenvolvimento do método sugerido possa ser acompanhado com maior clareza, necessário se faz entender o conceito de “requisito”. Segundo a literatura especializada, “requisitos” são atributos, ou especificações, obtidas antes do início de um projeto, a fim de satisfazer a funcionalidade de um sistema ou produto. Um requisito bem elaborado consiste, em última análise, em um documento que declara com clareza todas as funcionalidades de um sistema (PANDEY; SUMAN; RAMANI, 2010).

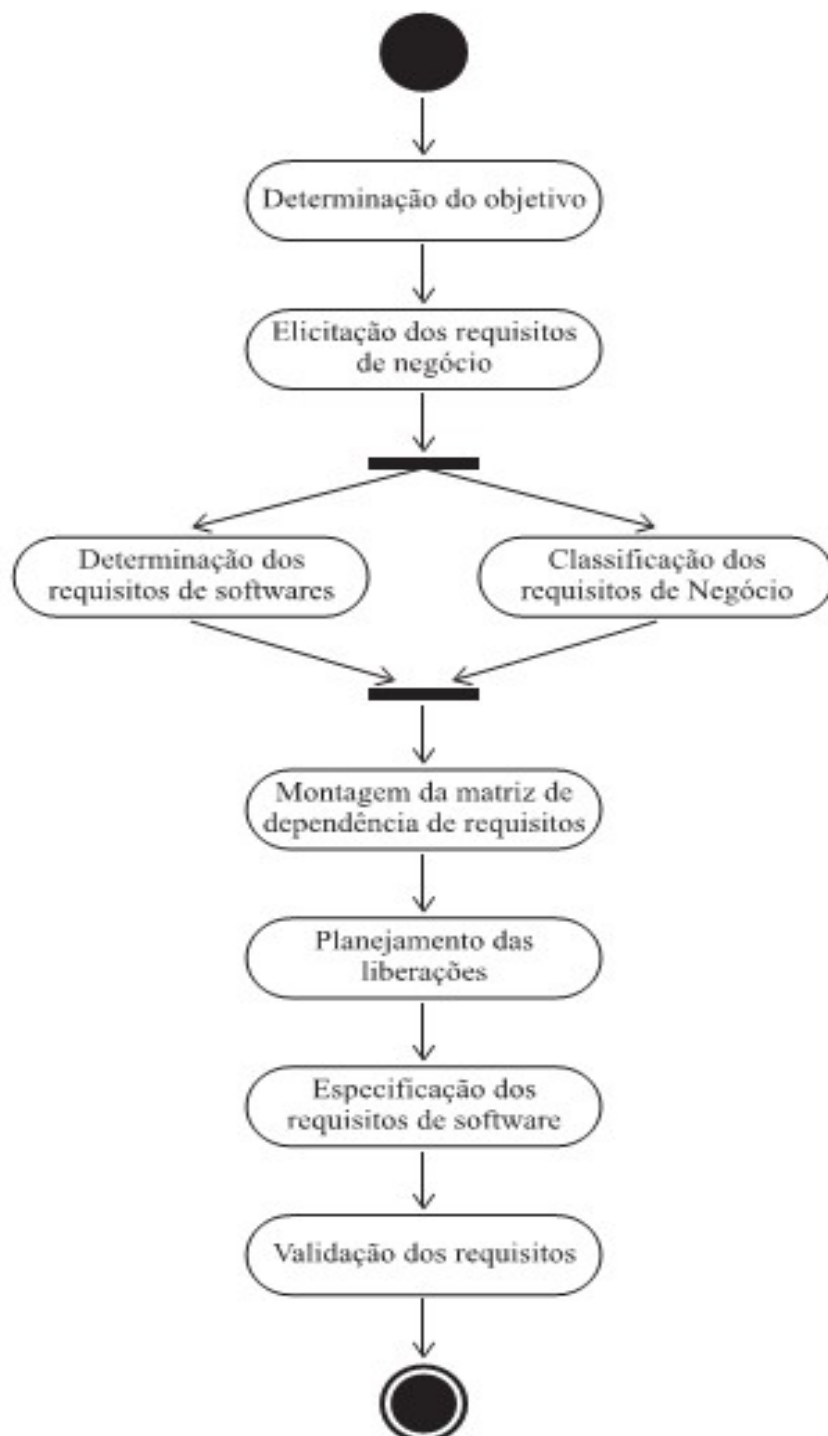
Os requisitos são, via de regra, distinguidos e classificados como “funcionais” e “não funcionais”. Segundo (ROCHA; MAGALHÃES, 2005, p.4),

Requisitos Funcionais estão intimamente ligados às funcionalidades propostas pelo sistema, e que serão usadas na resolução do problema do contratante, e atenderá todas as suas necessidades funcionais. Resumidamente, são os requisitos que objetivamente cumprem as reais necessidades do usuário do sistema. Exemplo: Controle financeiro, controle de tráfego aéreo, controle de produção; e os **Requisitos Não-Funcionais** estão geralmente ligados à qualidade do produto como, por exemplo, robustez, segurança ou integridade.

A fase de coleta de requisitos é essencial para o bom andamento do projeto, na medida em que contribui para prevenir atrasos no cronograma, retrabalhos ao longo do projeto e, conseqüentemente, custos adicionais. Segundo (PRESSMAN, 2005), mudanças ao longo da fase de requisitos podem aumentar o custo do projeto em até 6 vezes, mas caso sejam realizadas durante a fase de desenvolvimento, podem incrementá-lo em até 100 vezes.

A Figura 12 apresenta o fluxograma da metodologia com todas as atividades propostas, utilizando como exemplo o processo de controle de temperatura no contexto das campanhas de vacinação extramuros.

Figura 12 - Fluxograma da Metodologia



Sendo assim, são apresentados nos itens a seguir o detalhamento de cada uma das fases que compreendem a execução da metodologia proposta.

4.1. Determinação do Objetivo

A determinação do objetivo é o início de todo o processo, onde é escolhido o produto, serviço ou software a serem obtidos os requisitos para uma futura especificação. Esse objetivo deve ser uma frase, que demonstre a necessidade do produto (MELLO, 2005).

No caso da presente monografia, o objetivo consiste em, “especificar os requisitos funcionais e não funcionais, para o desenvolvimento de um dispositivo de IoT para monitorar a temperatura das vacinas ao longo do transporte e armazenamento dos imunizantes em campanhas extramuros”.

4.2. Elicitação dos Requisitos de Negócio

A elicitação dos requisitos de negócios tem por objetivo procurar e identificar informações do cliente, para que o produto a ser desenvolvido atenda por completo às necessidades do usuário (VIEIRA, 2012). Segundo (SOMMERVILLE, 2007), os requisitos de negócios consistem nas informações de funcionamento do produto, seguidas de suas restrições.

A elicitação dos requisitos de negócio pode ser realizada de diversas formas, como por meio de entrevistas, questionários, e análise de manuais, normas ou documentação técnica (CHIEN, 2018).

No caso da presente monografia, a elicitação dos requisitos foi realizada por meio da análise de documentos, como normas e manuais disponibilizados pelo Ministério da Saúde, por intermédio do PNI (BRASIL, 2017); (BRASIL, 20021); (SMS, 2017); (SANTOS, 2017). A análise teve por objetivo, portanto, obter os requisitos necessários para que a vacinação extramuros aconteça, sem oscilações de temperaturas, garantindo a qualidade integral das vacinas.

4.3. Determinação de Requisitos

A Tabela 1 apresenta o **Número** do Requisito de Negócio (RN) referente ao monitoramento da temperatura em campanhas de vacinação extramuros, seguido do título do **Requisito** extraído da análise dos documentos realizada na elicitação, e do **Detalhe** com a sua descrição.

Tabela 1 – Requisitos do Negócio

Número	Requisito	Detalhe
RN 1	Monitorar a temperatura das caixas térmicas de armazenamento e transporte das vacinas, na vacinação extramuros.	As caixas térmicas deverão ter um sensor que medirá a temperatura interna, um sensor que medirá a temperatura ambiente e um sensor que medirá movimentos bruscos no transporte da caixa térmica.
RN 2	Alertar o agente de saúde caso os valores de temperatura oscilem fora da faixa especificada.	O dispositivo deverá captar as temperaturas e alertar, através de um sinal sonoro (Bip), quando a temperatura oscilar fora da faixa mínima e máxima.
RN 3	Alertar o usuário caso a caixa tenha movimentos bruscos.	O dispositivo deverá captar os movimentos da caixa e alertar, através de um sinal sonoro (Bip), quando houver uma variação brusca de movimento.
RN4	Registrar as ocorrências de temperatura e movimentos bruscos.	O dispositivo deve guardar todas as informações de ocorrência e, depois, enviar para o servidor.

Fonte: Adaptada de MELLO (2005)

A Tabela 2 apresenta os Requisitos Funcionais que especificam as funcionalidades que o dispositivo deve ter para atender os requisitos do negócio.

Tabela 2 – Requisitos Funcionais

Número	Requisito	Detalhe
RF 1	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de vacinas.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre +2°C e +8°C.
RF 2	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de transporte de vacinas.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre +2°C e +8°C.
RF 3	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de gelo.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre +0°C e +8°C.
RF4	Deverá monitorar a temperatura ambiente.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre -20°C e +50°C.
RF 5	Deverá ser monitorado movimentos bruscos ocorridos na caixa térmica.	O dispositivo terá que ter um sensor de vibração, para detectar o movimentos bruscos e alertar o colaborador através de um bip duplo.
RF 6	A temperatura deverá ser verificada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente.	O dispositivo terá que medir a temperatura máxima, mínima, atual e ambiente, e mostrar em um display a cada uma hora, sinalizando essa atualização com um Bip. Aguardar o botão OK ser pressionado para parar o Bip.
RF 7	A temperatura deverá ser registrada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente, assim com a localização da vacinação.	O dispositivo terá que que enviar para a nuvem a temperatura atual, máxima, mínima ambiente,data e hora da medição e a localização.A conexão da internet deverá ser realizada por WIFI e/ou GSM.A geolocalização deverá ser adquirida por GNSS.
RF 8	O órgão responsável pela saúde deverá ser comunicado, caso ocorra oscilações de temperatura fora da orientação do fabricante e em qual localização isso ocorreu.	O dispositivo deverá enviar para a nuvem, todas as medidas fora da faixa ajustada pelo agente de saúde, assim como data,hora e geolocalização.

4.4. Classificação dos Requisitos de Negócio

Nessa etapa os requisitos de negócio foram classificados levando em consideração a importância do requisito para o usuário. Essa atividade se concentra no benefício que o dispositivo oferecerá para o usuário (MELLO, 2005).

Para classificação dos requisitos de negócio baseado em valor, foi utilizado o método de avaliação numérica funcional, baseado na matriz de mudge, que utiliza a hierarquia das principais funções do dispositivo, comparando as funções de duas em duas, identificando a função de maior importância para o usuário (SCHUSTER, 2014).

Segundo (MELLO, 2005) essa a classificação deve ser realizada em 3 etapas:

- **Etapa 1** – Preencher a matriz de mudge com os requisitos do negócio, apresentado no Quadro 3 .

Quadro 3 – Matriz de Mudge

	RN2	RN3	RN4	TOTAL	%
RN1					
RN2					
RN3					
RN4					

Fonte: Autor

- **Etapa 2** – Fazer uma relação entre todos os requisitos, detectando qual é mais importante, como por exemplo no Quadro 4 , que se RN1 é mais importante de RN2, colocar na matriz RN1, caso contrário colocar RN2.

Quadro 4 – Exemplo de Relação entre Requisitos de Negócio

	RN2	RN3
RN1	RN1	

Fonte: Autor

- **Etapa 3** - Determinar qual o valor de importância de cada requisito do negócio, nesse momento será acrescentado um peso para cada requisito, conforme Tabela 3. É necessário adicionar o valor do peso na matriz, se RN1 é pouco mais importante que RN2 adicionar o peso é 1, conforme Quadro 5.

