

# Resumo

[CopyAndPaste] O armazenamento é um dos componentes mais importantes da cadeia de distribuição de vacinas, principalmente pela sensibilidade delas a variações de temperatura, que podem ocasionar diminuição da sua eficácia. Considerando isso, existe uma necessidade de manter constante monitoramento dessa variável, afim de garantir que o produto final venha a manter suas característica originais e a eficiência esperada. Esse trabalho apresenta uma solução baseada em Internet das Coisas, usando comunicação sem fio de baixa potência, para monitorar a qualidade de vacinas, por meio das medidas de temperatura e umidade nos locais de armazenamento. Os dados coletados são organizados em um banco de dados, podendo ser acessados por sistemas decisórios afim de avaliar a qualidade da vacina antes de sua aplicação, evitando problemas em decorrência de problemas de armazenamento.

**Palavras-chaves:** Monitoramento. Vacinas. IoT. LoRa.

# Abstract

[CopyAndPaste] Storage is one of the most important components of the vaccine distribution chain, mainly due to its sensitivity to temperature variations, which can cause a decrease in its effectiveness. Considering this, there is a need to keep constant monitoring of this variable, to guarantee that the final product will maintain its original characteristics and the expected efficiency. This work presents a solution based on the Internet of Things, using low power wireless communication, to monitor the quality of vaccines, by measuring temperature and humidity in storage locations. The collected data are organized in a database, which can be accessed by decision systems to assess the quality of the vaccine before its application, avoiding problems due to storage problems.

**Key-words:** Monitoring. Vacaciones. IoT. LoRa.

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>1.1</b>	<b>O Programa Nacional de Imunizações</b>	<b>4</b>
<b>1.2</b>	<b>Rede de frio</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa e Relevância do Trabalho</b>	<b>5</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>6</b>
1.4.1	Objetivo Geral	6
1.4.2	Objetivos Específicos	6
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Documento</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Internet das Coisas</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Sensor DHT-22</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Protocolos de comunicação</b>	<b>9</b>
2.3.1	LoRa	9
2.3.2	HTTP/HTTPS	10
<b>2.4</b>	<b>Plataforma de prototipagem</b>	<b>10</b>
<b>2.5</b>	<b>Servidor</b>	<b>10</b>
2.5.1	Node.js	10
2.5.2	InfluxDB	10
2.5.3	Docker	11
<b>2.6</b>	<b>Aplicativo movel</b>	<b>12</b>
2.6.1	React Native	12
<b>2.7</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>12</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>13</b>

# 1 Introdução

A saúde é um fator de suma importância para todos os seres vivos, ele é um problema científico, tecnológico, político, prático e filosófico que refere-se a um estado completo de bem estar físico, emocional, social, intelectual e espiritual [1].

Segundo o artigo 196 [2] da Constituição Federal Brasileira a saúde é um direito de todos e dever do Estado garantir medidas políticas sociais e econômicas que visam à diminuição do risco de doenças e de outros agravamentos e ao acesso universal e imparcial às ações e serviços para a sua promoção, proteção e recuperação.

Para garantirmos nossa saúde, precisamos cuidar do nosso corpo e mente, para isto, uma ferramenta que podemos contar são os imunobiológicos, como as vacinas e os soros, diferente de remédios que ajudam no tratamento de pessoas doentes, as imunobiológicos são uma preparação biológica que fornece imunidade total ou parcial de uma determinada doença autoimune para um indivíduo saudável. As vacinas e os soros se diferem pela sua forma de imunização, as vacinas fornece uma imunização ativa, estimulando o nosso organismo na produção de anticorpos, os soros fornecem uma imunização passiva, provendo os anticorpos para o nosso organismo que foram produzidos em outros organismo [3].

Contudo, os imunobiológicos requerem um cuidado elevado para manter a qualidade e sua eficiência, um dos fatores é que são produtos termolábeis, ou seja, se deterioram após determinado tempo expostos a variações de temperaturas e umidade, portanto, é imprescindível assegurar que seu ambiente de armazenagem mantenha uma temperatura e umidade constante [4] para garantir uma longevidade maior para o produto. Para este propósito, existem a Rede de Frio, um processo desenvolvido pelo Programa Nacional de Imunizações, PNI, de conversação, armazenamento e transporte dos medicamentos, objetivando as condições adequadas dos mesmos, mantendo suas características iniciais [4].

