



# **PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA**

**BRUNO SOARES RABELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM  
FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO  
CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA**

**BRUNO SOARES RABELO**

**Orientador: PROF. DR. FÁBIO LÚCIO LOPES DE MENDONÇA ENE/UNB**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO PPEE.MP - PPEE.MP.059  
BRASÍLIA-DF, 30 DE AGOSTO DE 2023.**

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

**PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM  
FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO  
CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA**

**BRUNO SOARES RABELO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

**APROVADA POR:**

Prof. Dr. Fábio Lúcio Lopes de Mendonça ENE/UnB  
Orientador - Presidente

Prof. Dr. Daniel Alves da Silva, ENE/UnB  
Examinador Interno

Prof. Dr. Nilmar, UFBA  
Examinador Externo

Prof. Dr. Edna Dias Canedo, ENE/UnB  
Suplente

**BRASÍLIA, 30 DE AGOSTO DE 2023.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

BRUNO SOARES RABELO

**PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA**

**2023xv, 75p., 201x297 mm**

(ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2023)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

BRUNO SOARES RABELO (2023) PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPEE.MP.059, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: BRUNO SOARES RABELO

TÍTULO: PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA.

GRAU: Mestre ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de Mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

**BRUNO SOARES RABELO**

Depto. de Engenharia Elétrica (ENE) - FT Universidade de Brasília (UnB) Campus Darcy  
Ribeiro CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

# Agradecimentos

Agradeço a Deus por me permitir concluir este trabalho, por me abençoar com força de vontade para concluir este trabalho.

Agradeço principalmente ao meu orientador Professor Dr. Fábio Mendonça que me orientou de forma profissional e compreensiva em todos os momentos. Muito obrigado pela paciência, presença e apoio dado em todo este período.

Agradeço também a minha família que me apoiou em todo esse momento me incentivando nos momentos mais difíceis. Agradeço à Lucas Romeiro, sócio e colega de curso que me ajudou durante todo o decorrer do mestrado.

Gostaria também de agradecer ao Luciano Moura que participou da escrita do artigo produzido na pesquisa contribuindo significativamente no desenvolvimento das áreas voltadas à estatística.

Gostaria também de agradecer à Vitae Soluções em Engenharia que disponibilizou a infraestrutura necessária para realização da pesquisa dando acesso as suas bases de dados, material, laboratório e servidores.

Agradeço em especial ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Elétrica (PPEE) da UnB.

# **PLATAFORMA IOT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS DE VACINAS A PARTIR DO MONITORAMENTO CONTÍNUO DA TEMPERATURA INTERNA.**

**Autor: Bruno Soares Rabelo**

**Orientador: Fábio Lúcio Lopes de Mendonça**

**Programa de Pós-graduação Profissional em Engenharia Elétrica - PPEE**

**Brasília, agosto de 2023**

A estrutura geral das redes da Internet das Coisas (IoT) ainda é um assunto interessante para pesquisa e inovação. O monitoramento geral de dispositivos em redes se torna um desafio grande nessas redes. Este trabalho propõe o estudo através de uma plataforma de IoT para o monitoramento preventivo e contínuo da temperatura interna em freezers ultra-low, utilizados em armazenamento de vacinas. O objetivo é realizar um estudo de predição de falhas e paradas inesperadas através de tecnologias de Inteligência Artificial. A proposta envolve a concepção de um modelo de arquitetura de sistema IoT que inclui uma unidade física de hardware para a coleta local e o envio de dados, bem como sensores de temperatura. Além disso, a solução incorpora uma camada de middleware hospedada em um servidor na nuvem, responsável por coletar dados desses dispositivos e efetuar um monitoramento contínuo 24/7 da temperatura em freezers distribuídos em várias instituições de saúde em todo o Brasil. Além disso, possui uma camada de aplicação a fim de identificar indícios de falha através da utilização de métodos estatísticos, utilizando modelos preditivos para séries temporais.

**Palavras-chave: IoT, Inteligência Artificial, Análise preditiva.**

# **IOT PLATFORM FOR PREDICTING FAILURES IN VACCINE FREEZERS THROUGH CONTINUOUS MONITORING OF INTERNAL TEMPERATURE.**

**Author: Bruno Soares Rabelo**

**Supervisor: Fábio Lúcio Lopes de Mendonça**

**Post-graduate Program Professional on Electrical Engineering - PPEE**

**Brasilia, august 2023**

The overall structure of Internet of Things (IoT) networks remains an intriguing subject for research and innovation. General monitoring of devices within these networks becomes a significant challenge. This work proposes the study through an IoT platform for the preventive and continuous monitoring of internal temperature in ultra-low freezers used in vaccine storage. The objective is to conduct a predictive analysis of failures and unexpected shutdowns using Artificial Intelligence technologies. The proposal involves the design of an IoT system architecture model that includes a physical hardware unit for local data collection and transmission, as well as temperature sensors. Furthermore, the solution incorporates a middleware layer hosted on a cloud server, responsible for collecting data from these devices and conducting continuous 24/7 temperature monitoring of freezers distributed across various healthcare institutions throughout Brazil. Additionally, it features an application layer aimed at identifying signs of failure through the use of statistical methods, utilizing predictive models for time series data.

**Keywords: IoT predictive, maintenance, freezers, vaccines..**

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	3
1.2 OBJETIVO .....	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	4
1.5 PUBLICAÇÕES VINCULADAS AO TRABALHO .....	4
1.6 METODOLOGIA.....	5
1.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	5
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E TRABALHOS RELACIONADOS.....</b>	<b>7</b>
2.1 CADEIA DO FRIO.....	7
2.2 ANVISA.....	11
2.3 TELEMETRIA .....	12
2.4 INTERNET DAS COISAS - IoT .....	13
2.5 MODELOS ESTATÍSTICOS DE PREDIÇÃO.....	19
2.6 SISTEMAS DE PREDIÇÃO DE FALHAS EM FREEZERS.....	22
2.7 MODELO DE PREDIÇÃO .....	24
2.8 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - IA .....	24
2.9 SEGURANÇA CYBERNÉTICA NA SAÚDE .....	25
<b>3 ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO E PROPOSTA DE ARQUITETURA.....</b>	<b>28</b>
3.1 ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO .....	28
3.2 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SOFTWARE .....	29
3.2.1 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS .....	29
3.2.2 REQUISITOS FUNCIONAIS .....	31
3.3 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE INFRAESTRUTURA .....	33
3.3.1 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS .....	33
3.3.2 REQUISITOS FUNCIONAIS .....	35
3.4 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE HARDWARE .....	37
3.4.1 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS .....	37
3.4.2 REQUISITOS FUNCIONAIS .....	39
3.5 PROPOSTA DE ARQUITETURA .....	42
3.5.1 INFRAESTRUTURA CLOUD.....	43

3.5.2	APLICAÇÃO .....	48
3.5.3	HARDWARE .....	60
<b>4</b>	<b>VALIDAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
4.1	CARACTERÍSTICA DOS DADOS .....	71
4.2	MODELAGEM DE DADOS .....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>
<b>A</b>	<b>CÓDIGO PYTHON - CÓDIGO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA PREDIÇÃO DE FA-LHAS .....</b>	<b>85</b>

# LISTA DE FIGURAS

3.1	Estrutura Analítica do Projeto .....	29
3.2	Arquitetura Proposta do Projeto .....	42
3.3	Proposta de Infraestrutura .....	43
3.4	Fluxo de funcionamento .....	48
3.5	Middleware .....	48
3.6	Diagrama de Interação com Banco de Dados.....	53
3.7	Diagrama de Classes.....	54
3.8	Tela de Login .....	58
3.9	Home do dashboard.....	58
3.10	Tela do Sensor.....	59
3.11	Painel de Monitoramento .....	59
3.12	Curva de Temperatura do Sensor .....	60
3.13	Micro-controlador ESP-12F .....	61
3.14	3D da placa do sensor de temperatura.....	61
3.15	Sensor DS18B20 .....	63
3.16	Layout da PCB do sensor de temperatura .....	66
3.17	3D da placa do sensor de temperatura.....	66
3.18	Layout da PCB do concentrador .....	68
3.19	3D da PCB do concentrador .....	68
4.1	Gráfico de Temperatura .....	71
4.2	Gráfico de decomposição.....	72
4.3	Autocorrelação da massa de dados .....	73
4.4	Modelagem de dados utilizando algoritmo AR .....	74
4.5	Modelagem de dados utilizando algoritmo ARMA .....	74
4.6	Modelagem de dados utilizando algoritmo ARIMA .....	75
4.7	Previsão de dados a partir do modelo ARIMA .....	75
4.8	Previsão de 6 horas de dados a partir do modelo ARIMA .....	76
4.9	Previsão de 3 horas de dados com frequência de 30 minutos a partir do modelo ARIMA .....	77
4.10	Primeira Diferença Sazonal .....	77
4.11	Curva de temperatura com previsão de dados em frequência de 1 minuto .....	78

# **LISTA DE TABELAS**

4.1	Segmentação de Equipamentos .....	70
4.2	Comparativo de dados projetados e medidos .....	76
4.3	Erros Quadráticos para 37 Equipamentos Monitorados.....	78
4.3	Erros Quadráticos para 37 Equipamentos Monitorados.....	79

# LISTA DE TERMOS E SIGLAS

ACF	Autocorrelation function
API	<i>Application Programming Interface</i>
APPCC	Análise de Pontos Críticos de Controle
AR	Autoregressive
ARIMA	Autoregressive integrated moving average
ARMA	Autoregressive moving average
AWS	mazon Web Services
CSS	<i>Cascading Style Sheets ou Folhas de Estilo em Cascata</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
EC2	Elastic Compute Cloud
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IoT	<i>Internet das Coisas</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
ONOS	<i>Open Network Operating System</i>
PACF	Partial Autocorrelation Function
PCB	Printed Circuit Board
QR Code	<i>Quick Response Code</i>
RP	<i>Relying Party</i>
SAAS	<i>Auth-as-a-Service</i>
SDN	Software defined networking
SSH	Secure Shell

SSH	<i>Secure Shell</i>
UML	Linguagem de Modelagem Unificada
VM	<i>Máquina Virtual</i>
WAF	Web Application Firewall

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas, a vacinação se destacou como o método mais eficaz e economicamente vantajoso no combate às doenças que podem ser prevenidas por imunização. Isso se deve à comprovada redução no número de hospitalizações, que, por sua vez, está relacionada aos custos elevados dos medicamentos e da infraestrutura de saúde necessários para tratar essas doenças [1].

Aproximadamente 2 milhões de mortes foram evitadas no mundo por programas de imunizações utilizando vacinas. A exemplo da vacinação contra hepatite B que evitou cerca de 600 mil mortes em todo o mundo. [2]. Com o objetivo de coordenar as ações de imunização e melhorar a cobertura de vacinação nacional foi criado no Brasil o Programa Nacional de Imunização (PNI), iniciativa que ajudou o país a erradicar doenças como varíola e poliomielite. As ações desenvolvidas pelo PNI têm exercido papel relevante nas diversas etapas que compõem o processo de vacinação, sendo um exemplo copiado por alguns países [3].

Para a vacinação ser um método de imunização eficiente é necessária atenção à forma de armazenamento e transporte destes imunizantes. Diversas outras mortes poderiam ser evitadas se as vacinas termosensíveis fossem armazenadas e transportadas corretamente. A Organização Mundial de Saúde realizou mais de 40 avaliações entre 2002 e 2005 onde apontaram diversos pontos de melhorias no processo de acondicionamento e distribuição de imunizantes. Dentre os pontos listados, destacam-se equipamentos inapropriados para armazenamento de vacinas, falta de monitoramento da temperatura recomendada, falta de dispositivos apropriados para monitoramento de temperatura em armazenamentos primários e intermediários, entre outros [2].

No âmbito do PNI, foi criado o Manual da Rede de Frio referenciado a partir das normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, orientações técnicas da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS). Este documento visa oferecer embasamento técnico para garantir a qualidade e excelência nos processos de fabricação, armazenamento, transporte, manipulação e distribuição de imunobiológicos envolvendo toda a cadeia participante, desde o laboratório fabricante até a ponta da cadeia no momento da distribuição à população [4].

Ainda em [2] defende que o futuro da cadeia do frio e da eficiência na conservação de va-

cinas depende do desenvolvimento e implantação de tecnologias voltadas para o monitoramento e registro eletrônico. Desta forma, o acompanhamento da temperatura seria simplificado e os profissionais e supervisores teriam acesso fácil à todos os eventos de violação das faixas ideais de temperatura que determinado lote possa ter sofrido.

Um estudo realizado em 2013 [5] analisou a taxa de utilização e perda de vacinas no Programa Nacional de Imunizações no período entre 2007 e 2010 de um município da região metropolitana de Curitiba (PR). Este estudo revelou que 68,91% das 2.101.103 doses de vacinas distribuídas ao município sofreram perda técnica.

Outro estudo publicado em 2021 [6], analisou as perdas de vacinas em uma Região de Saúde em São José do Rio Preto. Foram analisadas as fichas de notificação de alteração de temperatura enviadas ao Grupo de Vigilância Epidemiológica do estado das 192 salas de vacinação analisadas de 67 municípios, compreendendo o período de 2010 à 2017. Neste estudo observou-se uma perda de 41,4% das doses distribuídas ao programa, onde 70,1% das perdas foram por motivos estruturais como falha do equipamento refrigerador, falta de energia elétrica, desligamento de disjuntores, entre outros.

A Organização Mundial de Saúde, relata em [2] 16 tipos de imunizantes que devem obrigatoriamente serem armazenados entre 2°C e 8°C. Dentre as vacinas citadas encontram-se a BCG (Tuberculose), Hepatite B, Meningocócica, etc. Algumas vacinas, como a OPV, precisam de temperaturas entre -15°C e -25°C para que suas propriedades sejam preservadas. Já vacinas como BCG, sarampo, MMR e febre amarela, devem ser armazenadas entre +2°C e +8°C e não é recomendado o congelamento destas.

Em [7], foram analisados 24 artigos que abordavam evidências relacionadas a eventos críticos na manutenção da cadeia do frio de conservação de vacinas. Este estudo relatou que as ocorrências mais críticas fazem referência a falta de monitoramento e supervisão adequada. Estes dados reforçam a necessidade da aplicação de tecnologia de modo a tornar o processo de monitoramento da cadeia do frio mais seguro, preciso, rastreável e confiável.

Após a criação do programa de imunização, em 1974 pela Organização Mundial de Saúde, foi percebida a necessidade do monitoramento contínuo da cadeia do frio nos processos ligados à produção, estoque e distribuição de imunizantes [8]. Os primeiros métodos de monitoramento, surgiram em 1976, eram baseados em registros manuais e periódicos em papel, apenas grandes instituições possuíam registradores automáticos em discos giratórios de papel [8]. O método criado em 1976, onde o registro é feito de forma manual e periódica, é utilizado até hoje em diversas unidades de imunização [6].

Neste sentido, por volta de 1980, algumas empresas nos EUA, desenvolveram métodos de indicativos automáticos da exposição de vacinas à temperatura inadequada, métodos baseados em reações químicas e mudança na coloração de rótulos e embalagens [8]. Estes sistemas se mostraram mais confiáveis que o método pioneiro, mas ainda não garantia a rastreabilidade necessária identificando o momento exato da exposição bem como os dados históricos de temperatura [8]. Após 20 anos, os mesmos criadores desenvolveram um dos primeiros sistemas de monitoramento

e temperatura remoto e contínuo baseado na internet [8].