Tabela 3 - Peso dos Requisitos

PESO	IMPORTÂNCIA
1	Pouco mais importante
2	Moderadamente mais importante
3	Muito mais importante

Fonte: Autor

Quadro 5 – Peso Adicionado ao Requisito

	RN2	RN3
RN1	RN1 1	

Fonte: Autor

Por fim, é necessário realizar as três etapas para todos os requisitos do negócio, logo após somar todos os pesos da coluna total e depois, calcular a porcentagem de importância de cada requisito de negócio, na coluna (%), conforme matriz geral de classificação de importância de requisitos de negócio da vacinação extramuro, representada no Quadro 6.

Quadro 6 – Matriz de Importância de Requisitos

	RN2	RN3	RN4	TOTAL	%
RN1	RN2 3	RN1 3	RN4 2	3	19%
RN2		RN2 3	RN2 2	8	50%
RN3			RN4 3	0	0%
RN4				5	31%

Fonte: Autor

Analisando a matriz fica evidente que o requisito RN2 é de muita importância para o cliente, é que RN3 não é tão importante, entretanto necessário para o projeto.

4.5. Matriz de Dependência de Requisitos

No Quadro 7 é apresentada a matriz de dependência de requisitos, que segundo (MELLO,2005, p.106),

Permite o rastreamento de cada um dos requisitos funcionais em relação aos requisitos de negócio e vice-versa. A matriz é montada, primeiramente, com os requisitos de negócio e, em seguida, com os requisitos funcionais. Em seguida, preenche-se cada coluna com o número dos requisitos. Se um requisito for dependente de outro requisito, coloca-se um (X) indicando a dependência na célula da matriz, localizada na intersecção entre os dois requisitos.

Quadro 7 – Matriz de Dependência de Requisitos

		RF1	RF2	RF3	RF4	RF5	RF6	RF7	RF8
Requisitos de Negócios									
RN1	Monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento e transporte das vacinas, na vacinação extramuros.	X	X	X	X		X	X	X
RN2	Alertar o usuário, caso os valores de temperatura oscilem.	X	X	X	X		X		
RN3	Alertar o usuário, caso a caixa tenha movimentos bruscos.					X			
RN4	Registrar as ocorrências de temperatura e movimentos bruscos.	X	X	X		X	X	X	X
Requisitos Funcionais									
RF1	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de vacinas.								
RF2	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de transporte de vacinas.								
RF3	Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de gelo.								
RF4	Deverá monitorar a temperatura ambiente.								
RF5	Deverá ser monitorado movimentos bruscos ocorridos na caixa térmica								
RF6	A temperatura deverá ser verificada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente.	X	X	X	X				

Requisitos Funcionais

RF7	A temperatura deverá ser registrada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente, assim com a localização da vacinação.	X		X	X				
RF8	O órgão responsável pela saúde deverá ser comunicado, caso ocorra oscilações de temperatura fora da orientação do fabricante e em qual localização isso ocorreu.	X	X	X	X				

Fonte: Adaptada de MELLO (2005)

4.6. Planejamento das Liberações

Após analisar a matriz de mugde e a matriz de dependência de requisitos, foi possível planejar as entregas parciais do projeto.

Ou seja, a partir da análise da matriz de mugde foi identificado que as implementações dos requisitos de negócio, ou seja, o que é de fato mais importante para o cliente, seguirá a sequência de liberação de requisitos RN2, RN4, RN1 e RN3. Observando a matriz de dependências de requisitos, observa-se que para implementação do requisito RN2, é necessário implementar o requisito funcional RF1, RF2, RF3, RF4, RF6, RF7 e RF8. Já para implementar o requisito RN4, é necessário implementar o requisito de RN2, mais o requisito funcional RF5. Sendo assim, todos os oitos requisitos funcionais já serão implementados, consequentemente os requisitos de negócio RN1 e RN3 serão implementados.

De uma forma resumida os requisitos funcionais dos dispositivos serão liberados seguindo essa sequência RF1, RF2, RF3, RF4, RF6, RF7, RF8 e RF5.

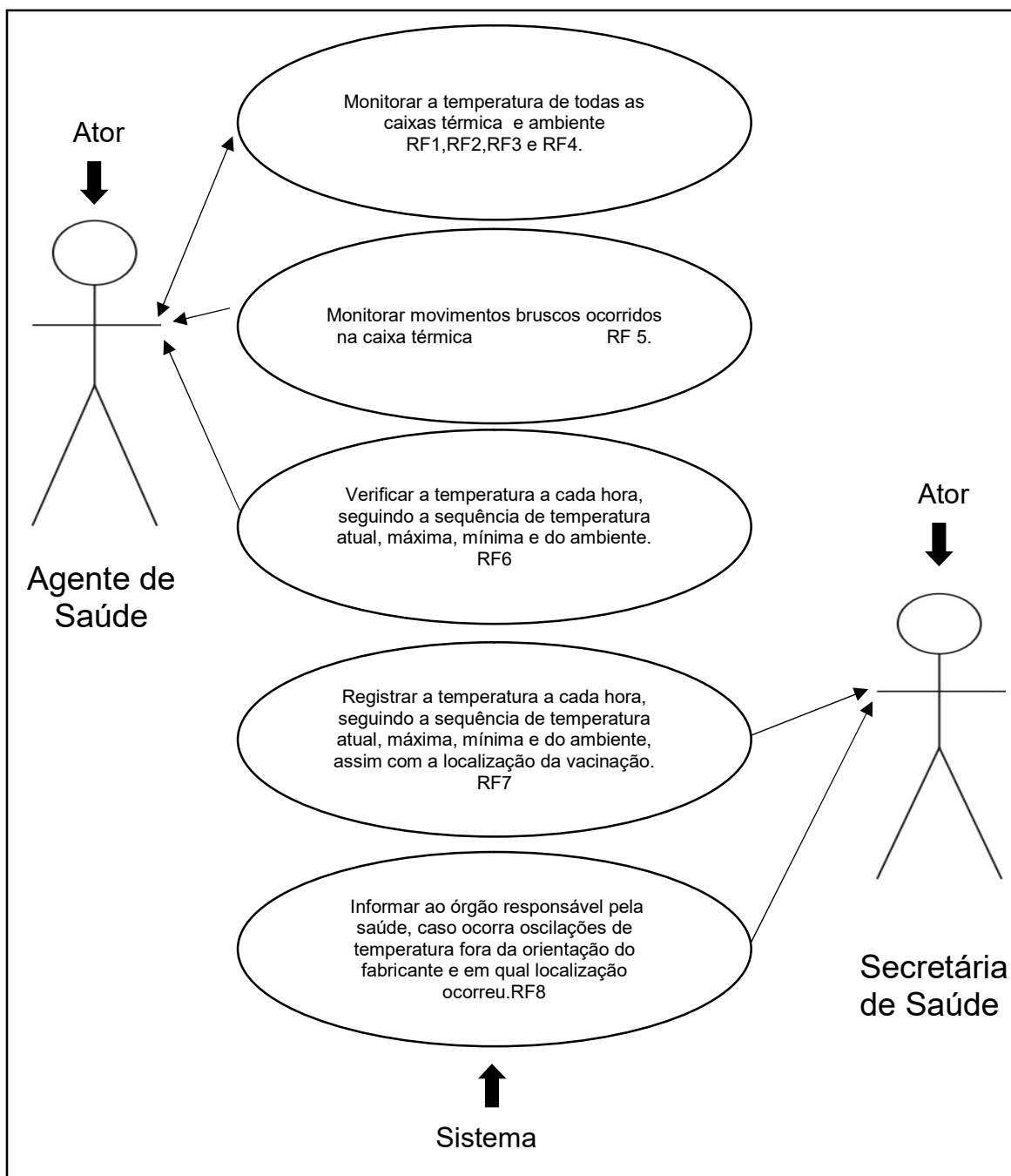
4.7. Especificação dos Requisitos

Ao iniciar a especificação dos requisitos é recomendável fazer um diagrama de casos de uso, conforme Quadro 8. De acordo com (GUDWIN,2011, p.1), o objetivo dessa atividade

é iniciar o processo de especificação dos requisitos, desenvolvendo cenários genéricos descrevendo a interação entre o(s) usuário(s) e o

sistema. Nesta atividade, explora-se a descoberta de diferentes possíveis casos de uso. Estes casos de uso devem envolver todos os tipos de interações desejadas entre o sistema e os usuários.

Quadro 8 – Diagrama de Casos de Uso



Fonte: Autor

A análise do diagrama de casos de uso facilita a identificação da interação do usuário que é o (ator) com o (sistema), ajudando no preenchimento das especificações a seguir.

Na metodologia proposta nesse trabalho, as especificações devem ser descritas de forma simplificada, ou seja, uma descrição sucinta e objetiva. Essa descrição pode ser retirada da própria lista de requisitos, levando em consideração o planejamento das liberações (MELLO, 2005). As especificações estão apresentadas a seguir, do Quadro 9 até o Quadro 16.

Quadro 9 – Especificação 1

Requisito	Sequência de Liberação
RF1	Prioridade 1
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de vacinas.	O dispositivo terá um sensor de temperatura como range de medição que atenda valores entre +2°C e +8°C.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Ajustar no dispositivo a temperatura Max e Min aceitável, segundo especificações do fabricante da vacina. Tomar uma ação de contenção, quando o dispositivo, sinalizar através de um Bip que existe algo errado.	O dispositivo irá medir a temperatura, e sinalizar através de um bip, caso a temperatura esteja fora dos parâmetros ajustados.

Fonte: Autor

Quadro 10 - Especificação 2

Requisito	Sequência de Liberação
RF2	Prioridade 2
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de transporte de vacinas.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre +2°C e +8°C.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Ajustar no dispositivo a temperatura Max e Min aceitável, seguindo especificações do fabricante da vacina. Tomar uma ação quando o dispositivo sinalizar através de um Bip, que ocorreu algum erro.	O dispositivo irá medir a temperatura, e sinalizar através de um bip, caso a temperatura esteja fora dos parâmetros ajustados.

Fonte: Autor

Quadro 11 - Especificação 3

Requisito	Sequência de Liberação
RF3	Prioridade 3
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
Deverá monitorar a temperatura da caixa térmica de armazenamento de gelo.	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre +0°C e +8°C.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Ajustar no dispositivo a temperatura Max e Min aceitável, seguindo especificações do fabricante da vacina. Tomar uma ação quando o dispositivo sinalizar através de um Bip, que ocorreu algum erro.	O dispositivo irá medir a temperatura, e sinalizar através de um bip, caso a temperatura esteja fora dos parâmetros ajustados.

Fonte: Autor

Quadro 12 - Especificação 4

Requisito	Sequência de Liberação
RF4	Prioridade 4
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
Deverá monitorar a temperatura ambiente	O dispositivo terá um sensor de temperatura com uma faixa de medição que atenda valores entre -20°C e +50°C.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Ajustar no dispositivo a temperatura Max e Min aceitável, seguindo especificações do fabricante da vacina. Tomar uma ação quando o dispositivo sinalizar através de um Bip, que ocorreu algum erro.	O dispositivo irá medir a temperatura, e sinalizar através de um bip, caso a temperatura esteja fora dos parâmetros ajustados.

Fonte: Autor

Quadro 13 - Especificação 5

Requisito	Sequência de Liberação
RF6	Prioridade 5
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
A temperatura deverá ser verificada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente.	O sensor terá que medir a temperatura em toda a jornada, mostrando em um display a temperatura, atual, máxima, mínima e ambiente. Sendo atualizado a cada hora, e indicando com um Bip.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Esperar a sinalização do bip, verificar as temperaturas e aperta o botão de OK.	O dispositivo terá que medir a temperatura máxima, mínima, atual e ambiente, e mostrar em um display a cada uma hora, sinalizando essa atualização com um Bip. Aguardar o botão OK ser pressionado para parar o Bip.

Fonte: Autor

Quadro 14 - Especificação 6

Requisito	Sequência de Liberação
RF7	Prioridade 6
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
A temperatura deverá ser registrada a cada hora, seguindo a sequência de temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente, assim como a localização da vacinação.	O dispositivo terá que enviar para a nuvem a temperatura atual, máxima, mínima ambiente, data e hora da medição e a localização. A conexão da internet deverá ser realizada por WIFI e/ou GSM. A geolocalização deverá ser adquirida por GNSS.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Consultar em servidor, o histórico dos registros.	O dispositivo enviará para um servidor, a cada uma hora as temperatura atual, máxima, mínima e do ambiente, assim como data, horário e geolocalização.