No ano de 2014, foi relatado no estudo [5] que a qualidade de conservação das vacinas não eram adequadas em boa parte dos municípios da macrorregião Oeste de Minas Gerais, alguns dos motivos citados foram a má gestão dos refrigeradores, falhas no monitoramento da temperatura e insuficiência de recursos humanos. [TO-DO] Falar mais sobre dificuldade no controle de qualidade

## 1.1 O Programa Nacional de Imunizações

Com o sucesso da Campanha de Erradicação da Varíola, CEV, iniciada em 1965, tendo seu fim em 1973 [6], ampliou dentro do Ministério da Saúde maiores investimento no controle de doenças autoimune, dando um impulso na criação do PNI [7]. O PNI foi

fundado com objetivo de controlar e erradicar as doenças imunopreveníveis, através de ações metalizadas de vacinação da população. Em 1980 foi realizada a primeira campanha de vacinação da poliomielite e desde então foram realizadas diversas campanhas, tais como a da rubéola, sarampo, tuberculose febre amarela [7, 4] e atualmente contra a COVID-19.

De acordo com a Lei n.º 6.259 de 30 de outubro de 1975, regularizada pelo Decreto n.º 78.231 em 1976, certificar o PNI, sobre a responsabilidade do Ministério da Saúde e define as seguintes competências [4]:

- implantar e implementar as ações do Programa, relacionadas com as vacinações 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.

## 1.2 Rede de frio

A Rede de Frio, também chamado de Cadeia de Frio é um processo definido pelo PNI designado a auxiliar os profissionais da área da saúde, responsáveis pela imunização no Brasil para que possa assim, garantir a efetividade e durabilidade dos imunobiológicos e medicamentos termolábeis.

No Manual de Rede de Frio [4] é definido os requisitos dos ambientes de armazenagem para garantir a efetividade dos produtos, desde os laboratórios produtor as instâncias locais, passando pela instância nacional, estadual, e no transporte entre eles. Para as Câmaras frigoríficas, a temperatura de operação é entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+2^{\circ}\text{C}$ , variando conforme o material armazenado, para a maioria dos imunobiológicos o recomendado é de  $+2^{\circ}\text{C}$  e  $+8^{\circ}\text{C}$  para ter um melhor controle da sua validade, havendo algumas exceções, como por exemplo, as vacinas Pfizer-BioNTech e Moderna, produzidas para combater o COVID-19, que precisam ser armazenadas entre  $-80^{\circ}\text{C}$  a  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $-25^{\circ}\text{C}$  e  $-15^{\circ}\text{C}$ , respectivamente [8].

## 1.3 Justificativa e Relevância do Trabalho

Atualmente, com o início da distribuição das vacinas contra o COVID-19 em todo o mundo, uma das dificuldades enfrentadas é o controle de qualidade no armazenamento

tanto em transporte [9], quanto no local da aplicação justamente por serem produtos sensíveis a temperatura e necessitarem de muita cautela, em contrapartida, por ser um produto com uma demanda elevada, a sua oferta deve ser rápida para que haja imunização em massa da população, encaminhando-se para o fim da pandemia.

Esses desafios enfrentados na distribuição das vacinas do COVID-19 não são exclusivamente deles, enfermeiras de Minas Gerais, com o objetivo de inteirar-se acerca do sistema de manutenção dos produtos, realizaram um estudo sobre a conservação de vacinas em unidades básicas de saúde, UBSs. Nessa pesquisa foi relatado diversas irregularidades no armazenamento dos materiais termolábeis sem o cumprimento das normas da PNI, como por exemplo, a presença de vacinas que deveriam ter sido descartadas por terem atingido seu tempo máximo de diluição, ainda presentes nos refrigeradores, cerca de 52% dos imunobiológicos armazenados nos refrigeradores eram estabelecidos erroneamente e 36% dos refrigeradores observados contavam com objetos portas como fracos vazios.