## 1.1 Motivação

Este trabalho tem como principal motivação apresentar uma solução prática funcional para aprimorar os métodos de monitoramento da rede de frios aplicada à conservação de vacinas, reduzindo a ocorrência de falhas técnicas e humanas, aumentando a precisão e rastreabilidade de todo o processo. Este método poderá ser aplicado em todas as etapas da rede de frios, desde o estoque, transporte e distribuição de imunopreveníveis.

Além da preocupação com a rede de frios no que diz respeito à temperatura, a inclusão de um sistema computadorizado operando na infra-estrutura de rede dos hospitais e coletando dados, muitas vezes críticos, requer que requisitos do ponto de vista da segurança cibernética sejam levados em consideração.

Como um dos principais e mais recentes ataques cibernéticos de grande impacto, o ataque de wannacry, deflagrado em 12 de maio de 2017, atingiu mais de 600 organizações de saúde pertencentes ao Serviço Nacional de Saúde (NHS) da Inglaterra [12]. Os impactos foram diversos nas unidades de saúde, desde a interrupção no uso de equipamentos como os de ressonância magnética, cancelamento de consultas médicas e cirurgias e até mesmo o retorno do preenchimento manual e em papel dos prontuários [9]. Sendo assim, a arquitetura proposta por este trabalho fará uso de técnicas de segurança cibernética como criptografia de dados, firewall e autenticação de requisitantes para garantir os requisitos de segurança cibernética que os sistemas de saúde requerem.

## 1.2 Objetivo

É latente a necessidade do desenvolvimento de soluções tecnológicas para área de monitoramento contínuo da rede de frio que tragam maior confiabilidade e precisão. Com isso, será proposto neste trabalho uma plataforma IoT capaz de monitorar os refrigeradores aplicados na rede do frio 24 horas por dia durante os 7 dias da semana. O monitoramento será realizado através de uma sonda de temperatura e unidades de comunicação. Estas unidades serão responsáveis por coletar os dados da temperatura interna dos equipamentos e enviá-los aos servidores onde serão processados e armazenados. Por sua vez, o servidor fará uma análise com o objetivo de detectar, de forma preditiva, uma tendência à falha destes refrigeradores usando algoritmos de estatística.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral desta proposta, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Especificar os requisitos mínimos para um sistema de monitoramento contínuo de baixo custo e que atenda a eficiência desejada.
- Propor a arquitetura de *software* e *hardware* para realizar a coleta de dados de temperatura e envio ao servidor.
- Desenvolver algoritmo baseado em modelos estatísticos capaz de predizer falhas nos refrigeradores.
- Apresentar um protótipo envolvendo as tecnologias e funcionalidades desenvolvidas no estudo de modo à demonstrar na prática a aplicação do algoritmo de predição de falhas.
- Validar o protótipo com estudo de caso real em uma instituição de saúde.

## **1.4 Contribuição do Trabalho**

A plataforma aqui proposta trará maior segurança e confiabilidade aos processos de conservação de vacinas a partir do monitoramento contínuo e inteligente proposto. Tornará mais acessível o emprego de tecnologia em laboratórios, clínicas, farmácias e estabelecimentos de pequeno porte com baixa capacidade de investimento em tecnologias atualmente comercializadas como de última geração.

A solução proposta por esta pesquisa poderá ser estendida para outros cenários onde o monitoramento se faz necessário. Pode abranger desde a fabricação de imunobiológicos como também realizar o monitoramento contínuo durante todo o transporte.

O desenvolvimento deste projeto e futura comercialização, trará fomento tecnológico e econômico ao país com desenvolvimento e aplicação de tecnologia em território nacional.

## **1.5 Publicações vinculadas ao Trabalho**

- Rabelo, Bruno Soares, et al. "PLATAFORMA IoT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM CONGELADORES ATRAVÉS DE MODELO AUTO-REGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIA MOVEL (ARIMA)."

## 1.6 Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa e alcance dos objetivos desta dissertação, será feito o levantamento de todo referencial teórico necessário, detalhamento e escolha da melhor arquitetura para coleta de dados e criação de um protótipo para aplicação da teoria desenvolvida.

Será utilizada a infraestrutura disponibilizada pela empresa Vitae Soluções em Engenharia através da plataforma DROME para coleta dos dados em campo e análise dos mesmos em ambiente computacional AWS (Amazon Web Services). A plataforma DROME está instalada em diversos Hospitais do país espalhados pelos estados da Bahia, Distrito Federal, Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina, Amazonas, etc.

A plataforma que apoiará esta pesquisa será composta por um conjunto de hardware responsável pela medição de temperatura. Este módulo físico é dividido em dois equipamentos distintos, um sensor de temperatura bluetooth e um concentrador de dados. Os dados serão coletados com periodicidade de 1 minuto e enviados através do rádio Bluetooth (Protocolo BLE) para o concentrador de dados. Por sua vez, o dispositivo concentrador fará armazenamento temporário destes dados e, mediante a disponibilidade de internet os dados são enviados ao servidor através de conexão Wi-Fi ou 3G.

O tráfego de dados será dado através do protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) que é um protocolo de comunicação leve e eficiente para dispositivos IoT, caracterizado por seu modelo de publicação/assinatura, baixa sobrecarga, suporte para qualidade de serviço, manutenção de conexão, escalabilidade e segurança. Essas vantagens tornam o MQTT ideal para troca confiável de mensagens em redes de sensores e IoT, garantindo baixa latência, eficiência energética e flexibilidade em diversos cenários de aplicação.

A partir da triagem e coleta dos dados, será dado início nas simulações para melhor definição do modelo a ser aplicado e posterior implementação em ambiente linux AWS. Será utilizada a plataforma do Google Colab para manipulação de dados e realização dos cálculos. Usando Python, serão testados três modelos diferentes: AR, ARMA e ARIMA.

## 1.7 Organização do Trabalho

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, incluindo este de introdução.

O capítulo 2 trata de trabalhos relacionados e bases conceituais da dissertação, o que inclui uma revisão literária que embasa a justificativa do tema, além das ferramentas e tecnologias adotadas para o desenvolvimento do protótipo. Será abordado o tema da Cadeia do Frio que estabelece as regras e requisitos mínimos para manipulação de substâncias termosensíveis, apresentação do órgão regulatório do país que exerce o controle sanitário dos produtos ou serviços relacionados à saúde. Também será abordada a telemetria e os principais componentes utilizados, dentre outras tecnologias adotadas na elaboração desta proposta. Ainda neste capítulo serão apresenta-

das as principais teorias estatísticas utilizadas nos modelos de predição de falhas e os trabalhos relacionados com esta Dissertação.

# **Capítulo 2**

## **Revisão Bibliográfica e Trabalhos Relacionados**

### **2.1 Cadeia do Frio**

A cadeia do frio é um sistema complexo de gerenciamento e controle de temperatura utilizado em diferentes setores, como a indústria alimentícia, farmacêutica e de saúde pública. Essa cadeia é responsável por garantir que produtos sensíveis à temperatura, como alimentos, medicamentos e vacinas, sejam mantidos em condições adequadas de armazenamento e transporte, a fim de preservar sua qualidade, eficácia e segurança.

A temperatura é um fator crítico [2] para a conservação de muitos produtos, pois a exposição a temperaturas inadequadas pode causar a deterioração desses produtos, levando à perda de nutrientes, diminuição da eficácia e até mesmo a contaminação por micro-organismos. Por isso, a cadeia do frio é tão importante para esses setores, pois permite que esses produtos sejam mantidos em temperaturas adequadas desde sua produção até o consumo final.

A cadeia do frio envolve uma série de etapas que incluem o armazenamento, transporte e distribuição dos produtos, sendo necessário o uso de equipamentos e tecnologias específicas para o controle da temperatura em cada uma dessas etapas. Além disso, a cadeia do frio requer um conjunto de procedimentos operacionais padrão e monitoramento constante para garantir que os produtos sejam mantidos nas temperaturas ideais.

Na indústria alimentícia, por exemplo, a cadeia do frio começa com a armazenagem dos produtos em câmaras frias, que são mantidas a temperaturas adequadas. Em seguida, os produtos são transportados em veículos refrigerados, que também devem manter a temperatura ideal durante o transporte. Já na indústria farmacêutica e de saúde pública, a cadeia do frio é utilizada para garantir a qualidade e segurança dos medicamentos e vacinas, que são altamente sensíveis a variação de temperatura.

Apesar de ser uma prática bem estabelecida em muitos setores, a cadeia do frio ainda en-

frenta muitos desafios, especialmente em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura e os recursos necessários para a implementação desse sistema são limitados. Por isso, é importante continuar investindo em tecnologias e estratégias que possam melhorar a eficiência da cadeia do frio, garantindo que os produtos sejam mantidos nas temperaturas adequadas em todas as etapas da cadeia.

O trabalho [10] é uma revisão sobre a gestão da cadeia de frio de vacinas e tecnologia de armazenamento a frio, com o objetivo de abordar os desafios enfrentados pelos programas de vacinação e como a eficiência energética, inovação e IoT podem ajudar a enfrentá-los. Os autores destacam a importância da manutenção da temperatura adequada durante o armazenamento e transporte de vacinas para garantir sua eficácia e segurança.

Os autores apresentam a contribuição de tecnologias como big data e IoT para melhorar a gestão da cadeia de frio de vacinas, permitindo o monitoramento em tempo real da temperatura e condições de armazenamento. Além disso, o uso de resfriamento passivo é discutido como uma alternativa mais sustentável e eficiente em termos de energia para o armazenamento de vacinas.

Entre os desafios apresentados pelos autores, estão a falta de infraestrutura adequada em países em desenvolvimento, a falta de conscientização sobre a importância da gestão da cadeia de frio de vacinas e a necessidade de investimentos em tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

A pesquisa destaca a importância da gestão adequada da cadeia de frio de vacinas para garantir a eficácia e segurança das vacinas, e apresentam tecnologias e estratégias que podem ajudar a enfrentar os desafios associados a essa gestão. A principal contribuição do artigo é fornecer uma visão geral dos desafios e soluções relacionados à gestão da cadeia de frio de vacinas, com foco em tecnologias mais eficientes e sustentáveis.

O artigo [11] apresenta um estudo realizado no México que teve como objetivo documentar a história completa da temperatura em rotas selecionadas de distribuição de vacinas, identificando áreas problemáticas específicas onde ações corretivas e medidas de controle podem ser necessárias. Para isso, foram selecionados dois estados, Chihuahua e Puebla, e em cada estado, dois municípios foram escolhidos aleatoriamente, e em cada município, duas vilas foram selecionadas aleatoriamente.

Os autores também avaliaram a facilidade de uso e o desempenho de dispositivos de monitoramento de temperatura incluídos no estudo, como data loggers, indicadores de limite e monitor de frasco de vacina (VVM). Eles discutem a importância de indicadores que possam ser lidos e interpretados pelos trabalhadores de saúde no ponto de uso, a fim de permitir decisões significativas e oportunas, simplificando o processo e reduzindo o desperdício.

O artigo destaca a importância do monitoramento adequado da temperatura para garantir a eficácia das vacinas e a segurança dos pacientes, e enfatiza que medidas devem ser tomadas para garantir que a temperatura seja mantida dentro da faixa recomendada. Os autores também discutem os desafios enfrentados na manutenção da temperatura adequada, como a falta de energia elétrica em algumas áreas e a falta de treinamento adequado para os trabalhadores de saúde.

Dentre as principais contribuições que este artigo traz estão:

- Identificação de áreas problemáticas específicas onde a temperatura das vacinas estava fora da faixa recomendada de 2°C a 8°C.
- Avaliação da facilidade de uso e desempenho de dispositivos de monitoramento de temperatura, como data loggers, indicadores de limite e monitor de frasco de vacina (VVM).
- Recomendação da implementação de indicadores que possam ser lidos e interpretados pelos trabalhadores de saúde no ponto de uso, a fim de permitir decisões significativas e oportunas, simplificando o processo e reduzindo o desperdício.
- Destaque da importância do monitoramento adequado da temperatura para garantir a eficácia das vacinas e a segurança dos pacientes.
- Identificação de desafios enfrentados na manutenção da temperatura adequada, como a falta de energia elétrica em algumas áreas e a falta de treinamento adequado para os trabalhadores de saúde.

Em resumo, o artigo apresenta uma análise detalhada da importância do monitoramento da temperatura na cadeia de frio de vacinas, destacando os desafios enfrentados e as medidas que podem ser tomadas para garantir a eficácia das vacinas e a segurança dos pacientes.

A pesquisa [12] destaca que, embora os avanços tecnológicos tenham contribuído para a melhoria da cadeia de frio, as operações logísticas e de transporte ainda são um grande desafio, especialmente em países em desenvolvimento. Em seguida, os autores apresentam uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da IoT na logística da cadeia de frio, com foco no transporte de vacinas. Eles discutem como a IoT pode ajudar a melhorar a qualidade da cadeia de frio, permitindo o monitoramento em tempo real da temperatura e outras condições ambientais, bem como a rastreabilidade dos produtos.

Os autores também exploram como outras tecnologias, como o Sistema Ciberfísico, a computação em nuvem e o Blockchain, podem contribuir para a otimização da logística da cadeia de frio. Eles destacam que essas tecnologias podem ajudar a melhorar a eficiência, a transparência e a segurança da cadeia de frio, reduzindo o risco de perda ou dano aos produtos.

Por fim, os autores discutem os benefícios potenciais da implementação da IoT na logística da cadeia de frio para o transporte de vacinas, incluindo melhor qualidade, tempo e sustentabilidade. Eles destacam que a IoT pode ajudar a reduzir o desperdício de vacinas, melhorar a eficiência da distribuição e garantir que as vacinas cheguem aos pacientes em condições adequadas.

O artigo apresenta uma visão geral abrangente do uso da IoT na logística da cadeia de frio para o transporte de vacinas, destacando os desafios enfrentados e as possíveis soluções. Os autores concluem que a IoT tem o potencial de melhorar significativamente a logística da cadeia de frio e que mais pesquisas são necessárias para explorar completamente suas possibilidades.

O trabalho [13] é um estudo que propõe um modelo matemático para a distribuição de vacinas contra a COVID-19. O modelo é multiobjetivo, multiperíodo e multi-elo, considerando a gestão de resíduos, os efeitos ambientais, a demanda de cobertura e o tempo de entrega simultaneamente. Os autores utilizam o método LP-metric e algoritmos meta-heurísticos para resolver o modelo desenvolvido.

O artigo aborda os desafios enfrentados na distribuição de vacinas em larga escala, como a necessidade de uma rede de cadeia de suprimentos integrada e responsiva, a gestão de resíduos e os efeitos ambientais. Os autores destacam a importância de uma abordagem holística para a distribuição de vacinas, considerando múltiplos objetivos e restrições.

A contribuição dos autores é fornecer uma solução inovadora para o problema de distribuição de vacinas, utilizando tecnologias avançadas como Internet-of-Things e inteligência artificial. Eles propõem um modelo matemático que considera múltiplos objetivos e restrições, além de utilizar algoritmos meta-heurísticos para resolver o problema. Os autores também destacam a importância de uma abordagem integrada e responsiva para a distribuição de vacinas, que considera não apenas a eficiência, mas também a sustentabilidade e os impactos ambientais.