Fonte: Autor

Quadro 15 - Especificação 7

Requisito	Sequência de Liberação
RF8	Prioridade 7
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
O órgão responsável pela saúde deverá ser comunicado, caso ocorra oscilações de temperatura fora da orientação do fabricante e em qual localização isso ocorreu.	O dispositivo deverá enviar para a nuvem, todas as medidas fora da faixa ajustada pelo agente de saúde, assim como data, hora e geolocalização, os dados serão enviados pela internet.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Consultar em servidor, o histórico dos registros.	O dispositivo enviará para um servidor, todas as medidas fora da faixa ajustada pelo agente de saúde, assim como data, hora e geolocalização.

Fonte: Autor

Quadro 16 - Especificação 8

Requisito	Sequência de Liberação
RF5	Prioridade 8
Nome do Caso de Uso	Descrição da Atividade
Deverá ser monitorado movimentos bruscos ocorridos na caixa térmica.	O dispositivo terá que ter um sensor de vibração, para detectar o movimentos bruscos e alertar o colaborador através de um bip duplo.
Ação do Ator	Resposta do Dispositivo
Escutar um Bip duplo, e movimentar a caixa térmica com cuidado.	O dispositivo alertará ao usuário, através de um Bip duplo, toda vez que tiver movimentações bruscas na caixa térmica.

Fonte: Autor

4.8. Validação dos Requisitos

A validação dos requisitos consiste em uma das atividades essenciais no processo de análises de requisitos e tem a função de verificar se os requisitos estão corretos e se atendem ao objetivo (MELLO, 2005).

De acordo com (PRESSMAN,2005), detectar um erro e corrigi-lo durante a fase de requisitos, pode ter um custo de 100 vezes menor, caso essa descoberta seja detectada na produção do produto.

Para esse trabalho foi utilizada para validação dos requisitos o método de prototipagem, que é uma abordagem eficaz para validação de requisitos, onde é possível detectar erros e encontrar possíveis soluções (YANG; KE; LI, 2019).

A prototipagem é muito utilizada para avaliação de requisitos onde é necessário uma resposta rápida, vários estudos abordam esse assunto em diferentes disciplinas, desde a prototipagem de Hardware descrito por (BUCHENRIEDER, 1998), ou até em software na saúde descrito por (MUNIRAJ; JAGANNATHA, 2007).

4.9. Considerações do Capítulo 4

Nesse capítulo foi aplicada na prática a metodologia simplificada de engenharia de requisitos, ou seja, foi retirado de documentos do PNI informações necessárias para compor requisitos do cliente, com o objetivo de obter especificações para o desenvolvimento do dispositivo IoT de monitoramento de temperatura em vacinação extramuros.

5. DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO (PROTOTIPAGEM)

Esse capítulo visa determinar os componentes eletrônicos que serão usados na prototipagem do dispositivo. A escolha deve ser baseada nas definições das especificações, que foram construídas com base nos requisitos funcionais, oriundos dos requisitos de negócio. A sequência da escolha desses componentes atenderá a prioridade das liberações, definidas no planejamento.

5.1. Especificação 1,2,3 e 4 (Sensor de Temperatura)

Para essa especificação será selecionado o sensor de temperatura que medirá a temperatura interna da caixa térmica das vacinas e a temperatura do ambiente.

Sensores são componentes sensíveis a alguma mudança de energia do ambiente, essa variação pode ser qualquer grandeza física, como por exemplo, energia luminosa, cinética, temperatura e etc. Os sensores geralmente tem saída digital ou analógica (WENDLING, 2010).

Já sensores de temperatura são componentes que detectam temperaturas através de característica físicas, como variação de resistência, tensão ou corrente elétrica (HAYASAKA, 2012) e (ARAGONÉS et al., [s.d.]).

Para atender as quatro especificações foi escolhido o sensor digital de temperatura da marca Dallas Semicondutor, de modelo DS18B20, que é apresentado na Figura 13, assim como suas características técnicas fornecidas pelo fabricante (DALLAS, 2007). Esse é um sensor bem comum no mercado brasileiro, de fácil acesso, de baixo custo e bem preciso, conforme estudo realizado por (MARTINAZZO; ORLANDO, 2016) e (AMORIM; DIAS; SOARES, 2015).

Figura 13 - Especificações Sensor de Temperatura DS18B20

CARACTERISTICAS TECNICAS	
Tensão de operação	3 à 5V
Comunicação	1 fio
Faixa de medição	-55°C à +125°C
Resolução de saída	9-bits à 12-bits (programável)
Tempo de conversão	750ms (12-bits)
Precisão	±0.5°C entre -10°C e +85°C

Fonte: Adaptada de DALLAS (2007)

A Tabela 4 apresenta uma comparação da faixa de temperatura especificada e a temperatura sugerida, fica evidenciado que o sensor DSB20 atende toda a faixa de especificação.

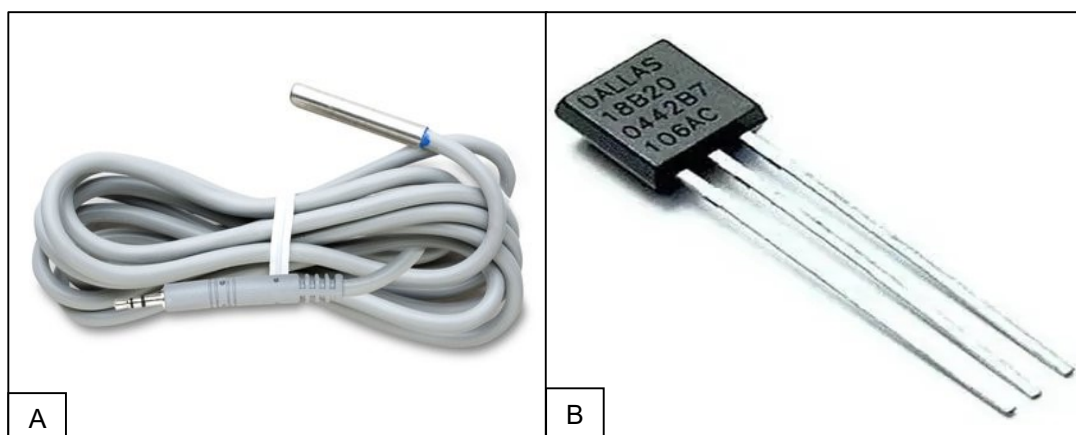
Tabela 4 - Comparação das Especificações

ESPECIFICAÇÃO SOLICITADA	ESPECIFICAÇÃO SUGERIDA
Especificação 1 (+2°C e +8°C)	Especificação DS18B20 (-55°C a +125°C)
Especificação 2 (+2°C e +8°C)	Especificação DS18B20 (-55°C a +125°C)
Especificação 3 (+0°C e +8°C)	Especificação DS18B20 (-55°C a +125°C)
Especificação 4 (-20°C e +50°C)	Especificação DS18B20 (-55°C a +125°C)

Fonte: Autor

O DS18B20 é fabricado em dois modelos, o primeiro com uma proteção a prova d'água e com cabo, representado na Figura 14A, que é indicado as especificações 1, 2 e 3, onde é necessário a introdução do sensor dentro da caixa térmica. Já o segundo modelo é fabricado sem cabo e sem proteção contra água, representada na Figura 14B, esse modelo é indicado para a especificação 4, onde medirá a temperatura ambiente.

Figura 14 - Encapsulamento DS18B20



Fonte: Autor⁵

5.2. Especificação 5 (Display OLED)

Para essa especificação é necessário a escolha de um display que servirá para o agente de saúde visualizar as temperaturas no dispositivo.

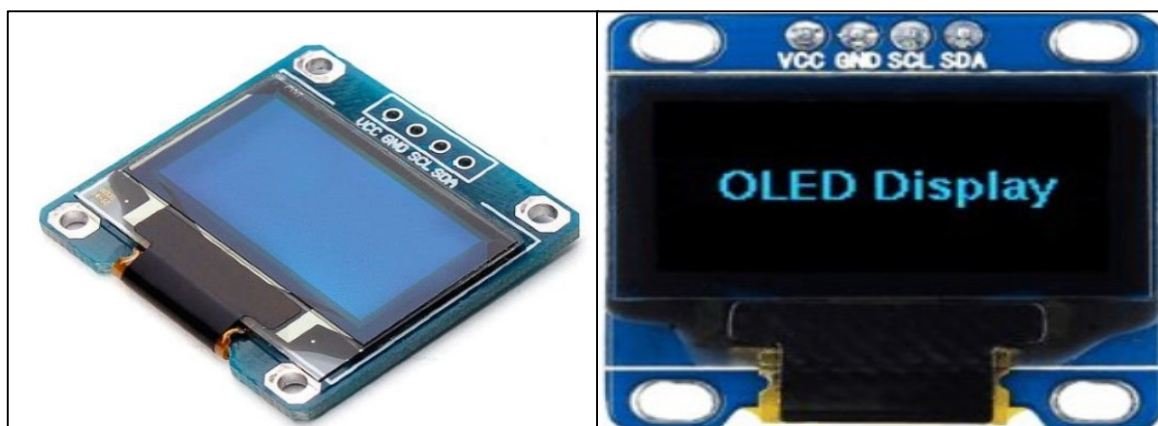
Um display é um componente eletrônico que tem a função de mostrar as informações visuais, seja ela informações pré-programadas, ou informação externas, capturadas por sensores. Para essa especificação foi escolhido o display *Organic Light-Emitting Diode* (OLED) que é um tipo de display de alta eficiência, onde a informação mostrada no display pode ser visualizada de vários ângulos, essa tecnologia é bastante utilizada em eletrodomésticos, como por exemplo os televisores (BHRIJESH et al., 2014).

Para essa especificação foi selecionado o Display OLED 128x64 0.96" representado na Figura 15. Esse modelo de display tem uma boa resolução, dimensões reduzidas e baixo consumo de energia, essas informações foram retiradas da documentação técnica (SYSTECH, 2008), descrito Quadro 17.

Alguns artigos descrevem a utilização desse mesmo modelo em projetos de IoT como (SANTOS, 2015) e (DESSBESSEL et al., 2020).

⁵ Montagem a partir de imagens retiradas do site Google e Mercado Livre.

Figura 15 - Display OLED 128x64 0.96"



Fonte: Autor⁶

Quadro 17 - Características Técnicas Display OLED 128X64 0.96"

Dados Técnicos e Dimensões	
Modelo: SSD1306	Interface: I2C
Não necessária a utilização de backlight	Tensão: 2,8 a 5V
Maior economia de energia 20mA	Resolução: 128x64 pixels
Projeção de textos e imagens	Peso: 3,4g
Efeitos de transição e animação	Dimensões (CxLxA): 28x28x12mm
Tela: 0,96"	Dimensões da tela (CxL): 27x15mm

Fonte: SYSTECH (2008)

5.3. Especificação 5 (Buzzer)

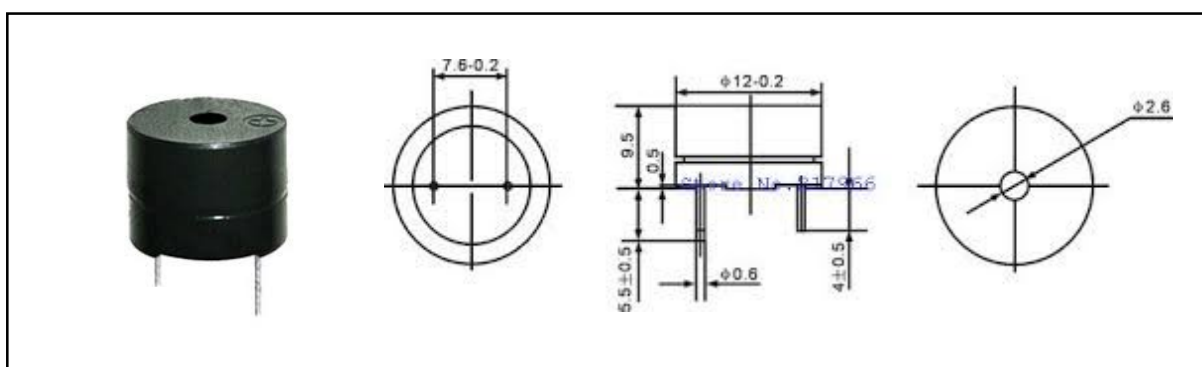
Para essa especificação é necessário a escolha de um componente para alertar o agente de saúde sobre alguma ocorrência, seja por variação de temperatura da vacina fora da faixa ajustada, ou por motivo de movimento brusco na caixa térmica, o dispositivo terá que gerar um sinal sonoro “Bip”.