Analisando as temperaturas dos ambientes de armazenagem, foi observado que 4% das unidades não realizavam o registro da temperatura dos refrigeradores, 88% dos refrigeradores usavam termômetros analógicos de baixa confiabilidade e cerca de 12% foram analisados na hora da visita temperaturas abaixo da faixa recomendada ( $+2^{\circ}\text{C}$  a  $+8^{\circ}\text{C}$ ), chegando a  $0^{\circ}\text{C}$ , outros estudos realizado [5, 10, 11] também testemunharam essa irregularidade na temperatura em seus respectivos locais ao longo do mundo, valendo salientar o estudo realizado na Bolívia [10], que teve resultados ainda piores, sendo registrado um temperatura mínima de  $-7.2^{\circ}\text{C}$  e uma máxima de  $22.7^{\circ}\text{C}$ .

Pensando nesse cenário, esse trabalho apresenta uma alternativa para melhorar a forma de monitoramento de temperatura e umidade realizadas de produtos imunobiológicos por laboratórios, unidades públicas de saúde e afins no intuito de auxiliá-los a manter os materiais em suas melhores condições.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Construir uma arquitetura baseada em conceitos de IoT visando o monitoramento de temperatura e umidade de imunobiológicos para auxiliar funcionários da saúde, garantindo melhores condições para a vacinação da população frente a incidência de doenças.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Construir um protótipo inicial para coleta da temperatura e umidade nos ambientes de armazenagens dos imunobiológicos.

- Implementar um servidor para a armazenagem dos dados coletados e posteriormente fornecer históricos das temperaturas e umidade ao aplicativo móvel.
- Desenvolver um aplicativo móvel para fornecer uma interface amigável para os usuários auxiliando no controle de qualidade dos produtos.
- Realizar testes e análises dos dados de transmissões a fim de garantir a confiabilidade das temperaturas e umidade coletadas.

## 1.5 Estrutura do Documento

Os capítulos subsequentes estão organizados da seguinte maneira:

[HM] A ser feito quando o documento tiver pronto

## 2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo será abordado sobre os principais conceitos e tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste projeto, do hardware à aplicação móvel, iniciando pelo conceito principal, a Internet das Coisas.

### 2.1 Internet das Coisas

Com o intuito de ampliar a internet atual, interligando os objetos do nosso cotidiano, animais e humanos em uma única rede, foi criado a Internet das Coisas, IoT, também conhecida como internet de todas as coisas. Para tal, os objetos viram objetos inteligentes, possuindo capacidade de comunicação associados com sensores que fornecem dados para outros dispositivos. Estes objetos, conectados a IoT, se comunicam via internet, trocando dados em tempo real, transmitindo informações acerca do ambiente que estão inseridos e/ou até mesmo dos seus respectivos estados.

Deste modo, é adicionando uma nova gama de possibilidades, trazendo grandes benefícios para ambientes domésticos, mas principalmente para a zona industrial. No primeiro caso, aplicações, tais como: aprendizagem reforçada, monitoramento e vigilância inteligentes e vida assistida têm despontado entre aquelas que mais chamam atenção, tanto dos usuários, como das empresas de desenvolvimento de soluções tecnológicas. No segundo caso, IoT se apresenta como um diferencial competitivo importante em campos tais como automação e manufatura industrial, logística, gestão de processos de negócio, etc.

Do ponto de vista da produtividade, IoT apresenta-se como um importante meio pelo qual pode-se desenvolver aplicações sofisticadas que podem integrar o mundo real e o mundo virtual. Em empresas de manufatura, produtos conectados permitem a existência de um ambiente de serviços e produtos no qual a manutenção pode ser realizada baseada na necessidade real, em vez de uma suposição estatística. Adicionalmente, produtos e máquinas conectados podem receber atualizações de software quando disponíveis, para garantir que estejam sempre funcionando em eficiência ótima.

### 2.2 Sensor DHT-22

O sensor DHT-22 é um sensor de temperatura e umidade da família de sensores DHT comumente utilizado em aplicações da IoT por ser um sensor pequeno (como podemos ver na figura 1) e possuir um baixo custo. Ele opera na faixa de 3.3 a 6 Volts e consegue capturar dados de temperatura entre -40°C a 80°C e umidade entre 0% a 100% RH, com



uma acurácia de 0.5°C e 2% RH, respectivamente [12].