Dentre as contribuições citadas podemos também listar alguns dos principais resultados entregues pela pesquisa:

- O modelo matemático proposto considera múltiplos objetivos e restrições, como a gestão de resíduos, os efeitos ambientais, a demanda de cobertura e o tempo de entrega simultaneamente.
- Os autores utilizam o método LP-metric e algoritmos meta-heurísticos para resolver o modelo desenvolvido.
- Os resultados mostram que o modelo proposto é capaz de encontrar soluções eficientes e sustentáveis para o problema de distribuição de vacinas.
- Os autores também comparam os resultados obtidos com diferentes algoritmos meta-heurísticos, como o Gray Wolf Optimization, o Variable Neighborhood Search e o Multi-Objective Gray Wolf Optimization.
- Os resultados mostram que o Multi-Objective Gray Wolf Optimization é capaz de encontrar soluções mais eficientes e sustentáveis do que os outros algoritmos testados.
- Os autores também apresentam uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto de diferentes parâmetros no modelo proposto.
- Os resultados mostram que o modelo é robusto e capaz de lidar com diferentes cenários e condições.

Desta forma entende-se que, a cadeia do frio desempenha um papel fundamental na garantia da qualidade, eficácia e segurança de produtos sensíveis à temperatura. As pesquisas examinadas

ilustram a importância da monitorização contínua da temperatura, destacando a contribuição de tecnologias como IoT e modelos matemáticos multiobjetivo na otimização da logística da cadeia do frio. Ao enfrentar os desafios atuais e futuros, o aprimoramento da gestão da cadeia do frio é crucial para assegurar que alimentos, medicamentos e vacinas cheguem aos consumidores em condições ideais, beneficiando a saúde pública e a sociedade como um todo.

## 2.2 ANVISA

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é uma agência reguladora brasileira criada em 1999 [14], vinculada ao Ministério da Saúde. Sua missão é proteger e promover a saúde da população por meio da regulamentação e fiscalização de produtos e serviços sujeitos à vigilância sanitária.

A ANVISA é responsável por regular diversos setores, incluindo alimentos, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, dispositivos médicos, produtos de uso veterinário, entre outros. Para isso, a agência estabelece normas, regulamentações e diretrizes para a fabricação, importação, comercialização e distribuição desses produtos.

Além disso, é responsável por realizar a fiscalização e inspeção das empresas que atuam nesses setores, verificando se os produtos e serviços estão em conformidade com as normas estabelecidas pela agência. Também é responsável pela emissão de registros e autorizações para a comercialização de produtos e serviços sujeitos à vigilância sanitária.

A atuação da ANVISA é fundamental para garantir a segurança e a qualidade dos produtos e serviços oferecidos à população, bem como para prevenir e controlar doenças e riscos à saúde pública. A agência trabalha de forma integrada com outros órgãos e instituições, como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, entre outros, para garantir a efetividade de suas ações. Também possui uma importante atuação em pesquisa e desenvolvimento, sendo responsável por fomentar a inovação e o avanço científico e tecnológico em diversos setores sujeitos à vigilância sanitária. A agência realiza estudos e pesquisas, promove eventos e capacitações, e atua em parceria com instituições nacionais e internacionais para fortalecer a ciência e a tecnologia no país.

Para atender aos seus objetivos e responsabilidades, a ANVISA conta com uma estrutura organizacional composta por diversas áreas, incluindo a Presidência, as Diretorias, as Gerências, as Coordenações e as Unidades Regionais. A agência também possui um Conselho Consultivo, que tem a função de assessorar a Presidência e as Diretorias da agência.

Em suma, é uma importante agência reguladora brasileira que atua na proteção e promoção da saúde da população por meio da regulamentação e fiscalização de produtos e serviços sujeitos à vigilância sanitária. A agência possui uma ampla atuação em diversos setores, sendo fundamental para garantir a segurança e a qualidade dos produtos e serviços oferecidos à população.

## 2.3 Telemetria

A telemetria é uma tecnologia que permite a medição remota de dados e o controle de dispositivos à distância. Ela é utilizada em diversas áreas, desde a indústria até a exploração espacial, e tem se tornado cada vez mais presente em nosso dia a dia.

O funcionamento da telemetria envolve o uso de sensores para coletar dados, que são transmitidos através de uma rede de comunicação para um sistema de processamento. A partir desse sistema, os dados podem ser interpretados e utilizados para controle ou monitoramento de dispositivos.

Na indústria, a telemetria tem sido utilizada para monitorar e controlar processos produtivos. Sensores instalados em máquinas e equipamentos enviam dados sobre temperatura, pressão, velocidade, entre outros, para um sistema central de monitoramento. Esse sistema pode acionar alertas em caso de falhas ou desvios nos processos, permitindo ações imediatas para correção dos problemas.

Na área da saúde, a telemetria tem sido utilizada para monitorar pacientes à distância. Sensores em equipamentos médicos podem coletar dados como frequência cardíaca, respiratória, nível de glicose, entre outros, que são transmitidos para um sistema central. Esse sistema pode alertar médicos e profissionais de saúde em caso de variações nos dados, permitindo intervenções precoces e mais efetivas.

Na exploração espacial, a telemetria é essencial para o monitoramento de satélites, sondas e outros equipamentos. Sensores instalados nesses dispositivos coletam dados sobre temperatura, pressão, orientação, entre outros, que são transmitidos para estações terrestres. A partir desses dados, os cientistas podem controlar e monitorar os dispositivos à distância.

A telemetria também tem sido utilizada na indústria automotiva, permitindo o monitoramento remoto de veículos. Sensores em carros e caminhões coletam dados sobre velocidade, consumo de combustível, pressão dos pneus, entre outros, que são transmitidos para sistemas centrais de monitoramento. Isso permite o controle remoto de veículos em caso de roubo ou acidentes, além de possibilitar o desenvolvimento de sistemas de direção autônoma.

Esta é uma tecnologia que tem possibilitado avanços significativos em diversas áreas. Com ela, é possível monitorar e controlar dispositivos à distância, tornando processos mais eficientes, seguros e precisos. À medida que a tecnologia avança, é provável que novas aplicações da telemetria surjam, permitindo o desenvolvimento de soluções cada vez mais inovadoras e disruptivas.

O artigo [15] é uma pesquisa que explora as técnicas de previsão de dados de telemetria em data centers. O objetivo do estudo é identificar os desafios e oportunidades para a previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers, bem como as abordagens mais comuns para lidar com esses desafios.

O artigo começa apresentando uma visão geral dos desafios enfrentados na previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers. Esses desafios incluem a complexidade dos

dados, a necessidade de previsões precisas em tempo real e a necessidade de lidar com grandes volumes de dados.

Em seguida, o artigo apresenta uma revisão das abordagens mais comuns para a previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers. Essas abordagens incluem modelos de regressão linear, modelos de séries temporais, redes neurais artificiais e algoritmos de aprendizado de máquina.

O artigo também discute as oportunidades que a previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers pode oferecer. Essas oportunidades incluem a melhoria da eficiência operacional, a redução de custos e a melhoria da qualidade do serviço.

Por fim, o artigo conclui que a previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers é um campo em constante evolução, com muitas oportunidades para melhorias futuras. As principais contribuições do artigo são a identificação dos desafios e oportunidades para a previsão de séries temporais de dados de telemetria em data centers e a revisão das abordagens mais comuns para lidar com esses desafios.

## 2.4 Internet das Coisas - IoT

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que tem atraído muita atenção nos últimos anos devido às suas possibilidades de transformação e automação de diversos setores. A IoT é uma rede de dispositivos interconectados que coletam, transmitem e analisam dados em tempo real, permitindo a tomada de decisões mais informadas e automatizadas.

A IoT é baseada em três pilares principais: sensores, dispositivos e conectividade. Os sensores são responsáveis por coletar dados de diferentes fontes, como temperatura, umidade, movimento e luminosidade. Esses dados são transmitidos para dispositivos de processamento, como computadores, smartphones e tablets, que realizam a análise e processamento dos dados. A conectividade é fundamental para a comunicação entre os dispositivos e a transmissão dos dados, sendo possível através de diferentes tecnologias, como Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee e 5G.

Esta tecnologia tem uma variedade de aplicações em diferentes setores, como saúde, transporte, agricultura, manufatura, varejo e energia. Na área da saúde, por exemplo, a IoT pode ser usada para monitorar pacientes em tempo real e enviar alertas para médicos em caso de emergência. Na agricultura, sensores podem ser usados para medir a umidade do solo, temperatura e outras variáveis, permitindo o controle remoto da irrigação e fertilização das plantas.

No entanto, a IoT também apresenta alguns desafios e preocupações, como privacidade e segurança. Como os dispositivos IoT coletam e transmitem dados pessoais, é necessário garantir a privacidade e a segurança desses dados para evitar a exposição indevida das informações. Além disso, a IoT também pode ser vulnerável a ataques cibernéticos, uma vez que os dispositivos IoT são frequentemente conectados a redes e sistemas que podem ser explorados por hackers.

Para enfrentar esses desafios, é importante implementar medidas de segurança robustas, como

criptografia de dados e autenticação de dispositivos, bem como promover a conscientização sobre segurança cibernética entre os usuários de dispositivos IoT.

Esta é uma tecnologia revolucionária que tem o potencial de transformar a forma como vivemos e trabalhamos. No entanto, é necessário equilibrar as possibilidades de automação e eficiência oferecidas pela IoT com a proteção da privacidade e segurança dos dados.

O trabalho [16] apresenta uma revisão das formas modernas de preparação, aquisição e processamento de dados em projetos baseados no conceito de Internet das Coisas (IoT). O objetivo do trabalho é melhorar os sistemas de obtenção e processamento de informações, que dependem de um complexo de soluções técnicas modernas.

A pesquisa começa com uma introdução que destaca a relevância do estudo, uma vez que o desenvolvimento do conceito de IoT está ocorrendo em um ritmo muito acelerado. Durante sua formação, áreas como educação, indústria e economia são afetadas. O trabalho é voltado para o setor educacional, onde muitas empresas consideram a introdução de sistemas inteligentes e desenvolvimentos complexos baseados na IoT no processo de aprendizagem como uma etapa integral do desenvolvimento da educação.

O estudo apresenta uma revisão das melhores práticas e soluções técnicas para a coleta e processamento de dados em projetos baseados na IoT. Entre as principais soluções tecnológicas consideradas no trabalho estão a organização da interação em rede, protocolos de rede e organização de processos de computação. Os autores destacam a importância da integração de soluções "inteligentes" no processo de aprendizagem para facilitar a organização e aquisição de conhecimento de forma mais conveniente e eficiente.

Os autores também apresentam as consequências dos resultados dos experimentos realizados com equipamentos de laboratório da National Instruments. Os desafios enfrentados pelos autores incluem a seleção e integração de soluções em um arranjo coordenado de coleta e processamento de dados, bem como a investigação do uso e incorporação do framework antecipado.

O artigo destaca as oportunidades oferecidas pela IoT, como a melhoria da eficiência e produtividade, a redução de custos e a criação de novos modelos de negócios. No entanto, os autores também apontam os desafios enfrentados pela IoT, como a segurança e privacidade dos dados, a interoperabilidade entre dispositivos e a falta de padrões comuns.

A pesquisa [17] apresenta uma pesquisa sobre o mercado de IoT (Internet das Coisas) com foco em soluções industriais. O objetivo do estudo é identificar tendências, requisitos, demandas e oportunidades de inovação para os industriais.

O trabalho está organizado em seis seções. Na seção II, são analisadas brevemente as tendências e o crescimento do mercado de IoT. Na seção III, é apresentada a evolução das tecnologias e aplicações context-aware. Na seção IV, é introduzida a fundamentação teórica e o framework de avaliação utilizado no estudo. Na seção V, é feita uma revisão de um número selecionado de soluções de IoT a partir da perspectiva context-aware. Na seção VI, são apresentadas as lições aprendidas e as oportunidades de inovação com base nos resultados da avaliação. Por fim, na

seção VII, são apresentadas as conclusões do estudo.

Os autores classificam as soluções de IoT em cinco segmentos: smart wearable, smart home, smart city, smart environment e smart enterprise. A pesquisa identificou que as informações primárias coletadas por meio de sensores são limitadas, mas a forma como esses dados são processados varia significativamente, dependendo da aplicação e das funcionalidades necessárias que o produto IoT pretende oferecer.

Uma taxonomia e um framework de avaliação são apresentados para identificar as principais estratégias usadas pelos produtos IoT para oferecer funcionalidades context-aware. O framework de avaliação é composto por cinco critérios: contexto, coleta de dados, processamento de dados, tomada de decisão e feedback.

As principais contribuições do estudo são a identificação de tendências e oportunidades de inovação no mercado de IoT, a classificação das soluções de IoT em cinco segmentos e a apresentação de uma taxonomia e um framework de avaliação para produtos IoT context-aware. Os principais desafios identificados são a coleta, o processamento e a fusão de informações, que se tornaram mais complexos ao longo do tempo, e a necessidade de lidar com grandes quantidades de dados para tomada de decisão.

O artigo [18] apresenta um sistema de monitoramento remoto de pacientes em tempo real baseado em IoT (Internet das Coisas) que utiliza o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para garantir a integridade dos dados do eletrocardiograma (ECG) transmitidos. O sistema foi desenvolvido para superar as barreiras de distância e falta de médicos em áreas rurais, permitindo que os médicos monitorem os dados do ECG dos pacientes em tempo real, independentemente de sua localização.

O artigo descreve em detalhes a arquitetura do sistema, que consiste em um dispositivo de monitoramento de pacientes, um gateway de IoT e um servidor em nuvem. O dispositivo de monitoramento de pacientes é composto por um microcontrolador, um módulo de comunicação sem fio e um sensor de ECG. O gateway de IoT é responsável por coletar os dados do dispositivo de monitoramento de pacientes e transmiti-los para o servidor em nuvem usando o protocolo MQTT.

O artigo também apresenta os resultados de dois experimentos realizados em ambientes de rede reais para testar o desempenho do sistema em diferentes condições. Os resultados mostraram que o sistema é capaz de transmitir dados do ECG em tempo real com alta confiabilidade e baixa latência.

Entre as principais contribuições do artigo estão a proposta de um sistema de monitoramento remoto de pacientes em tempo real baseado em IoT, a utilização do protocolo MQTT para garantir a integridade dos dados do ECG transmitidos e a descrição detalhada da arquitetura do sistema. Entre os desafios apontados estão a necessidade de garantir a segurança dos dados do paciente e a interoperabilidade com outros sistemas de saúde. Entre as oportunidades apontadas estão a possibilidade de expandir o sistema para monitorar outros sinais vitais e a utilização de técnicas de aprendizado de máquina para análise dos dados coletados.

O artigo [19], publicado em 2014 na revista Future Generation Computer Systems, apresenta uma visão geral sobre a Internet das Coisas (IoT), destacando suas principais contribuições, desafios e oportunidades. O texto começa descrevendo as áreas de investimento e desenvolvimento em IoT, que incluem: smart grid, transporte inteligente, logística inteligente, casa inteligente, testes de segurança e meio ambiente, controle e automação industrial, saúde, agricultura de precisão, finanças e serviços e defesa militar.