⁶ Montagem a partir de imagens retiradas do site Arducore.

Um componente bastante comum para sinalização acústica é o Buzzer, ele pode ser mecânico, eletromecânico ou piezoelétrico, e é muito utilizado em equipamentos aonde é necessário sinalização através de som (MANOEVA; PICHUROV, 2020) .

Para essa especificação foi escolhido o Buzzer da Figura 16, por ser pequeno e de fácil acesso no mercado brasileiro. Suas principais características estão descritas no Quadro 18 , informações retiradas do próprio fabricante (SPC,2010).

Figura 16 - Sinalizador Acústico Buzzer ABI-042-RC



Fonte: (SPC, 2010)

Quadro 18 - Características Técnicas Buzzer ABI-042-RC

DADOS TÉCNICOS	
Tensão de operação	2 a 3v
Tensão nominal	1,5 v
Corrente nominal máxima na tensão nominal	20mA
Saída de som a 20cm	≥80dB
Frequência ressonancia	2300 ±400Hz
Temperatura de operação	-30 a + 70°C
Temperatura de armazenamento	-40 a + 85°C
Peso	2,0g

Fonte: (SPC, 2010).

Quadro 19 - Características Técnicas Módulo WIFI ESP-WROOM-32

Interfaces para periféricos:	Segurança:
12-bit SAR ADC até 18 canais	Padrão IEEE 802.11 recursos de segurança para todas as edições, incluindo WFA, WPA/WPA2 e WAPI
2 × 8-bit DACs	Boot seguro
10 × Sensores de toque (GPIOs de detecção capacitiva)	Criptografia de Flash
Sensor de temperatura	1024-bit OTP, até 768 bits para os clientes
4 × SPI	Criptografia de hardware de aceleração: AES, SHA-2, RSA, criptografia de curva elíptica (ECC), gerador de número aleatório (RNG)
2 × Interfaces I ² S	Conectividade sem fio:
2 × Interfaces I ² C	Wi-Fi: 802.11 b/g/n
3 × UART	Bluetooth: v4.2 BR/EDR e BLE
Controladores de host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC	Processadores:
Controlador escravo SDIO/SPI	CPU: Xtensa dual-core (ou single-core) de 32 bits LX6 microprocessador, operando em 160 ou 240 MHz e realizar até 600 DMIPS
Interface Ethernet MAC da com DMA dedicado e Suporte Protocolo IEEE 1588 com Tempo Preciso	Ultra baixa potência (ULP) co-processador
Barramento CAN 2.0	Gerenciamento de energia:
Controlador remoto infravermelho (TX/RX, até 8 canais)	Regulador de baixa eliminação interno
Motor PWM	Domínio Individual de energia para o RTC
LED PWM (até 16 canais)	5uA de consumo no sono profundo.
Sensor de efeito Hall	Acordar através de interrupções no GPIO, timer, através de medições no ADC ou pelo sensor de interrupção de toque capacitivo.
Pré-amplificador analógico de ultra baixa potência	

Fonte: (ESPRESSIF, 2021)

5.5. Especificação 6 e 7 (Módulo GSM)

O Global System for Mobile (GSM) se tornou o principal meio de comunicação de dados sem fio nos últimos anos, por aproveitar a própria infraestrutura da rede de celular consegue ter uma boa conectividade e longo alcance na transmissão de dados (GU; PENG, 2010).

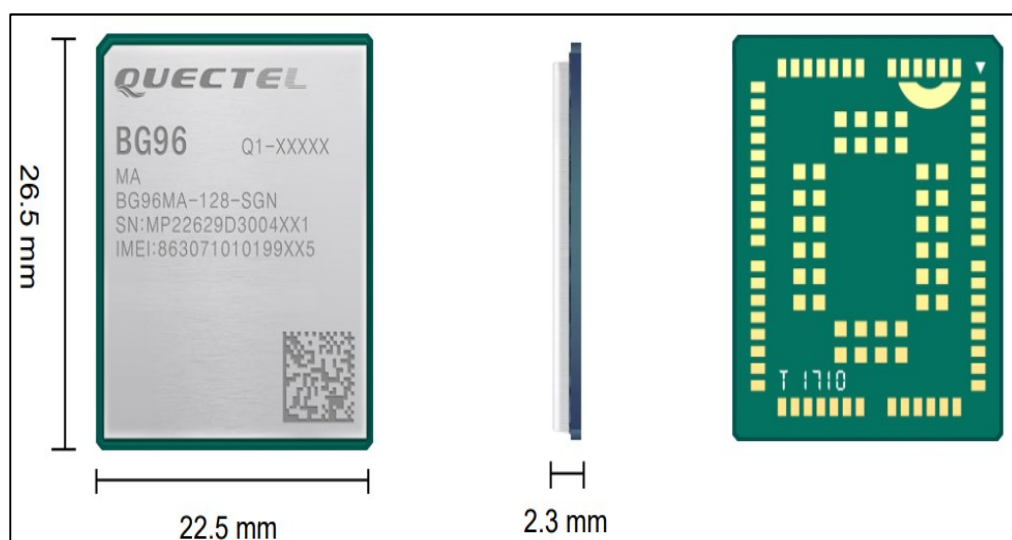
Hoje o GSM se tornou o a tecnologia mais utilizada para transmissão de dados de longo alcance, e em IoT não é diferente, vários estudos citam essa, seja na agricultura conforme descrito por (ISLAM et al., 2019), em cidades inteligentes

como (KUL, 2017), ou até mesmo em saúde descrito por (GRECAS; VENIERIS; KOUTSOURIS, 2000).

Para essa especificação foi selecionado o módulo GSM BG96, representado na Figura 18. O BG96 é um módulo da série *Low Power Wide Area* (LPWA), ou seja, consegue transmitir dados em longo alcance e baixo consumo de energia, suas principais características técnicas, estão disponíveis no Quadro 20, dados adquiridos do fabricante (QUECTEL, 2020).

Estudos recentes como o de (KHAN et al., 2021), testam a eficiência do BG96 usando a nova tecnologia *Narrowband Internet of Things* (NB-IOT), que promete revolucionar a transmissão de dados de longo alcance e baixo consumo.

Figura 18 - Módulo GSM BG96



Fonte: (QUECTEL, 2020)

Quadro 20 - Características Técnicas Módulo GSM BG96

Características Gerais	Interfaces
3GPP E-UTRA	USB 2.0 com alta velocidade de até 480 Mbps
Faixa de temperatura: -40 ° C ~ + 85 ° C	UART × 3
Dimensões: 26,5 mm × 22,5 mm × 2,3 mm	PCM × 1
Sensor de temperatura	ADC × 2 (15 bits)
Peso: 3.1g	GPIO × 2 (I2C e UART3 podem ser reconfigurados como 4 GPIOs extras)
Tensão de alimentação: 3,3 V ~ 4,3 V	
3GPP TS27.007, 3GPP TS 27.005	Interface SIM × 1
Comandos AT aprimorados	NETLIGHT para indicação de status de rede

Recursos Aprimorados	
GNSS (opcional): GPS, GLONASS, BeiDou / Compass, Galileo, QZSS	Processador ARM A7, com Flash de 3 MB
	Cat M1:Max. 375Kbps (DL), Max. 375Kbps (UL)
Atualização de firmware: via interface USB	Cat NB1:Max. 32Kbps (DL), Max. 70Kbps (UL)
	EDGE:Max. 296Kbps (DL), Max. 236.8Kbps (UL)
DFOTA:Atualização de firmware Delta Over	GPRS:Max. 107Kbps (DL), Max. 85.6Kbps (UL)
Consumo	
Consumption @LTE Cat M1 (Typical): Power Saving Mode: 10uA Standby State: 16mA @DRX=1.28s	Consumption @LTE Cat NB1 (Typical): Power Saving Mode: 10uA Standby State: 16mA @DRX=1.28s
Max. Power: 23dBm	190mA @23dBm

Fonte: (QUECTEL, 2020)

5.6. Especificação 6 e 7 (Módulo GNSS)

Para essa especificação é necessário a escolha de um componente eletrônico que fará a geolocalização do dispositivo, para depois ser possível a identificação da localização da vacinação extramuros.

O *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que em português significa, sistema global de navegação por satélite, é muito utilizado para posicionamento geográfico. Uma grande vantagem de usar o GNSS é a cobertura global e a infraestrutura já implantada, podendo ser utilizada sem nenhum custo. Hoje existem vários sistemas de posicionamento global como GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, entre outros (AHMED; SWAMY, 2021).

Para essa especificação foi escolhido o módulo GNSS BG96 da Figura 18, que além de ser um módulo GNSS é um módulo GSM, e tem suas especificações descritas no Quadro 20.

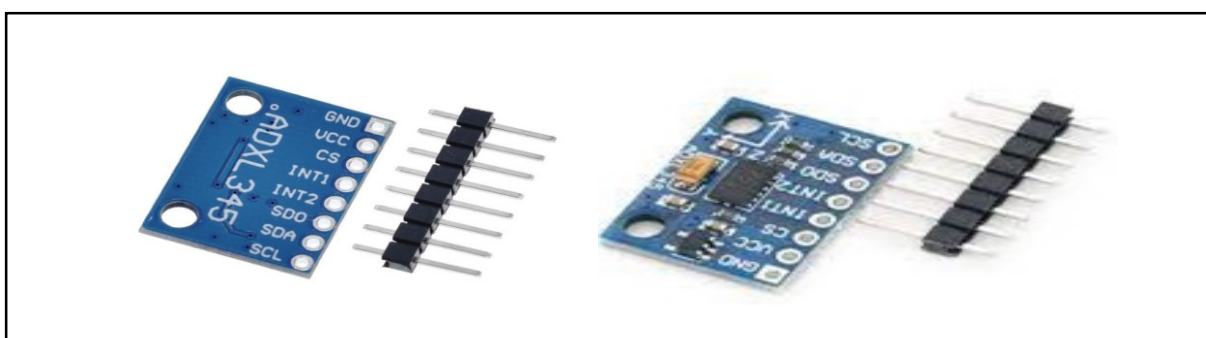
5.7. Especificação 8 (Acelerômetro)

A especificação 5 consiste em identificar que a caixa térmica esta passando ou passou por movimentações bruscas, será necessário que o dispositivo consiga identificar tais movimentos e alerte ao agente de saúde. Para atender essa especificação foi escolhido um sensor conhecido como acelerômetro.

O acelerômetro tem a função de detectar a aceleração do eixo X,Y e Z, portando sendo possível medir movimentações bruscas. O modelo de acelerômetro escolhido foi o Adxl345, representado na Figura 19. Essa escolha foi baseada em características técnicas fornecidas pelo fabricante (DEVICES,2009), descritas no Quadro 21.

Esse mesmo componente é bastante usado em IoT, como por exemplo em monitoramento de terremotos, descrito por (HOQUE et al., 2015), e análise de vibração, evidenciado por (HASIBUZZAMAN et al., 2020).

Figura 19 - Acelerômetro Adxl345



Fonte: Autor⁸

Quadro 21 - Características Técnicas Adxl345

Dados Técnicos	
Informação	Interface SPI/I2C, dispensa o uso de conversores a/d -3 Eixos
Sensibilidade	$\pm 2 \text{ g}/\pm 4 \text{ g}/\pm 8 \text{ g}/\pm 16 \text{ g}$
Consumo	23uA em utilização e 0.1uA em stand-by
Tensão de alimentação	3-5V
Tamanho	20mm x 10mm

Fonte: Adaptada de DEVICES (2009)

5.8. Acessórios Necessários Para Construção do Dispositivo

Nesse capítulo serão selecionados alguns acessórios de apoio necessários para a construção do dispositivo.

⁸ Montagem a partir de imagens retiradas do site Mercado Livre.

Para que a comunicação com a internet seja estável é necessário uma antena de boa qualidade, para esse item foi selecionado a Mini Antena GSM ANT 11000044, representada no Quadro 22 (LANTECH, 2010).