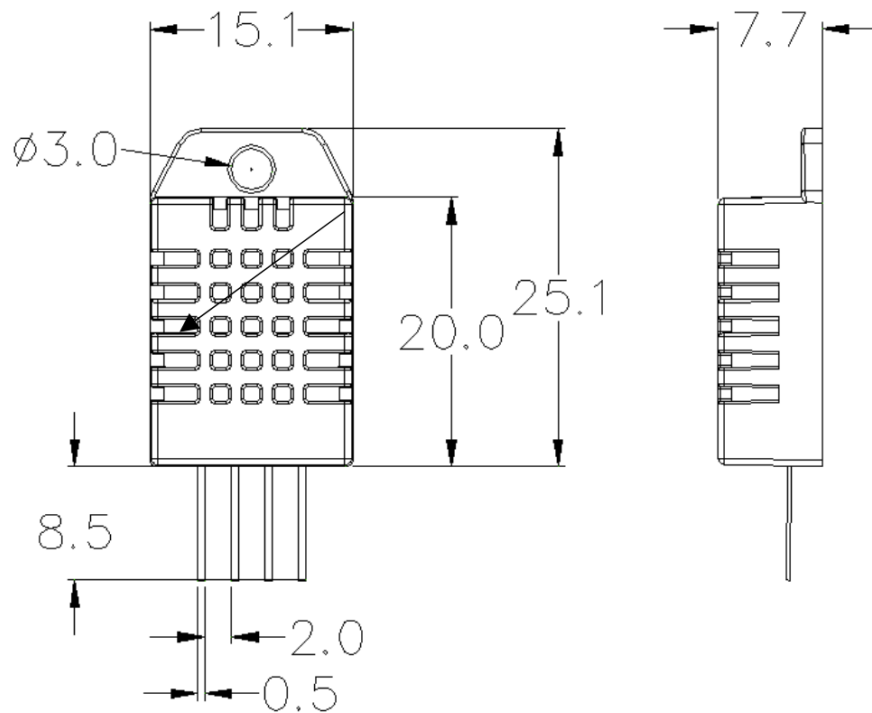


Figura 1 – Dimensões em milímetros do sensor DHT-22 (Retirado de [12]).

## 2.3 Protocolos de comunicação

Protocolos de comunicação são conjuntos de normas que definem uma forma de troca de mensagens entre dois ou mais dispositivos em um determinado meio físico, os meios mais comuns são por cabos de materiais condutores e pelo ar, transmitindo ondas eletromagnéticas, na IoT o que se predomina é por meio sem fio (*wireless*). Neste projeto, foram utilizados dois protocolos de comunicações, o LoRa e o HTTP.

### 2.3.1 LoRa

A tecnologia Long Range, LoRa, é uma forma de comunicação sem fio, semelhante ao Wi-Fi e ao Bluetooth, que permite um longo alcance de comunicação com baixo custo. O raio de comunicação sem fio utilizando o LoRa, dependendo do dispositivo selecionado, pode alcançar quilômetros de distância.

Embora o LoRa tenha sido fundamentalmente desenvolvido pela Semtech Corporation, o padrão imposto pelo LoRa permitiu que muitas empresas utilizassem para diversos projetos com um custo benefício satisfatório, aumentando o ecossistema e ganhando um

envolvimento significativamente maior, uma variedade maior de produtos e um aumento geral no uso e aceitação.

A baixa potência e os recursos de longo alcance significam que os pontos finais podem ser implantados em uma ampla variedade de locais, e ainda têm a capacidade de se comunicar com o gateway, que pode receber informações de vários LoRa e enviar para um servidor, por exemplo, e processar dados.

O LoRa em si diz respeito à camada física, sendo que a camada lógica é chamada de LoRaWAN, que é um protocolo usado pelo LoRa para comunicação entre pontos de conexões de um end-node para envios de informações do sistema.