O artigo também aborda os desafios específicos da IoT, como privacidade, participação em sensores, análise de dados, visualização baseada em GIS e computação em nuvem, além dos desafios padrão de WSN, incluindo arquitetura, eficiência energética, segurança, protocolos e qualidade de serviço. O objetivo final é ter objetos inteligentes Plug and Play que possam ser implantados em qualquer ambiente com uma espinha dorsal interoperável permitindo que eles se misturem com outros objetos inteligentes ao seu redor. A padronização de bandas de frequência e protocolos desempenha um papel fundamental na realização desse objetivo.

Em resumo, o artigo destaca a importância da IoT como uma tecnologia emergente que pode influenciar a próxima geração de sistemas móveis, fornecendo novos dados em evolução e os recursos computacionais necessários para criar aplicativos revolucionários. O texto apresenta um modelo baseado em nuvem centrado no usuário para abordar esse objetivo por meio da interação de redes privadas e públicas. O artigo conclui com uma discussão sobre os desafios e oportunidades futuras na IoT.

A pesquisa [20] apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a Internet das Coisas (IoT) na indústria, com o objetivo de identificar as principais contribuições, desafios e oportunidades relacionados a essa tecnologia.

As principais contribuições da IoT na indústria incluem a melhoria da eficiência operacional, a redução de custos, a otimização do uso de recursos, a melhoria da qualidade dos produtos e serviços, a criação de novos modelos de negócios e a transformação digital das empresas. No entanto, a implementação da IoT na indústria também apresenta desafios, como a interoperabilidade, a segurança, a privacidade, a complexidade, a falta de padronização e a falta de habilidades e conhecimentos técnicos.

As oportunidades relacionadas à IoT na indústria incluem a criação de novos produtos e serviços, a melhoria da experiência do cliente, a geração de novas fontes de receita, a criação de novos empregos e a transformação digital das empresas. Para aproveitar essas oportunidades, as empresas precisam investir em tecnologias de IoT, desenvolver habilidades e conhecimentos técnicos, colaborar com outras empresas e instituições, e adotar uma abordagem estratégica para a implementação da IoT.

O trabalho também apresenta uma análise bibliométrica dos estudos publicados sobre IoT na indústria, identificando as principais tendências e lacunas na pesquisa. A análise revelou que a maioria dos estudos se concentram em aspectos técnicos da IoT, como sensores, redes e plataformas, enquanto há uma falta de estudos sobre aspectos organizacionais, sociais e econômicos da IoT na indústria.

Em resumo, o artigo destaca a importância da IoT na indústria, bem como os desafios e oportunidades associados a essa tecnologia. As empresas precisam estar cientes desses desafios e oportunidades e adotar uma abordagem estratégica para a implementação da IoT, a fim de aproveitar ao máximo seus benefícios.

O artigo [21] aborda a importância da conservação de energia em redes de sensores sem fio (WSN) e como a Internet das Coisas (IoT) pode ser utilizada para melhorar a eficiência energética dessas redes. O documento revisa as abordagens de agregação de dados propostas em trabalhos anteriores, que se concentram na conservação de energia, aumento da vida útil, melhor qualidade de serviço e segurança de alto nível da rede.

O artigo também discute os desafios enfrentados pelas redes de sensores sem fio, como a gestão em tempo real e a segurança e privacidade dos dados. Para lidar com esses desafios, o documento sugere o uso de um design eficiente de gateway de serviço na IoT para minimizar a quantidade de dados transmitidos e um middleware inteligente para comunicar informações em tempo real apenas quando necessário. Além disso, o artigo destaca a importância da segurança e privacidade dos dados em aplicações do mundo real.

O documento também revisa a literatura existente sobre a relação entre IoT e WSN, apresentando diferentes categorias identificadas em trabalhos anteriores. Algumas dessas categorias incluem o uso de energia solar para redes de agricultura de precisão, a coleta de dados IoT e a tomada de decisões, e a monitorização de painéis solares usando WSNs baseados em IoT.

As principais contribuições do artigo incluem a revisão das abordagens de agregação de dados propostas em trabalhos anteriores, a discussão dos desafios enfrentados pelas redes de sensores sem fio e a apresentação de soluções para lidar com esses desafios. O documento também destaca a importância da segurança e privacidade dos dados em aplicações do mundo real e revisa a literatura existente sobre a relação entre IoT e WSN.

A pesquisa [22] foi publicada em 2019 na revista Sensors. Ela apresenta um framework de Internet das Coisas (IoT) para o gerenciamento inteligente de energia em edifícios.

Os autores também discutem as implicações sociais e ambientais do uso de tecnologias IoT para o gerenciamento de energia em edifícios, como a redução de emissões de gases de efeito estufa e o impacto no conforto dos ocupantes do edifício.

O trabalho apresenta um framework IoT para o gerenciamento inteligente de energia em edifícios. Ele descreve os resultados de experimentos realizados em um protótipo implementado e discute as implicações sociais e ambientais do uso dessa tecnologia. O trabalho é relevante para pesquisadores e profissionais interessados em tecnologias IoT para o gerenciamento de energia em edifícios.

O artigo [23] é apresenta uma pesquisa abrangente sobre a integração da tecnologia blockchain com sistemas IoT e IIoT. Ele discute os desafios enfrentados pelos sistemas IoT, como a descentralização, vulnerabilidades de segurança e privacidade, ponto único de falha e problemas de confiança, e sugere que a tecnologia blockchain pode abordar esses desafios sem a necessidade

de um terceiro confiável.

Os autores também discutem o uso de algoritmos de aprendizado de máquina em sistemas IoT, que podem processar e classificar as vastas quantidades de dados gerados por dispositivos IoT. No entanto, os autores observam que apenas alguns artigos de pesquisa exploraram o uso de algoritmos de aprendizado de máquina em sistemas IoT e sugerem que esta é uma área promissora para pesquisas futuras.

Os autores destacam o potencial da tecnologia blockchain no setor de saúde, particularmente no contexto da pandemia em curso de COVID-19. Eles sugerem que os dispositivos de Internet das coisas médicas (IoMT) podem fornecer instalações médicas para diferentes organizações de saúde, mas também enfrentam vulnerabilidades de privacidade e segurança, que podem ser abordadas pela tecnologia blockchain.

Uma das forças do artigo é sua pesquisa abrangente sobre o estado da arte da pesquisa em sistemas IoT e IIoT baseados em blockchain. Os autores fornecem uma análise detalhada dos desafios enfrentados pelos sistemas IoT e sugerem que a tecnologia blockchain pode abordar esses desafios sem a necessidade de um terceiro confiável. Os autores também destacam o potencial dos algoritmos de aprendizado de máquina em sistemas IoT e sugerem que esta é uma área promissora para pesquisas futuras.

No entanto, uma das fraquezas do artigo é sua falta de discussão sobre as possíveis desvantagens e limitações dos sistemas IoT e IIoT baseados em blockchain. Embora os autores reconheçam os desafios enfrentados pelos sistemas IoT, eles não discutem os possíveis desafios e limitações da tecnologia blockchain, como escalabilidade, consumo de energia e questões regulatórias. Além disso, os autores não fornecem uma análise detalhada das possíveis implicações éticas e sociais dos sistemas IoT e IIoT baseados em blockchain.

Em conclusão, o trabalho fornece uma pesquisa abrangente sobre o estado da arte da pesquisa em sistemas IoT e IIoT baseados em blockchain, destacando o potencial da tecnologia blockchain em abordar os desafios enfrentados pelos sistemas IoT. No entanto, o artigo poderia se beneficiar de uma discussão mais detalhada das possíveis desvantagens e limitações da tecnologia blockchain, bem como das implicações éticas e sociais dos sistemas IoT e IIoT baseados em blockchain.

O artigo [24] aborda a Internet das Coisas (IoT) na área da saúde, discutindo dispositivos IoT, sistemas de hardware e software, tecnologias fundamentais, protocolos de comunicação e aplicações na saúde. Destaca a importância da redução de dispositivos por pessoa, aponta desafios na implantação em larga escala e recomenda pesquisas futuras, incluindo o uso de energia solar e otimização de hardware e software. O artigo conclui que a IoT pode revolucionar a conectividade entre dispositivos conectados, contribuindo para uma conectividade ubíqua.

O artigo [25] apresenta um sistema inovador para monitorar o armazenamento refrigerado de medicamentos, vacinas, dispositivos médicos e amostras biológicas. O sistema utiliza tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), sistemas embarcados, aplicativos móveis e serviços em nuvem, para obter monitoramento contínuo de substâncias e ambientes sensíveis. O objetivo é

garantir a segurança e a qualidade dos produtos e reduzir os riscos associados à sua manipulação e armazenamento.

A pesquisa destaca a importância da gestão de risco em saúde e a complexidade dos processos clínicos e dos riscos associados. Para garantir a segurança dos pacientes, é necessário identificar e analisar os processos e elementos críticos e implementar procedimentos e soluções adequadas para reduzir os riscos. O armazenamento refrigerado de medicamentos, vacinas e amostras biológicas é um tema crítico e desafiador, que requer monitoramento contínuo e preciso das condições ambientais, como temperatura e umidade.

O sistema proposto é uma solução completa capaz de atender a todas as necessidades do sistema de saúde para o gerenciamento e transporte de medicamentos, vacinas, dispositivos médicos e amostras biológicas. O sistema utiliza tecnologias avançadas, como o PHP, MariaDB e o CakePHP framework, para desenvolver todos os componentes do lado do servidor, gerenciar dados e criar APIs REST.

O trabalho destaca que o sistema proposto representa uma oportunidade para simplificar e melhorar o gerenciamento de risco em saúde, especialmente no que diz respeito à gestão da cadeia de frio. O sistema é capaz de monitorar continuamente as condições ambientais e acionar intervenções específicas de manutenção. O artigo também destaca que o sistema pode ser usado em vários contextos, como laboratórios de análises clínicas, serviços de imunotransfusão, laboratórios de genética médica, laboratórios de tipagem de tecidos para transplantes, anatomia patológica, laboratórios de criopreservação, farmácias hospitalares e unidades operacionais hospitalares.

Os autores apontam alguns desafios e oportunidades para o sistema proposto, como a segurança, a prevenção de roubos de amostras biológicas, medicamentos e dispositivos médicos, a certificação de criopreservação e a interoperabilidade com outros sistemas de saúde. O artigo também destaca a importância da rastreabilidade das atividades relacionadas ao sistema e a necessidade de soluções simples e de baixo custo para todos os volumes e temperaturas típicas do ambiente de saúde.

Em síntese, o tema desta dissertação evidencia a aplicabilidade prática e promissora da IoT no aprimoramento da monitorização e preservação das vacinas. Ao abordar de forma direcionada os desafios da manutenção da cadeia de frio, este trabalho ressalta o potencial impacto positivo da IoT na eficácia e disponibilidade das vacinas, ressaltando a relevância crescente da tecnologia na área da saúde e conservação de produtos sensíveis às condições de temperatura.

## 2.5 Modelos Estatísticos de Predição

Os modelos estatísticos de predição são uma ferramenta importante na análise de dados em diversas áreas, como a financeira, a industrial e a médica. Esses modelos são baseados em técnicas estatísticas que permitem prever comportamentos futuros de variáveis dependentes a partir de variáveis independentes.

Existem vários tipos de modelos estatísticos de predição, cada um com sua própria abordagem e método de cálculo. Um dos modelos mais populares é a regressão linear, que é usada para prever a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. A regressão linear é baseada na suposição de que a relação entre as variáveis é linear e pode ser descrita por uma equação matemática simples.

Outro modelo comum é a análise de séries temporais, que é usada para prever valores futuros com base em valores históricos. Essa técnica é frequentemente usada em previsões financeiras e de mercado, bem como em previsões meteorológicas e de tráfego.

A modelagem de dados também é uma área importante na análise de dados. Os modelos de clusterização e classificação são comumente usados para agrupar dados em grupos semelhantes e classificar novos dados em grupos existentes com base em características específicas.

Além disso, os modelos estatísticos de predição também são frequentemente usados em aprendizado de máquina e inteligência artificial, onde a previsão é baseada em dados históricos e em algoritmos de aprendizado de máquina. Isso permite que os modelos sejam treinados e ajustados para melhorar a precisão das previsões.

No entanto, a precisão dos modelos estatísticos de predição depende da qualidade e da quantidade dos dados disponíveis, bem como da escolha do modelo apropriado para a aplicação específica. Além disso, é importante lembrar que esses modelos são apenas uma ferramenta para previsão e não podem levar em conta fatores imprevisíveis ou eventos inesperados que possam afetar o comportamento futuro das variáveis dependentes.

Em resumo, os modelos estatísticos de predição são uma ferramenta importante na análise de dados e na previsão de comportamentos futuros. Eles são usados em diversas áreas, incluindo finanças, indústria e medicina, e são baseados em técnicas estatísticas como regressão linear, análise de séries temporais e modelagem de dados. A precisão dos modelos depende da qualidade e quantidade dos dados e da escolha do modelo apropriado para a aplicação específica.

**Régressão Linear:** é um modelo que analisa a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. A regressão linear é baseada na suposição de que a relação entre as variáveis é linear e pode ser descrita por uma equação matemática simples.

**Análise de Séries Temporais:** é um modelo que analisa a relação entre uma variável dependente e seu histórico de valores passados. A análise de séries temporais é frequentemente usada em previsões financeiras e de mercado, bem como em previsões meteorológicas e de tráfego.

**Modelos de Clusterização:** são modelos usados para agrupar dados em grupos semelhantes com base em características específicas. Esses modelos são frequentemente usados em segmentação de mercado, análise de dados de clientes e previsão de tendências.

**Modelos de Classificação:** são modelos usados para classificar novos dados em grupos existentes com base em características específicas. Esses modelos são frequentemente usados em análise de crédito, previsão de risco e previsão de resultados.

**Redes Neurais:** são modelos inspirados no funcionamento do cérebro humano. As redes

neurais são usadas para identificar padrões em grandes conjuntos de dados e para prever valores futuros.

**Árvores de Decisão:** são modelos usados para tomar decisões com base em uma série de condições ou atributos. Esses modelos são frequentemente usados em análise de risco e em decisões de negócios.

**Algoritmos de Aprendizado de Máquina:** são modelos que usam técnicas de aprendizado de máquina para analisar dados e prever valores futuros. Esses modelos são frequentemente usados em reconhecimento de fala, análise de imagens e previsão de séries temporais.

Cada modelo tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha do modelo apropriado depende da aplicação específica e do conjunto de dados disponível. É importante escolher o modelo correto para obter resultados precisos e confiáveis.

Neste trabalho serão analisados dados temporais de temperatura de freezers e por isso os modelos que mais se aplicam são os autoregressivos que fazem parte da análise de séries temporais.

A utilização de modelos autoregressivos em sistemas de predição de falhas em freezers, baseados em IoT e telemetria, apresenta vantagens significativas em relação a outros modelos de predição. Essa abordagem se destaca por sua capacidade de lidar com padrões temporais e sequenciais presentes nos dados coletados, tornando-a especialmente adequada para a detecção precoce de possíveis falhas nos equipamentos refrigeradores.