Quadro 22 - Características Técnicas Mini Antena ANT11000044

DADOS TÉCNICOS	
Faixa de frequência	704 ~ 960 MHz; 1710 ~ 2690 MHz
Ganho	1,68 dBi (ganho de pico)
Impedância	50 Ω
Conector	SMA (P) Giratório
Dimensão	$\varnothing 9,4 \times 27$ (L) $\times 87,5 / 105$ (A) mm
Temperatura operacional	-30 ° C ~ + 75 ° C

Fonte: Adaptada de (LANTECH, 2010)

Para a captura da geolocalização ser mais eficiente, foi selecionada uma antena ativa interna modelo AVX1004627, representado no Quadro 23 , assim como suas características técnicas (ETHERTRONICS, 2019) .

Quadro 23 – Características Técnicas Antena AVX1004627

DADOS TÉCNICOS	
Pico de ganho	3.7 dBi
Ganho no Zenith	3.59 dBic
Razão axial	1.0 dB
Eficiência média	60%
VSWR	< 2.0:1
Impedância do ponto de alimentação	50 Ω

Fonte: Adaptada de (ETHERTRONICS,2019)

Para alimentar o dispositivo, foi selecionado a bateria de Li-ion INR18650-25R, representada no Quadro 24, assim como informações técnicas adquiridas do fabricante (SAMSUNG, 2014).

Quadro 24 - Características Técnicas Bateria INR18650-25R

	DADOS TÉCNICOS	
	Capacidade nominal de descarga	2.500mAh
	Tensão Nominal	3,6V
	Tensão de Descarga	2,5V
	Peso	45.0g Max
	Dimensão	Altura: 64,85 ± 0,15 mm Diâmetro: 18,33 ± 0,07 mm
	Temperatura operacional	Carga: 0 a 50 °C Descarga: -20 a 75 °C

Fonte: Adaptada de (SAMSUNG,2014)

Para fazer algumas configurações no dispositivo, será necessário chaves, para esse item foi selecionado a chave táctil, representada no Quadro 25, assim como informações técnicas fornecida pelo fabricante (BEZERRA,2015).

Quadro 25 – Características Técnicas Chave Táctil

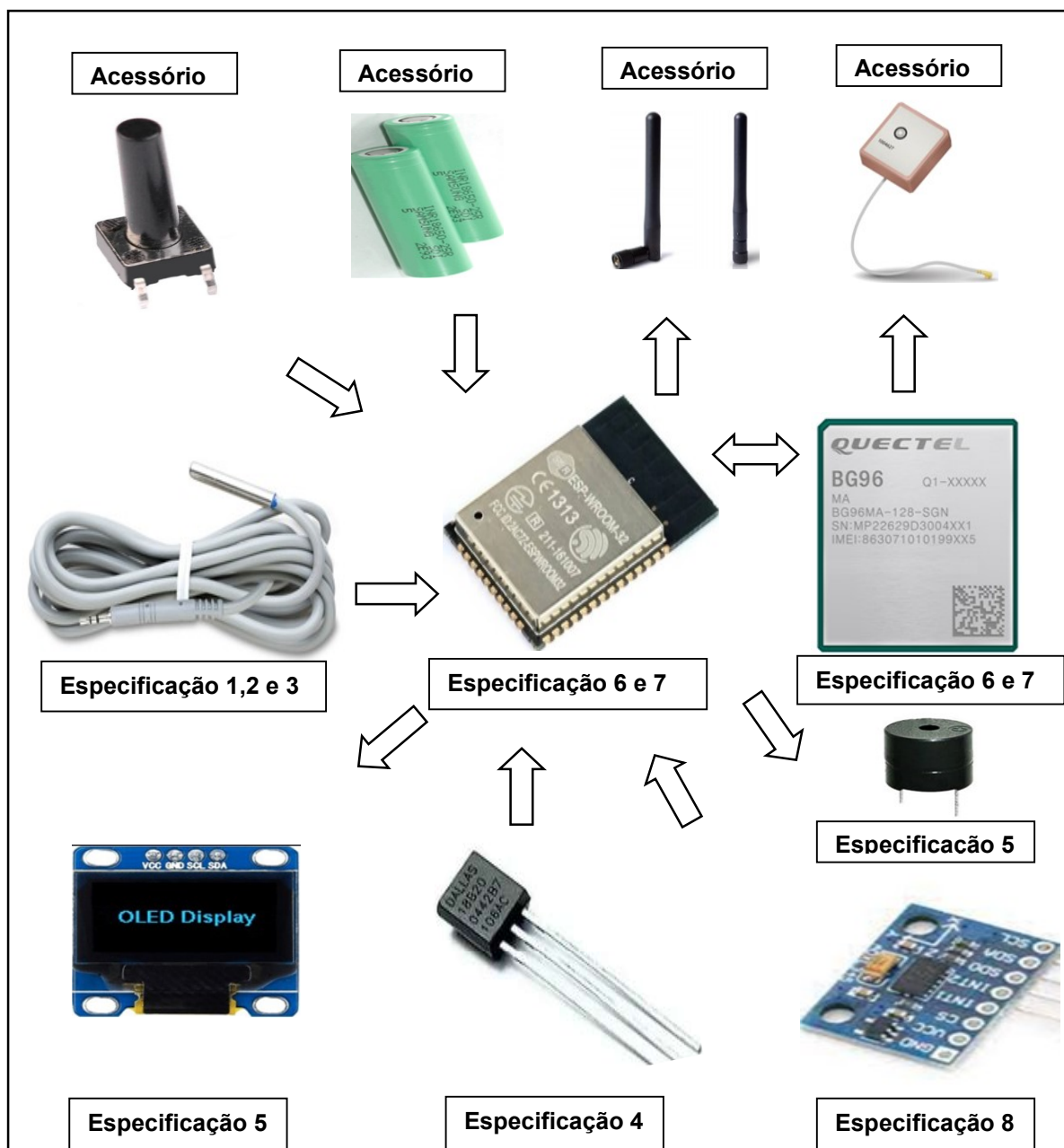
	DADOS TÉCNICOS	
	Tensão Nominal	12V
	Corrente Nominal	50mA
	Resistência de contato	≤100 mΩ
	Força de Operação	130 gf ~ 210 gf
	Vida útil mecânica	100.000 Ciclos
	Dimensão	6x6mm, ø3,5x9,5mm – 180 graus

Fonte: Adaptada de (BEZERRA, 2015)

5.9. Montagem completa do Dispositivo com Todas as Especificações

A Figura 20 apresenta todos os componentes utilizados para a construção do dispositivo, assim como o número da especificação de cada item.

Figura 20 - Todos os Componentes para Construção do Dispositivo

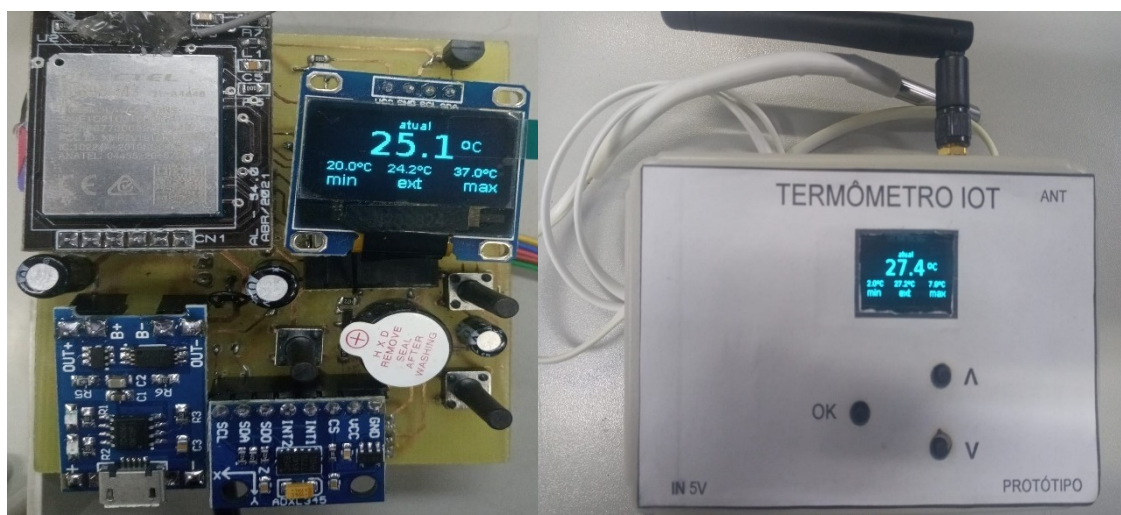


Fonte: Autor

5.10. Montagem Prática do Dispositivo

Por fim a Figura 21, a montagem prática de todos os componentes, deixando preparado para testes.

Figura 21 - Montagem Prática do Dispositivo



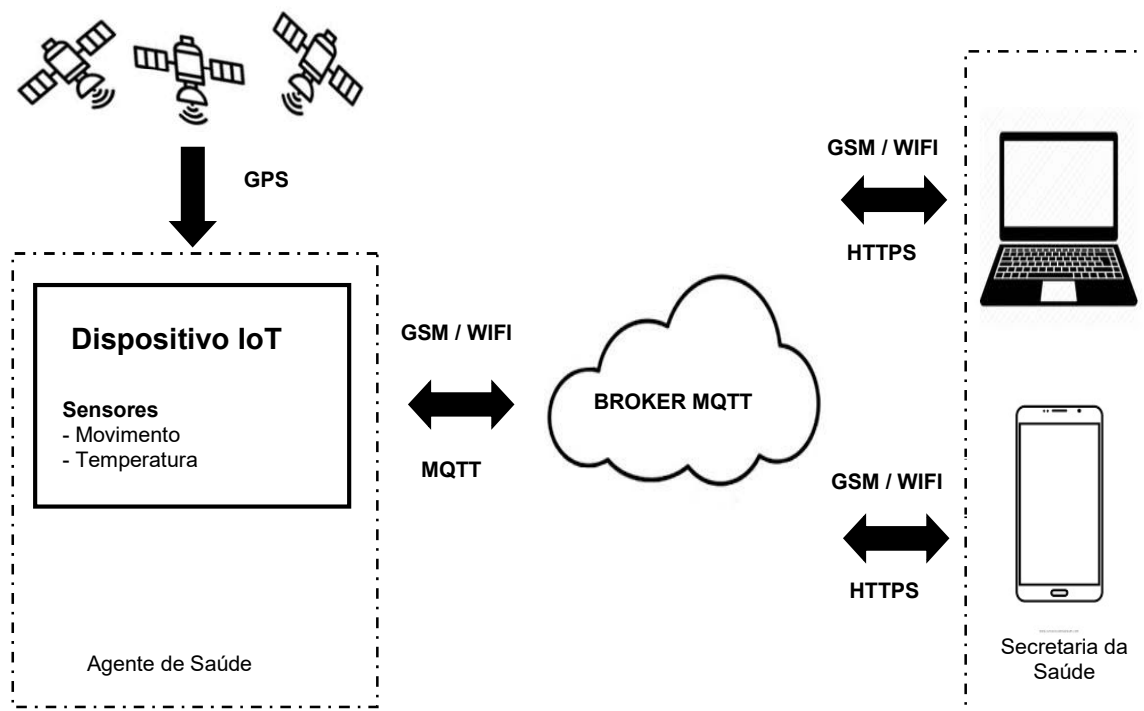
Fonte: Próprio Autor

5.11. Arquitetura IoT Utilizada para Prototipagem

Para o teste do dispositivo foi realizada uma simulação prática da vacinação extramuros.

Nessa simulação foi utilizado a arquitetura apresentada na Figura 22, ou seja, no domínio do agente de saúde o dispositivo que processa os dados recebidos dos sensores e satélite e envia para a nuvem via GSM ou WIFI no protocolo de comunicação *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). No domínio da secretaria de saúde a aplicação, que consome o banco de dados hospedado na nuvem via GSM ou WIFI no protocolo de comunicação *Hyper Text Transfer Protocol Secure* (HTTPS), que alimenta a plataforma IoT, sendo possível a visualização do histórico dos dados, assim como a geração de gráficos e relatórios.