[TO-DO] falar do end-nodes e gateway

### 2.3.2 HTTP/HTTPS

## 2.4 Plataforma de prototipagem

## 2.5 Servidor

### 2.5.1 Node.js

### 2.5.2 InfluxDB

O InfluxDB é um banco de dados que armazena series temporais (*data series database*), ou seja, sua chave é o tempo e sua forma de armazenagem de dados é em ordem cronológica. Ele foi projetado para lidar com grandes cargas de escrita e consulta, perfeita para armazenar dados em tempo real, como monitoramento de DevOps, métricas de aplicativos, big data e dados de sensores da IoT [13]. De forma geral, séries temporais acabam se tornando gráficos em função do tempo em um determinado período, por exemplo a temperatura de um freezer ao decorrer do dia, podendo assim ver facilmente a máxima, a mínima e suas variações. Esses dados podem ser também coletados e feito uma análise mais complexa usando qualquer ferramenta estatística, dependendo da sua necessidade.

O InfluxDB é composto por *databases* (bancos de dados), *measurements* (medições), *fields* (campos) e *tags*. Podemos representar essa estrutura como conjuntos como podemos ver na figura 2, no InfluxDB é possível ter inúmeros *databases*, onde cada *database* contém suas *measurements* que são tabelas de dados correspondente a algum dado em específico, por exemplo, se tivermos 2 sensores que coletam dados diferentes, cada sensor viraria um *measurement*, e cada *measurement* é composto de dois tipo de atributos, os *fields*, onde ficam os dados da sua medida, e as *tags*, que são campos de dados que diferem *fields* por serem campos indexáveis, feitos exclusivamente para realizar buscas, por exemplo,

é comum adicionar uma *tag* que seja um identificador do dispositivo que coletou essa medida.

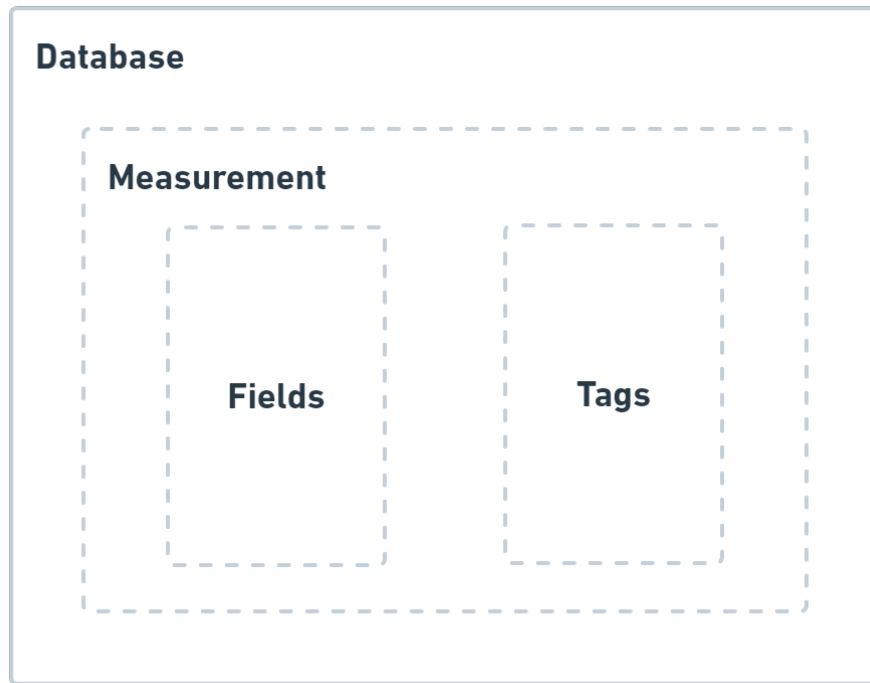


Figura 2 – Composição de um banco de dados do InfluxDB (Autoral).

### 2.5.3 Docker

Docker é uma plataforma *open source*, desenvolvida utilizando a linguagem de programação GO pela Google com o objetivo de criar facilmente ambientes isolados (containers) com um alto desempenho e que sejam portáteis, sendo uma opção em relação às virtualizações. Desta maneira, é possível, por exemplo, criar inúmeras aplicações usando as mesmas tecnologias, cada uma em um *container* diferente e nenhuma vai interferir na outra, e todas na mesma máquina, e se for preciso replicar em outra máquina, é possível criar uma imagem do container e instalar o mesmo ambiente nesta outra máquina.