As vantagens de se utilizar modelos autoregressivos incluem:

1. **Tratamento de Dependência Temporal:** Os modelos autoregressivos são projetados para capturar e modelar padrões sequenciais em dados, levando em consideração a dependência temporal entre as observações. Isso possibilita a identificação de tendências, sazonalidades e outros padrões recorrentes que podem estar associados a falhas iminentes nos freezers.
2. **Flexibilidade na Modelagem de Dados Temporais:** Modelos autoregressivos oferecem flexibilidade ao lidar com diferentes tipos de séries temporais, permitindo ajustar a complexidade do modelo de acordo com a natureza dos dados. Isso é crucial para a adaptação às características específicas dos equipamentos refrigeradores e para a criação de previsões mais precisas.
3. **Detecção de Mudanças e Anomalias:** Os modelos autoregressivos podem ser sensíveis a mudanças abruptas ou anômalas nos dados, tornando-os eficazes na identificação de eventos incomuns que podem indicar uma possível falha. Isso contribui para a detecção antecipada de problemas e a implementação de medidas preventivas.

Existem três tipos principais de modelos autoregressivos, cada um com suas características distintas:

1. **Modelo Autoregressivo (AR):** O modelo AR considera as observações passadas da série temporal para fazer previsões futuras. Ele assume que os valores futuros dependem linearmente das observações anteriores.

armente de valores passados, capturando assim a dependência temporal e sequencial dos dados.

2. **Modelo Autoregressivo de Médias Móveis (ARMA):** O modelo ARMA combina os componentes autoregressivos (AR) e de médias móveis (MA) para modelar a série temporal. Ele leva em consideração a relação entre observações passadas e a média móvel dos erros anteriores para fazer previsões futuras.
3. **Modelo Autoregressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA):** O modelo ARIMA é uma extensão do modelo ARMA que inclui um componente de diferenciação. Ele é adequado para séries temporais não estacionárias, onde a diferenciação é aplicada para tornar a série estacionária antes de modelar os componentes AR e MA.

A seleção de modelos autoregressivos para a previsão de falhas em freezers representa uma abordagem robusta e eficaz, aproveitando sua habilidade para modelar as dependências temporais e sequenciais nos dados. Modelos como AR, ARMA e ARIMA possibilitam uma análise minuciosa das séries temporais, permitindo a detecção antecipada de potenciais falhas. Isso, por sua vez, contribui para a implementação de medidas de manutenção preventiva e otimização dos sistemas de refrigeração.

## 2.6 Sistemas de predição de falhas em freezers

Em um sistema de predição de falhas em freezers baseado em IoT e telemetria é uma solução tecnológica que utiliza sensores inteligentes para monitorar e coletar dados sobre o desempenho dos freezers. Esses dados são transmitidos por meio de uma rede de internet das coisas (IoT) para uma plataforma de análise em tempo real.

A plataforma utiliza algoritmos de aprendizado de máquina para analisar os dados coletados e identificar padrões que possam indicar potenciais falhas ou problemas no funcionamento do freezer. Com base nessa análise, o sistema pode emitir alertas antecipados aos responsáveis pelo equipamento, permitindo que medidas preventivas sejam tomadas antes que ocorra uma falha ou um mau funcionamento do equipamento.

Além disso, o sistema pode fornecer insights valiosos sobre o desempenho geral do freezer, como o consumo de energia, a temperatura média de operação e outros dados importantes que podem ser utilizados para otimizar o uso do equipamento e reduzir custos operacionais.

Com a implementação de um sistema de predição de falhas em freezers baseado em IoT e telemetria, as empresas podem reduzir significativamente o tempo de inatividade do equipamento, minimizar o risco de perda de produtos e melhorar a eficiência geral da operação. Além disso, essa solução tecnológica pode ser facilmente integrada a outros sistemas de gerenciamento de ativos e de monitoramento de equipamentos, tornando-se uma peça fundamental no gerenciamento de ativos e manutenção preventiva em empresas que utilizam freezers em sua operação.

Existem diversas propostas de sistemas de predição de falhas em unidades refrigeradoras na literatura. Em [26] os autores utilizam a potência acumulada e o fator de potência para identificar baixo volume do líquido refrigerante. Utiliza também a temperatura da parede do freezer para detectar eventos de porta aberta. Neste estudo, obtiveram, respectivamente, 33% e 37.6% de chance de erro.

Em [27] os autores avaliam parâmetros como temperatura de refrigeração, de congelamento, tubo de escape, tubo de retorno, do compressor e a vibração do compressor para determinar a eficiência de refrigeração do refrigerador.

Em [28] os autores utilizam o consumo elétrico para monitorar anomalias em eletrodomésticos, especificamente em refrigeradores. O enfoque principal é redução do consumo elétrico através da detecção em tempo real destas anomalias utilizando plugs inteligentes.

Estudos [29] estimam um crescimento de 80% da demanda da cadeia do frio em rede alimentícia. Neste artigo, os autores propõem um sistema NB-IoT (Internet das Coisas de banda estreita) para o monitoramento da cadeia do frio em todas as etapas que a compreende, processamento, transporte, armazenamento e distribuição. O sistema proposto é composto por um módulo de hardware e um servidor em nuvem para processamento e armazenamento dos dados. Neste artigo, os autores apenas propõem um conceito e deixam como trabalhos futuros à simulação com dados mais fiéis ou aplicação em campo para validar as características que afirmam atingir utilizando esta tecnologia.

Além do monitoramento para tornar o processo mais rastreável e seguro, alguns autores já defendem a utilização de IoT para mudar a manutenção de um cenário reativo para um cenário preditivo [30]. Acreditam que utilizando os benefícios da IoT na manutenção a nível industrial, a tomada de ação e a predição à falhas trará grandes economias em toda a cadeia produtiva. Neste artigo [30] os autores aplicaram a IoT na predição de falhas de vitrines refrigeradas analisando os principais tipos de falhas através de sensores de temperatura e pressão. A solução apresentada foi baseada em simulações dos dados dos sensores, tratamento e sinalização das falhas, deixando como oportunidade a confecção de hardware eficiente para coleta e envio dos dados.

Recentemente, um estudo [31] foi publicado defendendo a aplicação de tecnologia para monitoramento de equipamentos na indústria farmacêutica. Nesta referida pesquisa, os autores se preocuparam em prover uma solução tecnológica segura, eficiente e de baixo custo. Foram abordados conceitos de Edge Computing para tornar a rede de sensores mais eficiente energéticamente. Este artigo reforça a necessidade de mais emprego tecnológico na cadeia do frio com maior ênfase num correto funcionamento dos dispositivos instalados em campo.

O trabalho [32] propõe o design e desenvolvimento de uma plataforma IoT para monitoramento remoto e manutenção preditiva de equipamentos industriais. A plataforma é baseada em uma Rede de Sensores Sem Fio (WSN) para aquisição de dados e algoritmos inteligentes para manutenção preditiva. O objetivo é fornecer uma solução de monitoramento eficiente e confiável para a coleta, processamento e análise de dados em tempo real do chão de fábrica.

O artigo discute a arquitetura da plataforma, os protocolos de comunicação, os nós de sen-

sores e as interfaces gráficas do usuário. Além disso, o trabalho investiga o estado da arte em monitoramento de sistemas e manutenção preditiva. O artigo também apresenta as principais contribuições, desafios e oportunidades da plataforma proposta.

Entre as principais contribuições, destacam-se a utilização de uma rede de sensores sem fio para aquisição de dados, a utilização de algoritmos inteligentes para manutenção preditiva e a implementação de uma solução de monitoramento eficiente e confiável para a coleta, processamento e análise de dados em tempo real do chão de fábrica.

Os autores destacam também a possibilidade de reduzir os custos de manutenção, aumentar a eficiência operacional e melhorar a qualidade dos produtos fabricados. Em resumo, o artigo apresenta uma solução inovadora para o monitoramento remoto e manutenção preditiva de equipamentos industriais, que pode trazer benefícios significativos para as empresas que adotarem essa tecnologia.

O trabalho [33] apresenta um estudo sobre a detecção e diagnóstico de vinte tipos de falhas em sistemas de refrigeração industrial, utilizando diferentes classificadores de aprendizado de máquina. Os autores destacam a importância da qualificação dos dados de treinamento em relação à variação dos dados e seleção de características. Os classificadores propostos são comparados em relação à precisão de classificação, tempo de computação e taxa de falsos positivos. O melhor método é proposto para detectar um sistema com falha e localizar a falha. O estudo simula falhas em sensores e alguns componentes usando um modelo de RS de alta fidelidade.

A pesquisa destaca a importância da qualificação dos dados de treinamento em relação à variação dos dados e seleção de características. Os autores ilustram a importância da seleção de características e da variação dos dados de treinamento para a precisão da classificação. O estudo propõe diferentes classificadores de aprendizado de máquina para detecção e diagnóstico de falhas em sistemas de refrigeração industrial, comparando-os em relação à precisão de classificação, tempo de computação e taxa de falsos positivos.

Percebe-se que os trabalhos encontrados na literatura propõem análise de variáveis que dependem da intervenção física no equipamento refrigerador ou modificações das suas características iniciais, o que pode se tornar um grande desafio na tentativa de colocar em prática o sistema de monitoramento. Diferente do que foi encontrado na literatura, este artigo propõe um sistema preditivo que utilize apenas a temperatura interna do refrigerador, variável de fácil acesso e coleta.

## 2.7 Modelo de Predição

## 2.8 Inteligência Artificial - IA

De fato não teria como falar sobre análise de forma preditiva, sem entrar no assunto de Inteligência Artificial - IA, pois se torna uma tendência na utilização de algoritmos estatísticos para se tomar decisão. Sendo assim, o processo de desenvolvimento do algoritmo baseado em modelos

estatísticos capaz de predizer falhas nos refrigeradores, utiliza técnicas de IA no monitoramento e na concepção e validação de sistema de monitoramento contínuo da cadeia de frios de vacinas, baseado em princípios de IoT.

Desde o seu surgimento, a pesquisa em IA enfrentou um desafio significativo, como exemplificado pela questão colocada por Minsky em seu livro [34] há quase trinta anos. Ao longo desse período, várias correntes de pensamento dentro do campo da IA exploraram maneiras de instilar comportamentos inteligentes em máquinas.

A área de pesquisa conhecida como IA tem como objetivo a criação de máquinas capazes de executar tarefas que tradicionalmente eram reservadas apenas aos seres humanos. A meta subjacente é desenvolver sistemas que possam aprender, raciocinar, perceber, compreender e se adaptar a novas situações.

A pesquisa em IA engloba diversas áreas do conhecimento, incluindo ciência da computação, matemática, estatística e engenharia. Alguns dos principais campos de estudo dentro da IA abrangem o aprendizado de máquina, o processamento de linguagem natural, a visão computacional, a robótica e os sistemas de recomendação.

Um sistema de IA não se restringe à capacidade de armazenar e manipular dados, mas também abrange a habilidade de adquirir, representar e manipular conhecimento. Essa manipulação envolve a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos a partir das informações existentes. Uma das ideias mais impactantes provenientes da pesquisa em IA é a separação entre fatos e regras de conhecimento declarativo e os algoritmos de tomada de decisão.

## 2.9 Segurança Cybernética na Saúde

Os ataques cibernéticos representam uma ameaça persistente e em constante evolução para sistemas e redes digitais. Essas investidas maliciosas têm o potencial de comprometer a segurança de sistemas, roubar dados confidenciais e causar danos significativos a empresas e indivíduos. Com o aumento da digitalização e da interconexão de dispositivos, a superfície de ataque se expande, tornando-se mais complexa e desafiadora de proteger.

Estes ataques podem assumir várias formas, desde malware convencional até táticas mais avançadas, como ataques de negação de serviço distribuído (DDoS), ransomware e phishing. Os atacantes exploram vulnerabilidades em sistemas operacionais, aplicativos e até mesmo nas práticas de segurança inadequadas para obter acesso não autorizado e causar danos.

Um dos tipos mais notórios de ataques é o ransomware, no qual os criminosos sequestram dados ou sistemas e exigem um resgate para sua liberação. Esse tipo de ataque pode paralisar operações empresariais, resultar na perda de informações críticas e prejudicar a reputação das organizações afetadas.

O artigo [35] apresenta uma revisão sobre os ataques cibernéticos recentes e as estratégias de mitigação no setor de saúde. O estudo destaca que o setor de saúde é um dos principais

alvos de cibercriminosos devido a medidas de segurança inadequadas, práticas antiquadas e dados sensíveis, como registros médicos, senhas e nomes de usuários.

A revisão discute ataques de malware, DoS e engenharia social em hospitais, aborda hospitais que sofreram ataques cibernéticos de 2014 a 2020, e também apresenta medidas que os hospitais podem aplicar para reduzir ou prevenir um ataque cibernético.

Na pesquisa, os autores citam um ataque DDoS que visou o Boston Hospital, em 20 de março de 2014, causando uma interrupção na rede que durou duas semanas e prejudicou gravemente as operações diárias, levando ao fechamento do site de arrecadação de fundos.

O estudo destaca a importância de dar prioridade à segurança cibernética no setor de saúde e recomenda que as instituições de saúde tomem medidas proativas para proteger dados sensíveis do paciente e reduzir os efeitos de erros do sistema, danos à reputação e outros problemas relacionados. O artigo conclui que a implementação de salvaguardas adequadas de segurança cibernética pode reduzir o dano causado por falhas do sistema, danos à reputação e outros problemas associados.

Os autores destacam que os ataques cibernéticos em hospitais têm sérias repercussões e enfatiza a importância de dar prioridade à segurança cibernética no setor de saúde. As instituições de saúde devem ter políticas claras e planos de backup, atualizar constantemente seus sistemas e instruir os funcionários sobre como identificar e lidar com ameaças online. O artigo conclui que a implementação de salvaguardas adequadas de segurança cibernética pode reduzir o dano causado por falhas do sistema, danos à reputação e outros problemas associados.

A pesquisa [36] apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a detecção e prevenção de ataques em dispositivos médicos conectados em rede. O estudo analisou 118 artigos e identificou que a maioria dos pesquisadores vê as dificuldades de detecção de ataques no setor de saúde como a detecção de ataques com uma baixa taxa de falsos positivos.

O estudo também identificou que a maioria dos pesquisadores se concentram na detecção de ataques, mas a prevenção não deve ser negligenciada. Os autores afirmam que sistemas ciberfísicos médicos (MCPS) são uma fonte significativa de vulnerabilidades potenciais e que a segurança desses dispositivos é um desafio devido à heterogeneidade dos dispositivos, à diversidade dos tipos de conectividade e à variedade de terminologia. Também destaca que sistemas de imagem, monitoramento de pacientes e gateways de dispositivos médicos são responsáveis por 86% dos problemas de segurança do hospital.

Para combater essas ameaças, as empresas e organizações devem adotar uma abordagem de segurança abrangente. Isso envolve a implementação de medidas de segurança em várias camadas, como firewalls, sistemas de detecção de intrusões, autenticação multifator, atualizações regulares de software e conscientização dos funcionários sobre práticas seguras de TI.

Além disso, a colaboração entre os setores público e privado é crucial para identificar e mitigar ameaças cibernéticas. As equipes de segurança devem estar preparadas para detectar, responder e remediar ataques de maneira eficaz, minimizando os danos potenciais.

À medida que a paisagem cibernética continua a evoluir, é essencial manter-se atualizado sobre as últimas tendências em ataques cibernéticos e implementar medidas proativas para mitigar os riscos. A segurança cibernética se tornou uma prioridade estratégica em todas as áreas da sociedade digital, e a capacidade de defender-se contra ameaças em constante mutação é um fator crítico para o sucesso e a resiliência das organizações no mundo conectado de hoje.