Figura 22 - Arquitetura IoT Utilizada na Prototipagem



Fonte : Autor⁹

5.12. Materiais e Software Utilizados na Simulação da Vacinação Extramuros

Para efetuar a simulação de funcionamento do dispositivo em vacinação extramuros, foi utilizado os materiais e software abaixo:

- Um protótipo do dispositivo proposto nesse estudo;
- Uma caixa térmica, marca Termolar, modelo 20 litros;
- Um gelo, marca Só gelo, modelo 5 quilos;
- Quatro frascos de vidro, marca Berotec, modelo 20ml;
- Dois gelos de gel reutilizável, marca Cliogel, modelo 200ml
- Uma licença demo da plataforma de IoT, marca AL2 Tecnologia, modelo AL2.SENSORWEB.

⁹ Montagem a partir de imagens retiradas do Google.

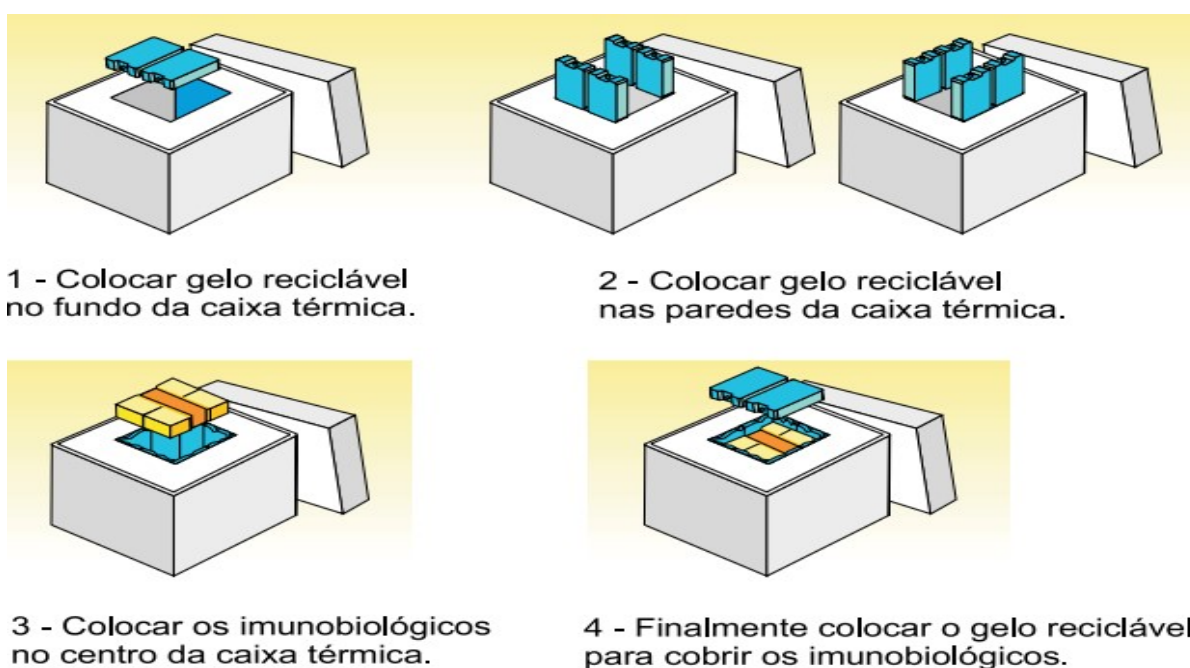
5.13. Método Utilizado na Simulação da Vacinação Extramuros

Para fazer a simulação de funcionamento do dispositivo em vacinação extramuros utilizamos uma sala fechada com temperatura média de 30°C. Foram seguidas as recomendações da OMS e PNI, baseado no Guia de Imunização em Áreas Remotas (SANTOS,2017) e Manual de Procedimento de Vacinação (BRASIL,2001b):

Roteiro para simulação:

Passo 1 – A organização da caixa térmica deverá ser realizada da forma que a vacina fique ilhada por gelo, conforme apresentado pelo PNI na Figura 23. O sensor do termômetro deverá ser colocado no centro da caixa térmica, no lugar aonde as vacinas serão armazenadas, conforme a Figura 24. As vacinas só poderão ser colocadas quando a temperatura ficar próxima de 5°C, não podendo ficar menor que 1°C para não ocorrer risco de congelamento da vacina.

Figura 23 - Organização da Caixa Térmica Indicado Pelo PNI



Fonte: (BRASIL,2001b)

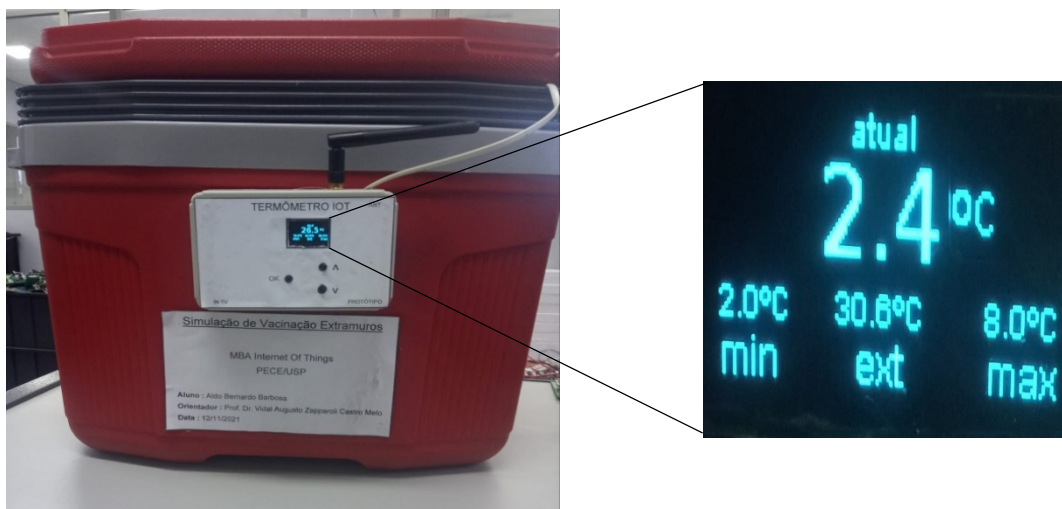
Figura 24 - Instalação do Sensor de Temperatura Antes da Colocação das Vacinas



Fonte: Próprio Autor

Passo 2 – O termômetro deverá ser fixado na parte externa da caixa, de uma forma que o agente de saúde consiga visualizar o display, a fim de visualizar a temperatura máxima, mínima e atual, conforme Figura 25.

Figura 25 – Fixação do Termômetro da Caixa Térmica



Fonte: Próprio Autor

Passo 3 – Colocar as vacinas no centro da caixa junto com o sensor do termômetro, conforme a Figura 26. A temperatura terá que ser registrada a cada uma hora, esse registro é necessário para futura análise da qualidade das vacinas.

Figura 26 – Arrumação das Vacinas na Caixa Térmica



Fonte: Próprio Autor

Passo 4 – Abrir e fechar a caixa por cinco vezes, forçando a troca de calor, conforme a Figura 27. A temperatura terá que se manter estável dentro da faixa de +2°C a +8°C, se temperatura sair dessa faixa alertar o agente de saúde, através de um bip e mensagem no display. Esse alerta é necessário para que o agente de saúde coloque mais gelo na caixa térmica.

Figura 27 – Abertura da Caixa Térmica para Troca de Calor



Fonte: Próprio Autor

Passo 5 – Deixar um sensor de temperatura para fora da caixa térmica, esse sensor já está embutido dentro do dispositivo, e a leitura é mostrada no display no

campo “ext”, conforme é apresentado na Figura 25. Esse sensor deverá alertar o agente de saúde através de um bip e mensagens no display, caso a temperatura ambiente ultrapasse +35°C. Esse alerta é necessário para que o agente de saúde providencie uma quantidade maior de gelo, tendo em vista que com a temperatura ambiente mais alta que a normal, o gelo da caixa térmica derrete com mais facilidade.

Passo 6 – Fazer movimento bruscos na caixa, tentando simular movimentos inadequados no transporte. Se a movimentação for muito brusca o agente deverá ser alertado com o bip e mensagens no display. Esse alerta é necessário para evitar quebras dos fracos das vacinas.

Após esses 6 passos, deixar a caixa térmica fechada até que o gelo derreta, isso concretizara o fim da simulação.

5.14. Considerações do Capítulo 5

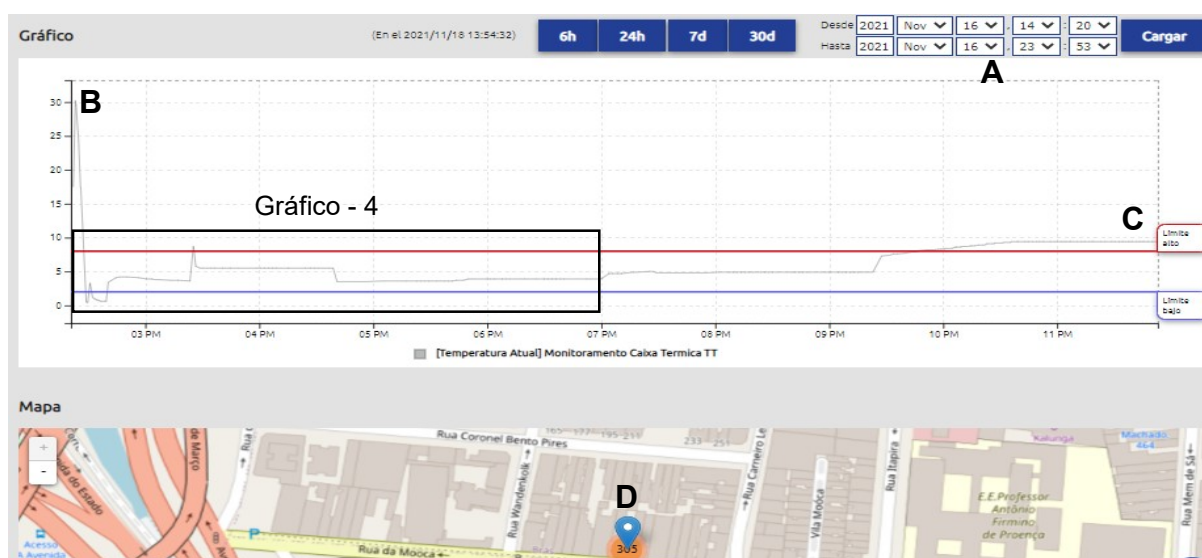
Nesse capítulo foi realizada a escolha dos componentes eletrônicos utilizados para o desenvolvimento do dispositivo IoT, a qual foi baseada em especificações retiradas de documento do PNI.

Após a seleção dos componentes eletrônicos, foi realizada a montagem do dispositivo, a fim de atender ao principal objetivo dessa etapa, que consiste na prototipagem, e realizar testes de monitoramento de temperatura em uma simulação de vacinação extramuros.

6. ANÁLISES DOS RESULTADOS

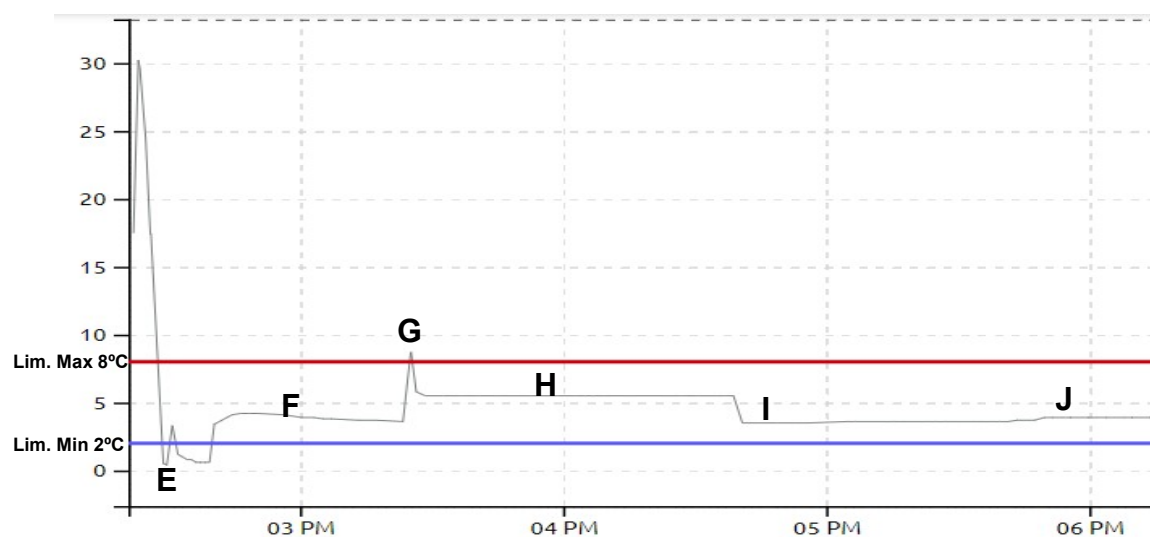
Para visualizar os valores da temperatura realizada na simulação foi necessário imprimir o gráfico do período de teste na plataforma de IoT da empresa AL2 Tecnologia. Os dados são apresentados no Gráfico 3 e de uma forma mais detalhada no Gráfico 4.