Em comparação com as virtualizações, os containers não precisam de um sistema operacional, apenas o essencial para executar determinada função. Dessa forma, os containers conseguem ter um controle maior, consomem menos recursos, ganham uma maior flexibilidade e uma manutenibilidade. Podemos ver a comparação entre virtualização e containers na figura abaixo.

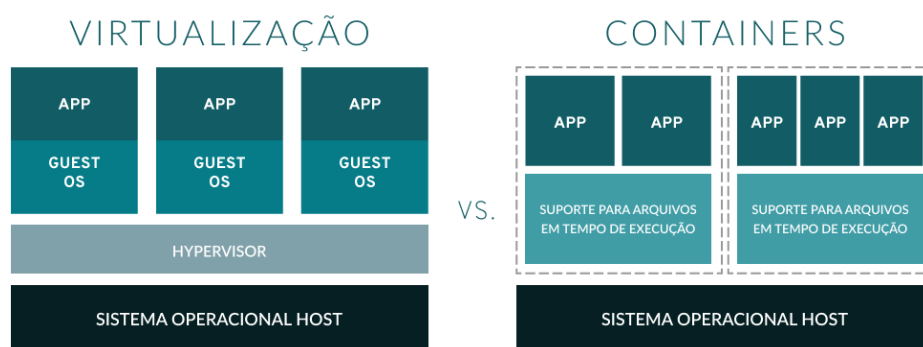


Figura 3 – Comparação entre o modelo de virtualização e modelo de containers (Adaptada de Red Hat [14]).

## 2.6 Aplicativo movel

### 2.6.1 React Native

## 2.7 Trabalhos Relacionados

# Referências

- 1 FILHO, N. d. A. *O que é saúde?* [S.l.]: Editora Fiocruz, 2011. Citado na página 4.
- 2 MOURA, E. S. D. O direito à saúde na constituição federal de 1988. *Âmbito Jurídico*, XVI, v. 114, 2013. Citado na página 4.
- 3 SOMA, C. *Como funciona o tratamento com imunobiológicos?* 2018. Disponível em: <<https://clnicasoma.com.br/como-funciona-o-tratamento-com-imunobiologicos>>. Citado na página 4.
- 4 SAÚDE, M. da. *Manual de Rede de Frio*. 2001. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_rede\\_frio.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_rede_frio.pdf)>. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- 5 OLIVEIRA, V. C. d. et al. Avaliação da qualidade de conservação de vacinas na atenção primária à saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Public Health, v. 19, p. 3889–3898, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 6.
- 6 MUNIZ, É. S. *Memórias da erradicação da varíola*. [S.l.]: SciELO Brasil, 2011. Citado na página 4.
- 7 TEMPORÃO, J. G. O programa nacional de imunizações (pni): origens e desenvolvimento. *História, ciências, saúde-manguinhos*, SciELO Brasil, v. 10, p. 601–617, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 5.
- 8 NIFORATOS, J. D. Common questions about the pfizer-biontech and moderna covid-19 vaccines. Citado na página 5.
- 9 BAE, J. et al. Challenges in equitable covid-19 vaccine distribution: A roadmap for digital technology solutions. Citado na página 6.
- 10 NELSON, C. et al. Monitoring temperatures in the vaccine cold chain in bolivia. *Vaccine*, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 433–437, 2007. Citado na página 6.
- 11 FALCÓN, V. C. et al. A vaccine cold chain temperature monitoring study in the united mexican states. *Vaccine*, Elsevier, v. 38, n. 33, p. 5202–5211, 2020. Citado na página 6.
- 12 ELECTRONICS, A. *DHT22 Datasheet*. 2020. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html>>. Citado na página 9.
- 13 GIACOBBE, M. et al. An implementation of influxdb for monitoring and analytics in distributed iot environments. In: SPRINGER. *International conference on the Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications*. [S.l.], 2018. p. 155–162. Citado na página 10.
- 14 HAT, R. *Containers x máquinas virtuais*. 2020. Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/containers/containers-vs-vms>>. Citado na página 12.