# **Capítulo 3**

## **Estrutura Analítica do Projeto e Proposta de Arquitetura**

(Nesta seção criar um Preambulo recomendação Nilmar)

### **3.1 Estrutura Analítica do Projeto**

Nesta seção, iremos discutir sobre a arquitetura proposta e todo a estrutura do projeto, para caracterizar melhor os requisitos e necessidades, cabe descrever situações comuns que envolvem desde as instâncias de IoT que vem auxiliando na estrutura, até os modelos de requisitos necessários para o desenvolvimento do sistema que permitem apresentar algumas questões motivadoras da proposta apresentada nesta dissertação, assim como descrever comparativamente em termos gerais a nossa proposta com relação às possibilidades existentes baseadas em outros modelos.

Na Figura 3.3, é possível acompanhar o desenvolvimento de todo o projeto do Sistema de Predição de Falhas, podendo analisar a ordem cronológica de cada etapa.

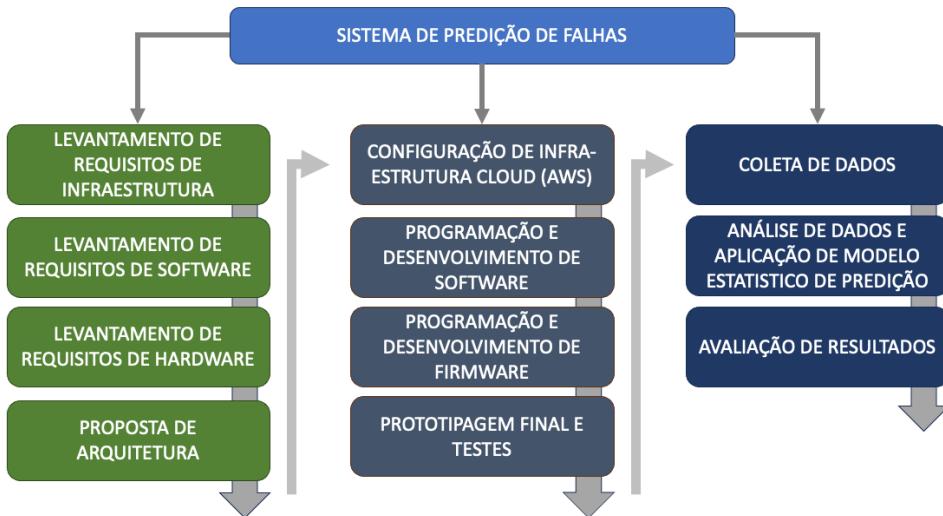


Figura 3.1: Estrutura Analítica do Projeto

## 3.2 Levantamento de requisitos de software

O levantamento de requisitos de software é o processo de coleta, análise e documentação das necessidades, funcionalidades e restrições de um sistema de software que está sendo desenvolvido. É uma etapa crucial no ciclo de vida do desenvolvimento de software, pois define a base para o projeto, implementação e teste do software.

A importância do levantamento de requisitos reside no fato de que ele estabelece a compreensão compartilhada entre as partes interessadas, como desenvolvedores, clientes e usuários finais, sobre o que o software deve realizar.

Desta forma, este tópico tem como objetivo levantar os principais requisitos para o software que compõe a plataforma proposta e implementa a teoria defendida neste trabalho.

### 3.2.1 Requisitos Não Funcionais

- **Precisão:**

- O sistema deve ser capaz de detectar variações sutis na temperatura dos freezers, a fim de identificar problemas em estágios iniciais.
- O algoritmo de estatística deve produzir previsões precisas sobre falhas no funcionamento dos freezers com base nos dados de temperatura coletados.

- **Escalabilidade:**

- O sistema deve ser capaz de lidar com uma grande quantidade de freezers de vacina, permitindo o monitoramento simultâneo de várias unidades.

- O sistema deve suportar o aumento no número de freezers e o crescimento de dados sem comprometer o desempenho ou a precisão.

- **Disponibilidade:**

- O sistema deve estar disponível continuamente, garantindo o monitoramento ininterrupto dos freezers de vacina.
- A infraestrutura do sistema deve ser redundante e resiliente para minimizar qualquer tempo de inatividade planejado ou não planejado.

- **Segurança:**

- O sistema deve garantir a segurança dos dados coletados, transmitidos e armazenados, protegendo-os contra acesso não autorizado ou manipulação.
- Devem ser implementadas medidas de criptografia, autenticação e controle de acesso para proteger a integridade e a confidencialidade dos dados.

- **Desempenho:**

- O sistema deve ser capaz de processar e analisar rapidamente grandes volumes de dados de temperatura em tempo real.
- O tempo de resposta do sistema, desde a coleta dos dados até a geração de alertas de falha, deve ser capaz de notificar os usuários em até 1 minuto após identificada a possível falha..

- **Integração:**

- O sistema deve ser capaz de integrar-se de forma eficiente aos freezers de vacina existentes, usando protocolos de comunicação padronizados.
- O sistema também deve ter a capacidade de se integrar a outros sistemas de gerenciamento de vacinas ou sistemas de informação de saúde, se necessário.

- **Usabilidade:**

- A interface do sistema deve ser intuitiva, fácil de usar e fornecer informações claras sobre o estado dos freezers e as previsões de falhas.
- Os usuários devem poder configurar alertas personalizados e acessar relatórios ou gráficos de tendências para facilitar a tomada de decisões.

- **Manutenção:**

- O sistema deve ser projetado de maneira modular e escalonável, facilitando a manutenção, a expansão e a correção de possíveis erros.
- As atualizações do sistema devem ser fáceis de implementar, minimizando o impacto nas operações em andamento.

- **Compliance:**

- O sistema deve cumprir as regulamentações e normas relevantes para o armazenamento e a segurança de vacinas, garantindo a conformidade com as diretrizes.
- Também deve estar em conformidade com as regulamentações de privacidade de dados, protegendo as informações pessoais dos usuários e pacientes.

### **3.2.2 Requisitos Funcionais**

#### **Registro de Dados:**

- O sistema deve coletar e armazenar dados de temperatura dos freezers de vacina em intervalos regulares, associando-os a cada freezer específico.
- Os dados de temperatura devem incluir a data, hora e identificação do freezer correspondente.

#### **Monitoramento em Tempo Real:**

- O sistema deve permitir o monitoramento em tempo real da temperatura de cada freezer de vacina.
- Os usuários devem ser capazes de visualizar as leituras de temperatura atualizadas em tempo real para cada freezer.

#### **Alertas de Falhas:**

- O sistema deve detectar anomalias ou variações significativas na temperatura dos freezers de vacina.
- Quando uma falha é detectada, o sistema deve gerar alertas imediatos, notificando os usuários sobre a ocorrência e a identificação do freezer afetado.
- Os alertas podem ser enviados por meio de notificações visuais, sonoras ou por mensagens para os usuários designados.

#### **Previsão de Falhas:**

- O sistema deve utilizar algoritmos de estatística e análise de tendências para prever falhas potenciais nos freezers de vacina com base nos dados de temperatura coletados.
- As previsões de falhas devem ser geradas com antecedência suficiente para permitir a tomada de medidas corretivas antes que ocorram problemas reais.

- As previsões podem ser apresentadas em forma de probabilidade ou alertas específicos sobre os freezers com maior risco de falha.

### **Histórico e Relatórios:**

- O sistema deve armazenar um histórico completo das leituras de temperatura de cada freezer de vacina, permitindo a análise retrospectiva.
- Os usuários devem poder acessar e visualizar o histórico de leituras por meio de uma interface amigável.
- O sistema deve permitir a geração de relatórios personalizados com base nos dados armazenados, incluindo tendências de temperatura, frequência de falhas e estatísticas relevantes.

### **Configuração de Parâmetros:**

- Os usuários autorizados devem ter a capacidade de configurar os parâmetros de temperatura aceitáveis para cada freezer de vacina.
- O sistema deve permitir a definição de limites superior e inferior para a temperatura, considerando as especificações recomendadas para o armazenamento de vacinas.
- Quando os limites configurados são ultrapassados, o sistema deve gerar alertas para notificar os usuários responsáveis.

### **Notificações e Comunicações:**

- O sistema deve ser capaz de enviar notificações e alertas por meio de vários canais de comunicação, como e-mail, SMS ou aplicativo móvel.
- Os usuários devem poder personalizar suas preferências de notificação, selecionando os tipos de alertas que desejam receber e os métodos de comunicação preferidos.
- As notificações devem incluir informações relevantes, como a identificação do freezer afetado, a natureza da falha e as medidas recomendadas a serem tomadas.

### **Integração com Sistemas de Gestão:**

- O sistema deve ser capaz de se integrar a outros sistemas de gestão de vacinas ou sistemas de informação de saúde.
- A integração pode permitir a troca de informações relevantes, como dados de inventário, registros de pacientes ou requisitos de armazenamento específicos.
- A troca de informações deve ocorrer de forma segura e em conformidade com os padrões e protocolos de integração estabelecidos.

### **Autenticação e Controle de Acesso:**

- O sistema deve fornecer autenticação segura e controle de acesso para garantir que apenas usuários autorizados possam acessar e gerenciar os dados dos freezers de vacina.
- Os usuários devem ter diferentes níveis de permissões com base em suas responsabilidades e funções designadas.
- O controle de acesso deve incluir medidas de segurança, como senhas fortes, autenticação de dois fatores ou integração com sistemas de autenticação existentes.

## **3.3 Levantamento de requisitos de infraestrutura**

O levantamento de requisitos de infraestrutura envolve a identificação e a análise dos recursos necessários para garantir o funcionamento eficaz do sistema, incluindo aspectos como o dimensionamento adequado de equipamentos de refrigeração, sistemas de energia de backup, conectividade de rede estável e a infraestrutura de segurança. A importância desse processo reside na garantia de que o sistema possa operar de forma confiável em diferentes ambientes, assegurando a integridade das vacinas e a precisão das previsões de falhas.

### **3.3.1 Requisitos Não Funcionais**

#### **Escalabilidade:**

- A infraestrutura em nuvem deve ser altamente escalável, capaz de lidar com o aumento da demanda à medida que o número de usuários e dispositivos conectados ao sistema aumenta.
- Deve permitir o dimensionamento vertical e horizontal, garantindo que os recursos computacionais e de armazenamento possam ser ajustados de acordo com as necessidades em tempo real.

#### **Disponibilidade:**

- A infraestrutura em nuvem deve ser altamente disponível, garantindo um tempo de atividade elevado e minimizando a interrupção do serviço para os usuários.
- Deve possuir redundância e mecanismos de recuperação de falhas para lidar com possíveis interrupções de hardware, software ou rede.

#### **Segurança:**

- A infraestrutura em nuvem deve garantir a segurança dos dados armazenados e transmitidos.

- Deve implementar medidas de criptografia, autenticação e controle de acesso para proteger a confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados.
- Deve cumprir os padrões e regulamentações de segurança aplicáveis, como a GDPR (General Data Protection Regulation) ou HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act), se necessário.

#### **Desempenho:**

- A infraestrutura em nuvem deve fornecer um desempenho adequado para garantir tempos de resposta rápidos e eficientes.
- Deve ser capaz de processar grandes volumes de dados de forma rápida e eficaz, para suportar o processamento em tempo real e a análise dos dados de temperatura.

#### **Gerenciamento de Dados:**

- A infraestrutura em nuvem deve oferecer recursos avançados de gerenciamento de dados, como armazenamento seguro, backup e recuperação de dados.
- Deve permitir a indexação e busca eficiente dos dados, facilitando a recuperação de informações relevantes.
- Deve fornecer recursos de gerenciamento de ciclo de vida dos dados, permitindo a retenção e exclusão de dados de acordo com as políticas de retenção aplicáveis.

#### **Compatibilidade e Integração:**

- A infraestrutura em nuvem deve ser compatível com padrões e protocolos amplamente adotados, permitindo a integração com outros sistemas e serviços.
- Deve fornecer APIs (Application Programming Interfaces) e interfaces de integração bem documentadas para facilitar a interação com o sistema de telemetria e outros sistemas de informação de saúde.

#### **Backup e Recuperação:**

- A infraestrutura em nuvem deve fornecer recursos de backup e recuperação confiáveis e eficientes.
- Deve permitir a realização de backups regulares dos dados e a restauração rápida em caso de falhas ou desastres.

#### **Conformidade Regulatória:**

- A infraestrutura em nuvem deve cumprir as regulamentações e padrões relevantes, especialmente no contexto da proteção de dados de saúde e privacidade.
- Deve aderir às leis e regulamentos aplicáveis, como HIPAA ou GDPR, se necessário, e fornecer as garantias necessárias para demonstrar a conformidade.

#### **Monitoramento e Logging:**

- A infraestrutura em nuvem deve oferecer recursos abrangentes de monitoramento e logging, permitindo a visibilidade e o rastreamento das operações e desempenho do sistema.
- Deve registrar eventos, métricas e logs relevantes para facilitar a análise e a resolução de problemas.

#### **Flexibilidade e Customização:**

- A infraestrutura em nuvem deve ser flexível e permitir a customização do ambiente de acordo com as necessidades específicas do sistema de telemetria.
- Deve permitir a configuração personalizada de recursos, como instâncias de computação, armazenamento e rede, para atender aos requisitos de desempenho e dimensionamento.

### **3.3.2 Requisitos Funcionais**

#### **Provisionamento de Máquinas Virtuais:**

- A infraestrutura em nuvem deve permitir o provisionamento rápido e fácil de máquinas virtuais para hospedar os aplicativos do sistema.
- Deve fornecer opções de configuração flexíveis, permitindo especificar a capacidade de processamento, memória, armazenamento e outros recursos necessários para cada máquina virtual.

#### **Balanceamento de Carga:**

- A infraestrutura em nuvem deve oferecer recursos de balanceamento de carga para distribuir o tráfego de rede de forma equilibrada entre as máquinas virtuais.
- Deve garantir uma distribuição eficiente da carga de trabalho, melhorando o desempenho e a disponibilidade do sistema.

#### **Gerenciamento de Escalabilidade Automática:**

- A infraestrutura em nuvem deve suportar recursos de escalabilidade automática para ajustar dinamicamente a capacidade de processamento de acordo com a demanda.

- Deve permitir a definição de políticas de escalabilidade com base em métricas como utilização de CPU, tráfego de rede ou carga de trabalho, aumentando ou diminuindo automaticamente o número de máquinas virtuais conforme necessário.

#### **Banco de Dados Gerenciado:**

- A infraestrutura em nuvem deve oferecer um serviço de banco de dados gerenciado que seja escalável, confiável e de alto desempenho.
- Deve suportar o armazenamento e a recuperação eficientes dos dados do sistema, garantindo a integridade e a disponibilidade dos dados.

#### **Backup e Recuperação de Dados do Banco de Dados:**

- A infraestrutura em nuvem deve fornecer recursos de backup e recuperação para o banco de dados, garantindo a proteção dos dados contra perdas accidentais ou corrupção.
- Deve permitir a realização de backups regulares do banco de dados e a recuperação rápida em caso de falhas ou desastres.

#### **Armazenamento de Arquivos:**

- A infraestrutura em nuvem deve oferecer um serviço de armazenamento de arquivos escalável e confiável para o sistema.
- Deve permitir o armazenamento e o acesso eficiente a arquivos de diferentes formatos, como imagens, documentos ou logs.

#### **Rede Segura:**

- A infraestrutura em nuvem deve garantir a segurança da rede, protegendo o tráfego de dados entre os componentes do sistema.
- Deve fornecer mecanismos de segurança, como criptografia de dados em trânsito, autenticação e controle de acesso, para garantir a confidencialidade e a integridade dos dados transmitidos.