Gráfico 3 – Resultado da Temperatura da Simulação



Fonte : Autor¹⁰

Gráfico 4 - Resultado da Temperatura da Simulação Detalhado



Fonte : Autor¹¹

¹⁰ Montagem a partir de imagens retiradas da plataforma IoT AL2 Tecnologia.

¹¹ Montagem a partir de imagens retiradas da plataforma IoT AL2 Tecnologia.

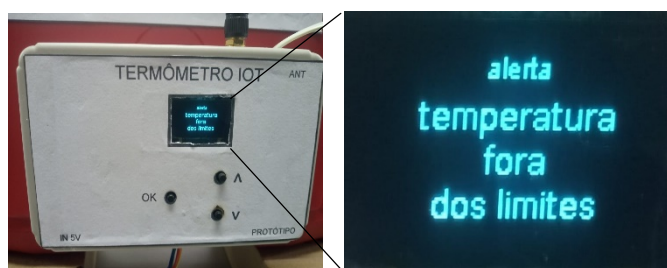
Ponto A

Faixa da data e hora que foi realizada a simulação.

Ponto (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura de 30°C referente ao início da simulação, sensor dentro da caixa sem gelo. Nesse momento o dispositivo emitiu um bip e mostrou no display um alerta, conforme a Figura 28.

Figura 28 – Alerta de Temperatura Fora do Limites



Fonte: Próprio Autor

Ponto C (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura de 9°C referente ao fim da simulação, o sensor dentro da caixa junto as vacinas com gelo derretendo, após 10 horas de simulação. Nesse momento o dispositivo emitiu um bip e mostrou no display um alerta, conforme a Figura 28.

Ponto D (Especificação 5,6,7 e 8)

Geolocalização do dispositivo e quantidade de 305 medidas e notificações realizadas durante o período de 10 horas, se esses registros fossem anotados manualmente, seriam apenas 10 registros, um a cada hora.

Ponto E (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura abaixo do limite mínimo de 2°C, referente ao passo 1 do roteiro de simulação. Nesse momento o dispositivo emitiu um bip e mostrou no display um alerta, conforme a Figura 28.

Ponto F (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura tendendo a uma estabilização dentro da faixa especificada (2°C a 8°C), referente aos passos 2 e 3. Nesse momento o dispositivo mostrou no display a temperatura mínima, máxima e atual, conforme a Figura 29.

Figura 29 – Temperatura Referente ao Ponto F



Fonte: Próprio Autor

Ponto G (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura aumentando rapidamente e ultrapassando o limite superior de 8°C, referente a troca de calor do passo 4. Nesse momento o dispositivo emitiu um bip e mostrou no display um alerta, conforme a Figura 28.

Ponto H (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura tendendo a uma estabilização dentro da faixa especificada (2°C a 8°C), mas ficando mais alta depois da troca de calor, a temperatura exata no momento medido está apresentada na Figura 30.

Figura 30 – Temperatura em Estabilização no Ponto H



Fonte: Próprio Autor

Ponto I (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura tendendo a uma estabilização dentro da faixa especificada (2°C a 8°C), mas ficando mais baixo depois da troca de calor e com a caixa térmica

ficando fechada a uma hora, a temperatura exata no momento medido está apresentada na Figura 31.

Figura 31 – Temperatura em Estabilização no Ponto I



Fonte: Próprio Autor

Ponto J (Especificação 1,2,3 e 4)

Temperatura dentro da faixa especificada (2°C a 8°C), mas subindo gradativamente até chegar no ponto C, que é o final da simulação, a temperatura exata no momento medido está apresentada na Figura 32.

Figura 32 - Temperatura em Estabilização no Ponto J



Fonte: Próprio Autor

Os resultados obtidos nessa simulação são de grande importância para o estudo, atendendo o objetivo principal desse capítulo que é adquirir dados reais do experimento trazendo informações confiáveis para futura conclusão.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dispositivo IoT desenvolvido se demonstrou viável para atuar no monitoramento da temperatura das vacinas em campanhas de imunização extramuros. Os resultados obtidos na simulação demonstraram que todos os parâmetros e alertas necessários para uma boa conservação das vacinas foram atendidos, tais como:

- O dispositivo identificou imediatamente quando a temperatura oscilou fora da faixa especificada e alertou o agente de saúde (simulado) quanto a eventual necessidade de intervenção;
- O dispositivo enviou automaticamente para o banco de dados todas as informações necessárias ao controle eficiente da temperatura das vacinas. Logo, não foi necessário que o agente de saúde (simulado) anotasse manualmente os eventos em uma planilha para, em seguida, realizar o envio das informações para a secretaria de saúde. Dessa forma, verificou-se o incremento da confiabilidade do processo, reduzindo eventuais erros que pudessem ocorrer no processo manual;
- O volume de dados enviados pelo o dispositivo IoT desenvolvido foi significativamente maior do que o volume de dados anotados manualmente, incrementando, portanto, a precisão do processo em razão da maior quantidade de dados disponibilizado para análise;
- O dispositivo transmitiu dados em tempo real, propiciando maior agilidade à comunicação das informações e atuação mais eficiente dos agentes de saúde (simulado), inclusive com potencial para propiciar respostas imediatas à eventuais reparações de danos que se fizessem necessárias;
- Todos os parâmetros enviados utilizaram geolocalização, contribuindo com eventual necessidade de rastreamento que porventura se fizesse necessária para localização dos imunizantes.

Diante do exposto, pode-se concluir, a partir dos resultados alcançados e metodologicamente demonstrados, que a adoção de dispositivo de IoT nas campanhas de vacinação extramuros é capaz de contribuir com o incremento da confiabilidade do processo de imunização. Isso porque, ao permitir o controle da temperatura das vacinas ao longo do transporte e armazenamento das doses, a solução também assegura a preservação da eficácia dos imunizantes e, conseqüentemente, que a população os receberá nas condições ideais para que produzam os efeitos pretendidos.

Mas, não é só. A adoção do dispositivo de IoT proposto nas campanhas de vacinação extramuros também contribuirá para reduzir perdas e propiciar benefícios como agilidade e qualidade das informações, assim como economia na mão de obra e, conseqüentemente, redução de custo.

Em se tratando de dispositivo com alta tecnologia embarcada com utilização de comunicação sem fio, recomenda-se, em estudos futuros, a realização de análises voltadas à análise da aderência às normas nacionais vigentes que disciplinam telecomunicações, como, por exemplo, mas não somente, as regulamentações da Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL), no sentido de uma possível homologação do dispositivo ao órgão.

REFERÊNCIAS

AHMED, S. T.; SWAMY, K. C. T. Total Electron Content Estimation and Comparison Using Multi-GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO and BeiDou). In: CONSTELLATIONS.INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TECHNOLOGIES (CONIT), **Proceedings...** India, p.25-27, jun. 2021.

AL-ALAWI, A. I. © 2006 Science Publications WiFi Technology: Future Market Challenges and Opportunities. **Journal of Computer Science**, Bahrain, p.13-18, 2006.

ALLAFI, I.; IQBAL, T. Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring. In: IEEE ELECTRICAL POWER AND ENERGY CONFERENCE (EPEC), **Proceedings...** 2017, Newfoundland: Faculty of Engineering & Applied Science, 2017, p.5.

ALMEIDA, E.M. **UMA ABORDAGEM DE ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA O PROCESSO DE ESPECIFICAÇÃO E ANÁLISE DE REQUISITOS EM APLICAÇÕES DE REALIDADE AUMENTADA**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.Cornéio Procópio, p. 87, 2018.

AMORIM, H. S.; DIAS, M. A.; SOARES, V. Sensores digitais de temperatura com tecnologia one-wire: um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Brasil, v. 37, n. 4, p. 4310-1-4310–9, dez. 2015.

ARAGONÉS, J. B. et al. **SENSORES DE TEMPERATURA**. p. 51, [s.d.].

ASSÉ, R. Falhas causam perda de doses de vacinas contra COVID no Brasil; entenda. **ESTADO DE MINAS**, 2021. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2021/03/09/interna_nacional,1244917/falhas-causam-perda-de-doses-de-vacinas-contracovid-no-brasil-entenda.shtml. Acesso em: 29 ago 2021.

BARYBIN, O.; ZAITSEVA, E.; BRAZHNYI, V. Testing the Security ESP32 Internet of Things Devices. In: IEEE INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE PROBLEMS OF INFOCOMMUNICATIONS, **Proceedings...** Science and Technology, Ukraine, out. 2019.

BEZERRA, B. **CROMATEK:CHAVE TACTIL 6X6mm**.São Paulo, 2015.

BHRIJESH, M. et al. OLED: a Modern Display Technology. **International Journal of Scientific and Research Publications**, jun. 2014.

BORGES, B. Governo de SP anuncia criação de postos de vacinação drive-thru na capital para imunizar idosos contra covid-19.. **G1**, 2021. Disponível em:< <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/02/03/governo-de-sp-anuncia-criacao-de-postos-de-vacinacao-drive-thru-na-capital-para-imunizar-idosos-contr-a-covid-19.ghtml> >. Acesso em: 18 dez 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Procedimentos para Vacinação**, 4. ed. Brasília, 2001b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Rede de Frio do Programa Nacional de Imunizações**, 3. ed. Brasília, 2001a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Normas e Procedimentos para Vacinação**, Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Rede de Frio do Programa Nacional de Imunizações**, 4. ed. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de Rede de Frio do Programa Nacional de Imunizações**, 5. ed. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Plano Nacional de Operacionalização da Vacinação Contra a Covid-19**, 9. ed. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Programa Nacional de Imunizações 30 anos**, Brasília, 2003.

BRASIL. ANVISA. Resolução RDC nº 197, de 26 de dezembro 2017. “**Dispõe sobre os requisitos mínimos para o funcionamento dos serviços de vacinação humana**”. Órgão emissor: ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: www.gov.br/anvisa. Acesso em: 19 de agosto de 2021.

BUCHENRIEDER, K. Rapid prototyping of embedded hardware/software systems. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON RAPID SYSTEM PROTOTYPING (Cat. No.98TB100237), 9., 1998, Munich. **Proceedings...** Munich: Klaus Buchenrieder,1998, p.2.

CHIEN, F. **ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS PARA LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE APLICATIVOS MÓVEIS**. Pernambuco. p. 64, 2018.

DALLAS. **DS18B20-PAR 1-Wire Parasite-Power Digital Thermometer**.2007.19p.

DESSBESSEL, B. C. et al. Bafômetro automotivo: modelo funcional e de baixo custo usando Arduino / Automotive breathalyzer: functional and low cost model using Arduino. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51900–51907, 27 jul. 2020.

DEVICES, A. **Digital Accelerometer: ADXL345**.USA,2009.24p.

DIREITO a Saúde. **FIOCRUZ**, Rio de Janeiro,2022. Disponível em <https://pensesus.fiocruz.br/direito-a-saude>>. Acesso em: 18 jan 2022.

DUVALLET, F.; TEWS, A. D. WiFi position estimation in industrial environments using Gaussian processes. In: IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 2008, **Proceedings...** .Nice: Acropolis Convention Center,2008, p.2216-2221.

ESPRESSIF. **ESP32-WROOM-32 DATASHEET**. 2021. 26p.

ETHERTRONICS. **GPS/GLONASS Patch Antenna with Cable: 1004627**.USA, 2019.