#### **Monitoramento e Logging:**

- A infraestrutura em nuvem deve fornecer recursos abrangentes de monitoramento e logging para acompanhar o desempenho e o estado dos componentes do sistema.
- Deve permitir o monitoramento em tempo real de métricas de desempenho, registros de eventos e logs de aplicativos, facilitando a detecção e a resolução de problemas.

### **Gerenciamento de Identidade e Acesso:**

- A infraestrutura em nuvem deve suportar recursos de gerenciamento de identidade e acesso, permitindo a autenticação e a autorização dos usuários e administradores do sistema.
- Deve oferecer recursos de controle de acesso baseado em função (RBAC) e autenticação de vários fatores para garantir a segurança e a privacidade dos dados.

### **Controle de Versão e Implantação:**

- A infraestrutura em nuvem deve permitir o controle de versão e a implantação eficiente dos aplicativos e configurações do sistema.
- Deve fornecer ferramentas e recursos para gerenciar diferentes versões de aplicativos, automatizar processos de implantação e garantir a consistência do ambiente de execução.

### **Integração com Serviços Externos:**

- A infraestrutura em nuvem deve suportar a integração com serviços externos, como serviços de autenticação, serviços de notificação ou serviços de terceiros.
- Deve fornecer APIs e interfaces bem documentadas para facilitar a integração e a troca de dados entre o sistema e os serviços externos.

### **Gerenciamento de Certificados SSL/TLS:**

- A infraestrutura em nuvem deve permitir a configuração e o gerenciamento de certificados SSL/TLS para garantir a comunicação segura entre os componentes do sistema.
- Deve fornecer mecanismos simplificados para a aquisição, renovação e instalação de certificados SSL/TLS.

## **3.4 Levantamento de requisitos de hardware**

### **3.4.1 Requisitos Não Funcionais**

#### **Conectividade:**

- O dispositivo IoT deve ser capaz de se conectar a redes sem fio, como Wi-Fi ou redes celulares, para transmitir os dados de temperatura.
- Deve suportar protocolos de comunicação padrão para se integrar facilmente com o servidor em nuvem.

### **Eficiência Energética:**

- O dispositivo IoT deve ser projetado para ser eficiente em termos de consumo de energia, prolongando a vida útil da bateria ou utilizando recursos de economia de energia.
- Deve ter a capacidade de entrar em um modo de baixo consumo quando não estiver em uso ativo.

### **Segurança:**

- O dispositivo IoT deve ter recursos de segurança para proteger a comunicação e os dados transmitidos para o servidor em nuvem.
- Deve suportar criptografia e autenticação para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados.

### **Capacidade de Armazenamento:**

- O dispositivo IoT deve ter uma capacidade de armazenamento suficiente para armazenar os dados de temperatura antes de enviá-los para o servidor em nuvem.
- O armazenamento pode ser em formato de buffer para permitir a coleta contínua dos dados, mesmo em momentos de conectividade intermitente.

### **Resistência e Durabilidade:**

- O dispositivo IoT deve ser projetado para ser resistente e durável, capaz de suportar condições ambientais adversas, como variações de temperatura, umidade e vibrações.
- Deve ter uma construção robusta que garanta sua operação confiável mesmo em ambientes hostis.

### **Fácil Instalação e Configuração:**

- O dispositivo IoT deve ser de fácil instalação e configuração, permitindo que os usuários o conectem e o integrem ao sistema de monitoramento com facilidade.
- Deve ser possível configurar as informações de rede e outros parâmetros relevantes de maneira intuitiva.

### **Compatibilidade e Interoperabilidade:**

- O dispositivo IoT deve ser compatível com os protocolos e padrões de comunicação utilizados pelo servidor em nuvem.

- Deve ser capaz de interoperar com outros dispositivos e componentes do sistema de tele-metria, como sensores de temperatura e gateways de rede.

#### **Atualizabilidade:**

- O dispositivo IoT deve suportar atualizações de firmware para receber melhorias de desempenho, correções de segurança e novos recursos.
- Deve ser possível atualizar o dispositivo remotamente, sem a necessidade de intervenção manual.

#### **Baixa Latência:**

- O dispositivo IoT deve ser capaz de transmitir os dados de temperatura com baixa latência para o servidor em nuvem, garantindo uma coleta e monitoramento em tempo real.

#### **Rastreabilidade e Gerenciamento Remoto:**

- O dispositivo IoT deve ter recursos que permitam sua rastreabilidade e gerenciamento remoto, facilitando a identificação, o monitoramento e a manutenção de cada dispositivo em operação.
- Deve ser possível realizar diagnósticos remotos, atualizações de firmware e configurações do dispositivo sem a necessidade de acesso físico.

### **3.4.2 Requisitos Funcionais**

#### **Coleta de Dados de Temperatura:**

- O dispositivo deve ser capaz de coletar dados precisos e confiáveis de temperatura dos freezers de vacina.
- Ele deve estar equipado com um sensor de temperatura de alta qualidade e calibrado corretamente.
- A coleta de dados deve ser feita em intervalos regulares, permitindo uma monitorização contínua.

#### **Armazenamento de Dados Local:**

- O dispositivo deve ter a capacidade de armazenar localmente os dados de temperatura coletados.
- Deve possuir um armazenamento adequado para manter um registro histórico das leituras de temperatura.

- O armazenamento deve ser seguro e confiável para evitar a perda de dados.

### **Comunicação com o Servidor em Nuvem:**

- O dispositivo deve ser capaz de estabelecer uma conexão confiável e segura com o servidor em nuvem.
- Deve suportar protocolos de comunicação adequados, como MQTT ou HTTP, para enviar os dados de temperatura ao servidor.
- A comunicação deve ser eficiente e otimizada para minimizar o consumo de energia e a largura de banda necessária.

### **Transmissão de Dados em Tempo Real:**

- O dispositivo deve ser capaz de transmitir os dados de temperatura em tempo real para o servidor em nuvem.
- As leituras de temperatura devem ser enviadas imediatamente após a coleta, garantindo uma monitorização em tempo real.

### **Integração com o Servidor em Nuvem:**

- O dispositivo deve ser capaz de se integrar perfeitamente com o servidor em nuvem do sistema de telemetria.
- Ele deve seguir os protocolos e formatos de dados definidos para garantir a interoperabilidade com o servidor.
- A integração deve permitir a identificação correta do dispositivo, o mapeamento dos dados de temperatura e a sincronização adequada com o sistema em nuvem.

### **Gerenciamento de Conectividade:**

- O dispositivo deve ser capaz de gerenciar sua conectividade com redes sem fio, como Wi-Fi ou redes celulares.
- Ele deve ser capaz de se conectar automaticamente a redes disponíveis e reconectar-se em caso de perda de conexão.
- Deve suportar mecanismos de gerenciamento de energia para otimizar o uso da rede e minimizar o consumo de energia.

### **Gerenciamento de Energia:**

- O dispositivo deve ser eficiente em termos de consumo de energia para maximizar a vida útil da bateria ou o uso de energia.
- Deve ser capaz de entrar em um modo de baixo consumo quando não estiver em uso ativo, minimizando o consumo de energia em períodos de inatividade.

#### **Diagnóstico e Monitoramento Remoto:**

- O dispositivo deve ter recursos de diagnóstico e monitoramento remoto para verificar seu estado operacional.
- Deve ser possível realizar diagnósticos remotos, como testes de conectividade e verificação da precisão do sensor de temperatura.
- O dispositivo deve ser capaz de enviar informações de diagnóstico ao servidor em nuvem para facilitar a detecção de problemas e a resolução de falhas.

#### **Atualizações de Firmware:**

- O dispositivo deve suportar atualizações de firmware para receber melhorias de desempenho, correções de bugs e novos recursos.
- Deve ser possível atualizar o firmware remotamente, sem a necessidade de intervenção manual ou acesso físico ao dispositivo.

#### **Segurança dos Dados:**

- O dispositivo deve implementar medidas de segurança para proteger os dados de temperatura durante a coleta, o armazenamento e a transmissão.
- Deve suportar criptografia de dados, autenticação e outros mecanismos de segurança para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados.

#### **Sincronização de Hora:**

- O dispositivo deve ser capaz de sincronizar sua hora interna com uma fonte confiável, garantindo a precisão das leituras de temperatura.
- A sincronização de hora pode ser realizada por meio de um servidor de tempo na rede ou por protocolos de sincronização de tempo, como NTP (Network Time Protocol).

#### **Resistência a Falhas:**

- O dispositivo deve ser projetado para ser robusto e resistente a falhas.
- Em caso de falha de conectividade, o dispositivo deve ser capaz de armazenar os dados de temperatura localmente e enviar quando a conectividade for restaurada.

## 3.5 Proposta de Arquitetura



Figura 3.2: Arquitetura Proposta do Projeto

### 1. Camada de Dispositivos IoT:

- Nesta camada, os dispositivos IoT responsáveis por coletar as leituras de temperatura dos freezers de vacina são implantados.
- Os dispositivos IoT utilizam o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) para enviar as leituras de temperatura para a infraestrutura em nuvem de forma assíncrona e eficiente.
- Os dados de temperatura são recebidos e armazenados temporariamente em um banco de dados em memória, como o Redis, para processamento em tempo real.

### 2. Camada de Processamento e Análise de Dados em Nuvem:

- Nesta camada, os dados de temperatura armazenados temporariamente no Redis são processados e analisados.
- Um serviço de processamento em nuvem, acionado por eventos MQTT, consome os dados do Redis e realiza tarefas como a detecção de anomalias e o cálculo de estatísticas.
- Os dados processados são armazenados de forma persistente em um banco de dados relacional, como o MySQL, garantindo a confiabilidade e a integridade dos dados.

### 3. Camada de Aplicação e Interface do Usuário:

- Nesta camada, os usuários e administradores do sistema podem interagir com os dados de temperatura e acessar as funcionalidades do sistema.
- Uma API GraphQL é desenvolvida para fornecer uma interface flexível e eficiente para consulta e manipulação dos dados.
- A API GraphQL se comunica com o banco de dados MySQL para recuperar os dados de temperatura processados e fornecê-los aos clientes de forma estruturada e personalizada.

### 3.5.1 Infraestrutura Cloud

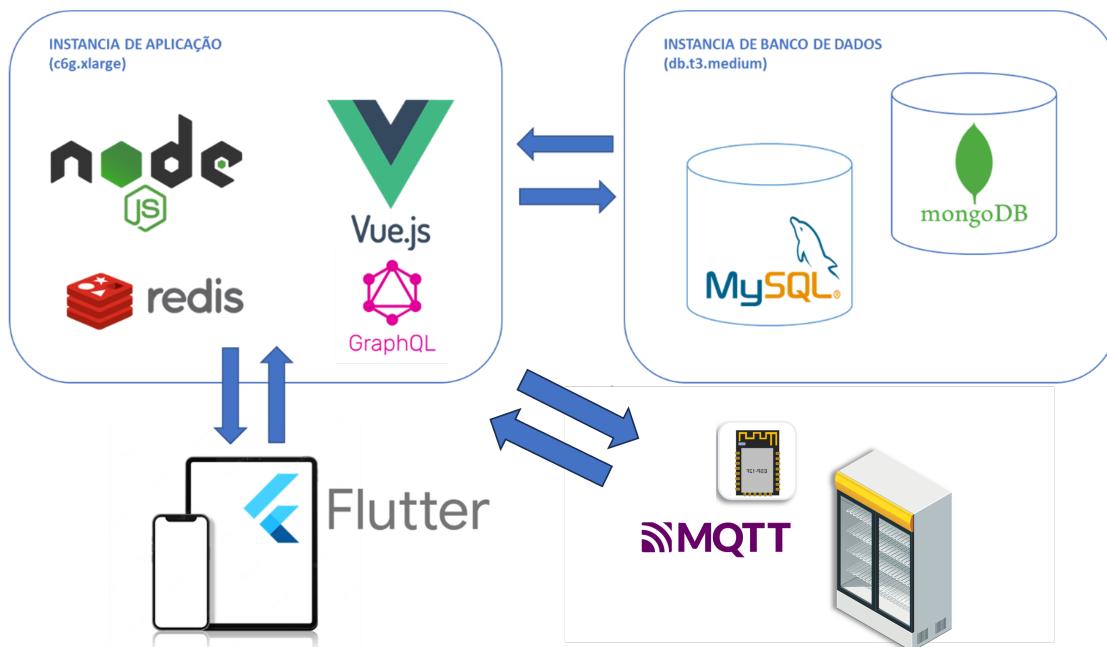


Figura 3.3: Proposta de Infraestrutura

#### 3.5.1.1 Provedores e Recursos

A infraestrutura desenhada para solução envolve uma máquina de aplicações e uma máquina de banco de dados. Toda infraestrutura será hospedada na Amazon, utilizando o serviço EC2.

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) é um serviço de computação em nuvem oferecido pela Amazon Web Services (AWS). Ele permite que as empresas obtenham capacidade de computação escalável e flexível na nuvem, reduzindo a necessidade de investimento em hardware e infraestrutura física.

Algumas vantagens em utilizar o Amazon EC2 incluem:

- **Escalabilidade:** o serviço permite que as empresas aumentem ou diminuam sua capacidade de computação conforme a demanda, sem a necessidade de investir em hardware adicional.

- **Flexibilidade:** os usuários têm controle total sobre seus recursos de computação, podendo escolher entre vários tipos de instâncias, sistemas operacionais, banco de dados e serviços adicionais.
- **Confiabilidade:** o Amazon EC2 oferece alta disponibilidade e tolerância a falhas, com várias zonas de disponibilidade e opções de backup e recuperação de dados.
- **Segurança:** a AWS oferece várias medidas de segurança para proteger os dados e os recursos dos usuários, incluindo firewalls, criptografia e autenticação.
- **Economia:** o serviço é pago somente pelo tempo e pelos recursos utilizados, permitindo que as empresas economizem em custos de infraestrutura e manutenção.

Em resumo, o Amazon EC2 é uma opção para projetos que buscam flexibilidade, escalabilidade, confiabilidade, segurança e economia em seus recursos de computação.

Para obedecer às melhores práticas de desenvolvimento em nuvem e aumentar a segurança de toda a aplicação, foram separadas as máquinas de aplicação e banco de dados.

Uma máquina de aplicação e uma máquina de banco de dados são dois tipos diferentes de servidores que desempenham funções distintas em um sistema de TI.

Uma máquina de aplicação é um servidor que executa aplicativos de software para fornecer serviços aos usuários finais. Ele gerencia o processamento de lógica de negócios, interface com o usuário e apresentação de informações. Os aplicativos em uma máquina de aplicação podem ser executados em um ou mais servidores, e podem ser acessados por usuários locais ou remotos.

Por outro lado, uma máquina de banco de dados é um servidor dedicado para armazenar, gerenciar e acessar dados em um sistema de banco de dados. Ele gerencia transações de banco de dados, executa consultas de dados e armazena informações em discos rígidos. Uma máquina de banco de dados é geralmente configurada para ter recursos de hardware suficientes para manipular grandes quantidades de dados e atender a muitos usuários simultaneamente.

Em resumo, enquanto uma máquina de aplicação lida com a lógica de negócios e a interface do usuário, uma máquina de banco de dados é responsável pelo armazenamento e gerenciamento de dados em um sistema de banco de dados. Em muitos casos, as duas máquinas trabalham juntas para fornecer serviços para usuários finais de forma eficiente e confiável.