FONTES,I. BH tem taxa de desperdício de vacinas de 6,6%; Saúde aceita até 10%. **O TEMPO**, 2021. Disponível em:< <https://www.otempo.com.br/cidades/bh-tem-taxa-de-desperdicio-de-vacinas-de-6-6-saude-aceita-ate-10-1.2519544>>. Acesso em: 29 ago 2021.

GRECAS, C. F.; VENIERIS, I. S.; KOUTSOURIS, D.-D. Uninterrupted data transmission over GSM and application to health services. In: MEDITERRANEAN ELECTROTECHNICAL CONFERENCE. INFORMATION TECHNOLOGY AND ELECTROTECHNOLOGY FOR THE MEDITERRANEAN COUNTRIES. PROCEEDINGS. MELECON 2000 (Cat. No.00CH37099),2000, Athens, 10. **Proceedings...** Athens: National TechnicalUniversity of ATHENS,2000, p.436-440.

GUDWIN,R.R. **Especificação de Requisitos**. São Paulo, p.9, 2011.

GU, G.; PENG, G. The survey of GSM wireless communication system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND INFORMATION APPLICATION, 2010, Tianjin. **Proceedings...** Tianjin: Tianjin institute of urban construction, 2010, p.121-124.

HASIBUZZAMAN, MD. et al. Vibration Measurement amp; Analysis Using Arduino Based Accelerometer. In: IEEE REGION 10 SYMPOSIUM (TENSYP), 10., 2020, Dhaka. **Proceedings...** Dhaka: American International University-Bangladesh,2020, p.508-512.

HAYASAKA, H. M. **SENSOR DE TEMPERATURA CMOS INTEGRADO**. Florianópolis, p.101, 2012.

HOQUE, R. et al. Earthquake monitoring and warning system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN ELECTRICAL ENGINEERING (ICAEE),2015, Dhaka. **Proceedings...** Dhaka: American International University-Bangladesh,2015, p.109-112.

IMPORTÂNCIA da vacinação: por que a saúde coletiva depende da imunização? **Pfizer**, 2021. Disponível em:<<https://www.pfizer.com.br/tomarpararetomar/importancia-da-vacinacao-por-que-saude-coletiva-depender-da-imunizacao>>. Acesso em: 28 ago, 2021.

ISLAM, MD. M. et al. Smart Poultry Farm Incorporating GSM and IoT. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS,ELECTRICAL AND SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES (ICREST), 2019, Dhaka. **Proceedings...** Dhaka: American International University-Bangladesh, 2019, p.277-280.

JONES, L.; PALUMBO, D.; BROWN, D. Coronavírus: 8 gráficos para entender como a pandemia de covid-19 afetou as maiores economias do mundo.**BBC NEWS**, 2021. Disponível em:<<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-55835790>>. Acesso em: 27 ago 2021.

KHAN, S. M. Z. et al. An Empirical Modeling for the Baseline Energy Consumption of an NB-IoT Radio Transceiver. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 19, p. 14756–14772, out. 2021.

KLEIN, S.; MARTINS, N. Erro em armazenamento de doses resulta em perda de 27mil vacinas contra covid-19 no Litoral Norte..**GZH**, 2021. Disponível em:<<https://gauchazh.clicrbs.com.br/saude/noticia/2022/01/erro-em-armazenamento-de-doses-resulta-em-perda-de-27-mil-vacinas-contra-a-covid-19-no-litoral-norte-ckyc7qflc0001015peog5msby.html>>. Acesso em: 18 jan 2022.

KUL, B. IoT-GSM-based high-efficiency LED street light control system (IoT-SLCS). In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ELECTRONICS (ET), 26., 2017, Sozopol. **Proceedings...** Sozopol: Uludağ University of Bursa, 2017, p.5.

LANTECH. **Wireless Antenna Series: ANT11000044**.Tawain.2010. 2p.

MANOEVA, D.; PICHUROV, V. Addressable LED/ Buzzer structures for signaling/ reflection for urban E-Bikes. In: 2020 XXIX International Scientific Conference Electronics (ET),2020, Sozopol.**Anais[...]**. Sozopol: Technical University of Sofia,2020, p.4.

MARQUES, M. R. S.; SIEGERT, E.; BRISOLARA, L. **Uma Abordagem para Engenharia de Requisitos no Domínio de Software Embarcado**. Brasil, p. 6, [s.d.].

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. **COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS TIPOS DE SENSORES DE TEMPERATURA EM ASSOCIAÇÃO COM ARDUÍNO**. Erechim, v. 40, p. 12, 2016.

MELLO, J.A.B. Uma metodologia para engenharia de requisitos para pequenas equipes de desenvolvimento de software. **Revista Ciência Empresariais da UNIPAR**, Toledo, v.6, n.1, jan.2005.

MICHAELIS. **UOL**,2022a. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa : vacinação. Disponível em:< <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/vacina%C3%A7%C3%A3o/>>. Acesso em: 17 jan 2022.

MICHAELIS. **UOL**,2022b. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa: extra muros. Disponível em:< <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/extramuros/>>. Acesso em: 18 jan 2022.

MICHAELIS. **UOL**,2022c. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa: termolábeis. Disponível em:< <https://michaelis.uol.com.br/palavra/2aZzM/termol%C3%A1bil/>>. Acesso em: 18 jan 2022.

MUNIRAJ, G.; JAGANNATHA, V. Requirements Engineering using Prototyping Projects in Healthcare Diagnostic Software Applications. In: IEEE INTERNATIONAL REQUIREMENTS ENGINEERING CONFERENCE (RE 2007), 15., 2007, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: Philips Medical Systems, 2007, p.307-312.

PANDEY, D.; SUMAN, U.; RAMANI, A. K. An Effective Requirement Engineering Process Model for Software Development and Requirements Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN RECENT TECHNOLOGIES IN COMMUNICATION AND COMPUTING, 2010, Kottayam. **Proceedings...** Kottayam: IEEE, 2010, p.287-291.

PASTI, D. Falha na refrigeração Vila Velha confirma perda de 547 doses de vacinas contra a Covid-19. **A Gazeta**, 2021. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/vila-velha-confirma-perda-de-547-doses-de-vacinas-contra-a-covid-19-0321>>. Acesso em: 30 ago 2021.

PATINE, F. DOS S. et al. Analysis of vaccine loss due to temperature change. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 74, n. 1, p.8, 2021.

PAULO,P.P. Prefeitura de SP vacina quase 18mil pessoas em driver-thurs e megapostos na madrugada da 'virada da vacina'.**G1**,2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/08/15/prefeitura-de-sp-vacina-quase->

18-mil-pessoas-em-drive-thrus-e-megapostos-na-madrugada-da-virada-da-vacina.ghtml>. Acesso em: 12 dez 2021.

PEREIRA, D. D. DOS S. et al. Análise da taxa de utilização e perda de vacinas no programa nacional de imunização. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 420–424, 2013.

PRESSMAN, R. S. **Software Engineering: a Practitioner's Approach**. 6. ed. Palgrave Macmillan, 2005.

QUECTEL. **BG96 LTE Cat M1 & Cat NB1 & EGPRS Module**. Shanghai, 2020.

RAMAN, B.; CHEBROLU, K. Experiences in using WiFi for rural internet in Índia. **IEEE Communications Magazine**, Índia, v. 45, n. 1, p. 104–110, jan. 2007.

RN já perdeu mais de 2 mil doses de vacina contra Covid-19. **98FM NATAL**, 2021. Disponível em: < <https://98fmnatal.com.br/rn-ja-perdeu-mais-de-2-mil-doses-de-vacina-contracovid-19/>>. Acesso em: 29 ago 2021.

ROCHA, R.S.; MAGALHÃES, T.M.; Engenharia de Requisitos. **Revista Eletrônica**. Minas Gerais, v.4, p.1-8, jan.2005.

SALCEDO, A. More than 16,000 vaccine doses potentially spoiled in Maine and Michigan by temperature problems. **WASHINGTONPOST**, 2021. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/nation/2021/01/20/moderna-vaccine-spoiled-maine-michigan/>>. Acesso em: 30 ago 2021.

SAMAD, S. A. **Perdas de vacinas: razões e prevalência em quatro Unidades Federadas no Brasil**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Medicina Interna e Terapêutica, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2011.

SAMSUNG. **SPECIFICATION OF PRODUCT Lithium-ion rechargeable cell for power tools Model name: INR18650-25R**. Korea, 2014. 16p.

SANTOS, E.P. **Guia de boas práticas de imunização em áreas remotas de difícil acesso**. Sociedade Brasileira de Imunizantes, 2017.

SANTOS, V.P. **Controlador de temperatura para máquina de café expresso com Arduino**. Brasília, 2015. 74p.

SÃO LEOPOLDO registra falha em refrigerador e retira de circulação 4,5 mil doses de vacinas contra a Covid. **G1**, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2021/06/30/sao-leopoldo-registra-falha-em-refrigerador-e-retira-de-circulacao-45-mil-doses-de-vacinas-contracovid.ghtml>>. Acesso em: 29 ago 2021.

SCHUSTER, C.H. et al. **Aplicação do diagrama de Mudge e QFD utilizando como exemplo a hierarquização dos requisitos para um carro voador**. Rio Grande do Sul, 2014.

SHIMABUKURO, I. Vacinação pode evitar perdas de R\$ 33 bilhões à economia do país. **Olhar Digital**, 11 jan. 2021. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2021/01/11/coronavirus/vacinacao-pode-evitar-perdas-de-r-33-bilhoes-a-economia-do-pais/>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

SILVA, D. V. et al. **Uma Tecnologia para Apoiar a Engenharia de Requisitos de Sistemas de Software IoT**. Rio de Janeiro, 2019.

SINGH, S. et al. Obesity Risk Prediction using Wifi based Human Activity Recognition Techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATION AND INFORMATICS (ICCCI), 2021, Coimbatore. **Proceedings...** Coimbatore:IIIT Kota, 2021, p.5.

SMS - Secretaria Municipal de Saúde. **Portaria nº 778**. Dispõe sobre as regras de vacinação para prestação de serviços privados de vacinação extramuro no município de São Paulo. São Paulo: SMS, 2017. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/portaria-secretaria-municipal-da-saude-sms-778-de-29-de-agosto-de-2017>. Acesso em: 22 ago 2021.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 8. ed. Pearson Addison Wesley, 2007.

SPC. **Specification Sheet**: ABI-042-RC. Inglaterra, 2010.

STAFF, R. COVID-19 vaccine worth 1,032 shots wasted in Japan due to freezer malfunction. **REUTERS**, 2021. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-japan-vaccine-idUSKCN2AT2KH>>. Acesso em: 30 ago 2021.

SYSTECH, S. **Advance Information**: 128 x 64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller. 2008. p.95.

TEMPORÃO, J. G. O Programa Nacional de Imunizações (PNI): origens e desenvolvimento. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 10, p. 601–617, 2003.

TOSCANO, C. **Cartilha de vacinas para quem quer mesmo saber das coisas**. Brasília, DF: Organização Pan-Americana de Saúde, 2003.

VACINAS contra Covid-19 são analisadas após oscilação de temperatura em São Bento do Uma. **G1**, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2021/04/05/vacinas-contracovid-19-sao-analisadas-apos-oscilacao-de-temperatura-em-sao-bento-do-una.ghtml>>. Acesso em: 29 ago 2021.

VACINAS evitam 4 mortes por minuto e poupam R\$ 250 milhões por dia.**BBC NEWS**, 2020. Disponível em:< <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-54029641>>. Acesso em: 26 ago 2021.

VIEIRA, S. R. C. **REMO** – UMA TÉCNICA DE ELICITAÇÃO DE REQUISITOS ORIENTADA PELA MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIOS. Manaus, p. 129, 2012.

WENDLING, M. **Sensores**.Universidade Estadual Paulista.Guaratinguetá, 2010.

WHO World Health Organization. **Monitoring vaccine wastage at country level.Guidelines for programme managers**. Geneva: World Health Organization, mai, 2005.

YANG, Y.; KE, W.; LI, X. RM2PT: Requirements Validation through Automatic Prototyping. In: INTERNATIONAL REQUIREMENTS ENGINEERING CONFERENCE (RE), 27., 2019, Macau. **Proceedings...** Macau: Macao Polytechnic Institute, 2019,p.484-485.