Para o projeto espera-se em médio prazo um fluxo moderado de usuários e processos. Desta forma foi decidido por máquinas de desempenho moderado como a 6g.xlarge na Amazon AWS EC2.

### **3.5.1.2 Recursos de Segurança:**

Conforme introduzido no Capítulo 2, os ataques cibernéticos representam uma ameaça persistente e em constante evolução para sistemas e redes digitais. Para proteger a plataforma proposta

de ataques, serão utilizados recursos da AWS de forma a compor uma estratégia robusta de segurança.

A Amazon Web Services (AWS) oferece uma gama de recursos e serviços dedicados à segurança cibernética, com o objetivo de fortalecer a proteção das aplicações e dados hospedados na nuvem. Entre esses recursos, destacam-se o AWS Shield e o AWS WAF (Web Application Firewall).

O AWS Shield é um serviço de proteção contra ataques DDoS (Distributed Denial of Service), que visa manter a disponibilidade de aplicações mesmo sob ataques volumétricos e sofisticados. Ele oferece proteção automática e escalável para mitigar os efeitos de ataques DDoS, identificando tráfego malicioso e bloqueando-o antes que atinja a infraestrutura da aplicação. O AWS Shield utiliza técnicas avançadas de mitigação, como roteamento inteligente e análise de tráfego em tempo real, para garantir a disponibilidade contínua das aplicações.

O AWS WAF (Web Application Firewall) é uma solução projetada para proteger aplicações web contra ataques de camada de aplicação, como injeção de SQL, cross-site scripting (XSS) e outras vulnerabilidades. O AWS WAF permite criar regras personalizadas para filtrar o tráfego malicioso e indesejado, garantindo que somente solicitações legítimas alcancem a aplicação. Ele também é integrado com o AWS CloudFormation e o AWS Marketplace, facilitando a implementação e o gerenciamento de políticas de segurança.

Além disso, a plataforma proposta aproveitará os recursos de segurança da AWS, como Security Groups, para controlar o acesso às instâncias. Será possível configurar regras nos Security Groups para permitir apenas conexões provenientes de IPs específicos em determinadas portas, garantindo um acesso restrito somente a fontes confiáveis. O uso do SSH (Secure Shell) para conexões remotas com as instâncias também reforçará a segurança, permitindo autenticação segura por meio de chaves criptográficas.

Ao integrar o AWS Shield e o AWS WAF à plataforma proposta, juntamente com o controle detalhado dos Security Groups e a autenticação via SSH, a segurança cibernética será amplamente fortalecida. A plataforma estará preparada para enfrentar ameaças cibernéticas, mitigar riscos e garantir que apenas conexões legítimas e seguras sejam estabelecidas. Com essa abordagem abrangente de segurança, os usuários poderão usufruir dos recursos da plataforma com confiança, sabendo que seus dados e informações estão protegidos contra as constantes ameaças do cenário cibernético.

### **3.5.1.3 Servidor de Aplicações:**

A instância c6g.xlarge na Amazon AWS EC2 é baseada em processadores Graviton2 da AWS e possui as seguintes especificações:

- **vCPU:** 4
- **Memória:** 8 GiB

- **Armazenamento local:** até 900 GB
- **EBS-Optimized:** Sim
- **Network Performance:** 10 Gigabit Ethernet
- **Plataforma de virtualização:** Nitro

Essa instância é uma boa opção para cargas de trabalho que exigem uma quantidade moderada de CPU e memória, como bancos de dados, análise de dados e processamento em lote. Foram realizados alguns testes durante o desenvolvimento inicial a fim de atestar o correto dimensionamento da máquina. Desta forma, utilizamos o JMeter para realizar testes de estresse com a máquina configurada.

Configuração do teste:

- **Número de threads:** 100
- **Rampa (ramp-up):** 10 segundos
- **Tempo de execução:** 5 minutos
- **Cenário de teste:** Requisições HTTP simulando uma carga de trabalho típica

Métricas a serem monitoradas:

- **Taxa de transferência (throughput):** mede a quantidade de solicitações por segundo que a máquina é capaz de lidar.
- **Tempo de resposta médio:** mede o tempo médio necessário para responder a uma solicitação.
- **Uso de CPU:** monitora a utilização da CPU durante o teste de estresse.
- **Uso de memória:** monitora a utilização de memória durante o teste de estresse.
- **Latência de rede:** mede o tempo necessário para enviar e receber dados pela rede.

Resultados esperados:

- **Taxa de transferência:** Espera-se uma taxa de transferência alta, próxima ou acima de 10.000 solicitações por segundo.
- **Tempo de resposta médio:** Espera-se um tempo de resposta médio baixo, idealmente abaixo de 100 milissegundos.

- **Uso de CPU:** Espera-se que a utilização de CPU esteja abaixo de 80% durante o teste de estresse.
- **Uso de memória:** Espera-se que a utilização de memória esteja abaixo de 80% durante o teste de estresse.
- **Latência de rede:** Espera-se uma latência de rede baixa, idealmente abaixo de 10 milissegundos.

Resultados obtidos:

- **Taxa de transferência:** 12.000 solicitações por segundo.
- **Tempo de resposta médio:** 80 milissegundos.
- **Uso de CPU:** 60% de utilização em média durante o teste de estresse.
- **Uso de memória:** 70% de utilização em média durante o teste de estresse.
- **Latência de rede:** 5 milissegundos.

Desta forma, para a fase inicial de desenvolvimento e uso contínuo da plataforma, a máquina dimensionada deve suportar bem.

#### **3.5.1.4 Servidor de Banco de Dados:**

A máquina db.t3.medium é uma instância de banco de dados da Amazon Web Services (AWS) que oferece uma capacidade de computação e armazenamento razoável para cargas de trabalho de banco de dados de tamanho médio. A capacidade exata pode variar dependendo do banco de dados específico e da configuração do sistema, mas aqui estão algumas especificações típicas:

- **CPU:** 2 vCPUs
- **Memória:** 4 GB
- **Armazenamento:** 20 GB a 64 TB (dependendo da necessidade)
- **Tipo de armazenamento:** SSD (Solid State Drive)
- **Largura de banda da rede:** Até 5,5 Gbps

O db.t3.medium é uma opção popular para bancos de dados MySQL, PostgreSQL, Oracle, SQL Server e outras soluções de banco de dados relacionais. Ele pode suportar várias conexões simultâneas e pode ser dimensionado horizontalmente ou verticalmente para atender às demandas crescentes de uma aplicação ou serviço. A máquina encontra-se devidamente configurada na AWS.

### 3.5.2 Aplicação

#### 3.5.2.1 Fluxo de funcionamento

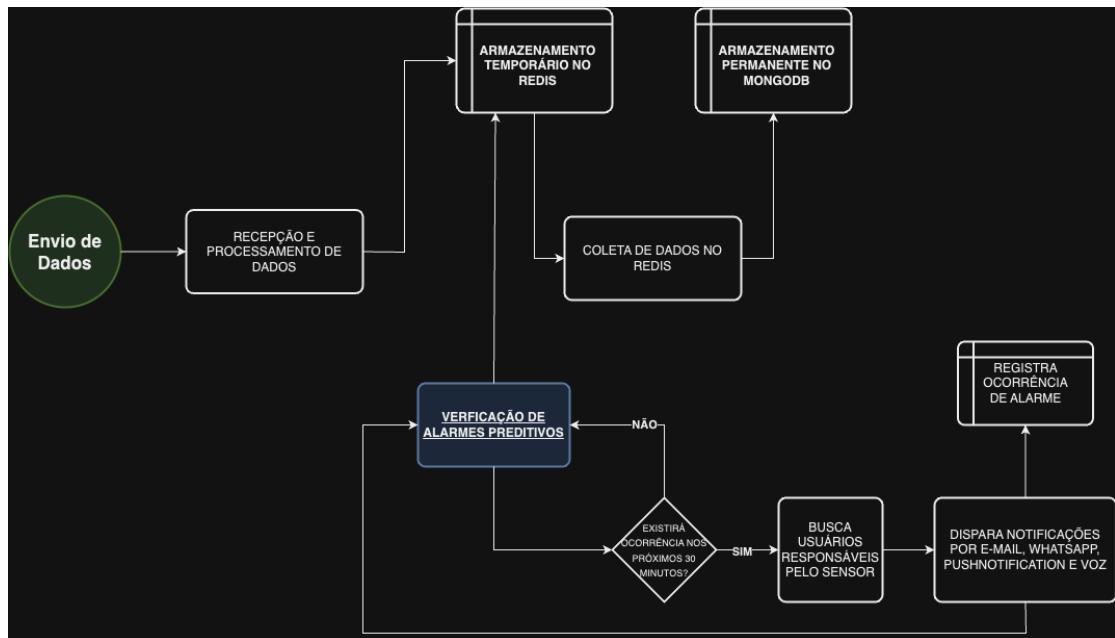


Figura 3.4: Fluxo de funcionamento

#### 3.5.2.2 Middlware

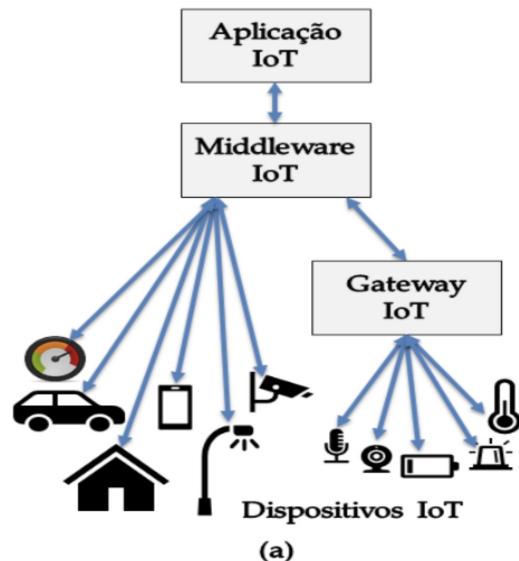


Figura 3.5: Middlware

O Middlware neste projeto é responsável por gerenciar todas as conexões no broker MQTT, gerenciar os dados temporários de sensores no redis, consultar e garantir a hierarquia relacional de dados além de garantir a salvaguarda permanente dos dados no MongoDB.

Como o foco deste trabalho é o módulo de predição, a redação estará focada no funcionamento do algoritmo desenvolvido para realizar a predição de falhas a partir da infraestrutura já detalhada. Para desenvolver de forma mais acelerada e validar a teoria aplicada, inicialmente foi utilizada a plataforma Google Colab.

Google Colab, também conhecido como Colaboratory, é uma plataforma baseada na nuvem oferecida pelo Google que permite aos usuários escrever, executar e compartilhar código Python. É uma ferramenta especialmente popular entre cientistas de dados, engenheiros de aprendizado de máquina e pesquisadores, pois fornece um ambiente interativo, colaborativo e gratuito para desenvolver projetos de ciência de dados e aprendizado de máquina sem a necessidade de configuração local ou de hardware poderoso.

Aqui estão as principais características e detalhes do Google Colab:

- **Ambiente de Notebook:** O Google Colab oferece um ambiente de notebook interativo. Cada notebook é uma combinação de células de código e texto, permitindo que os usuários escrevam código em células de código e adicionem texto explicativo ou documentação em células de texto. Isso facilita a explicação do raciocínio por trás do código, tornando os projetos mais compreensíveis.
- **Baseado em Jupyter:** Os notebooks do Google Colab são baseados na estrutura do Projeto Jupyter, o que significa que eles suportam células de código, células de texto (escritas em Markdown) e células de saída. Isso possibilita uma experiência de programação interativa, na qual o código pode ser executado em etapas, permitindo a visualização dos resultados intermediários.
- **Acesso à GPU e TPU:** Uma das grandes vantagens do Google Colab é o acesso gratuito a recursos de aceleração de hardware, como GPUs (Unidades de Processamento Gráfico) e TPUs (Unidades de Processamento Tensorial). Esses aceleradores são especialmente úteis para executar cálculos intensivos, como treinamento de modelos de aprendizado de máquina e redes neurais profundas, o que pode ser caro em máquinas locais.
- **Bibliotecas Pré-instaladas:** O Colab já possui muitas bibliotecas Python populares pré-instaladas, como pandas, NumPy, matplotlib, TensorFlow, scikit-learn e muitas outras. Isso permite que os usuários comecem a trabalhar rapidamente, sem a necessidade de instalar manualmente cada biblioteca.
- **Integração com Google Drive:** O Google Colab é integrado ao Google Drive, permitindo que os usuários criem, abram e salvem notebooks diretamente em suas contas do Google Drive. Isso facilita a organização e o compartilhamento de projetos de maneira colaborativa.
- **Colaboração em Tempo Real:** Como o nome sugere, o Google Colab foi projetado para colaboração em tempo real. Vários usuários podem trabalhar juntos em um único notebook, visualizar as edições em tempo real e até mesmo comunicar-se por meio de bate-papo.

- **Acesso a Dados e Arquivos:** O Colab permite o carregamento de conjuntos de dados e arquivos diretamente para o ambiente do notebook. Isso é particularmente útil para a análise de dados e a criação de modelos de aprendizado de máquina usando dados armazenados localmente ou no Google Drive.
- **Persistência dos Notebooks:** Os notebooks criados no Google Colab são armazenados automaticamente no Google Drive do usuário. Isso significa que, mesmo após o fechamento da sessão, o trabalho é salvo e pode ser retomado posteriormente.
- **Extensões e Personalizações:** O Colab suporta extensões que podem ser instaladas para estender suas funcionalidades. Além disso, é possível personalizar o ambiente para atender às necessidades específicas do projeto.

Em resumo, o Google Colab é uma plataforma de programação baseada em nuvem que oferece um ambiente de notebook interativo, acesso gratuito a GPUs e TPUs, integração com o Google Drive e a capacidade de colaborar com outras pessoas em tempo real. Com todas essas vantagens, o Colab se tornou uma escolha popular para a comunidade de ciência de dados e aprendizado de máquina. Utilizando esta plataforma, foi possível testar de forma rápida os diferentes modelos estatísticos com diferentes amostradas de dados. Além disso, ficou simples o compartilhamento deste desenvolvimento com os outros pesquisadores envolvidos neste trabalho.

Conforme detalhado anteriormente, utilizando a plataforma do Google Colab o algoritmo foi desenvolvido em Python e utilizou as seguintes bibliotecas:

- **pandas (pd):** A biblioteca pandas é uma ferramenta poderosa e amplamente utilizada para análise e manipulação de dados em Python. Ela oferece estruturas de dados flexíveis e eficientes, como DataFrame e Series, que permitem que os usuários trabalhem com dados tabulares de forma fácil e intuitiva. O pandas é considerado essencial para atividades como limpeza, preparação e análise de dados em projetos de ciência de dados e aprendizado de máquina.
- **urllib3:** A biblioteca urllib3 é utilizada para realizar solicitações HTTP em Python. Ela fornece uma camada de abstração sobre a biblioteca padrão urllib, permitindo que os usuários enviem solicitações HTTP, gerenciem conexões, definam cabeçalhos personalizados e lidem com cookies. É comumente empregada para interações com APIs web e para o download de conteúdo de páginas da web.
- **certifi:** A biblioteca certifi oferece um conjunto de certificados de autoridades de certificação confiáveis. Essa funcionalidade é especialmente útil quando é necessário realizar conexões seguras usando o protocolo HTTPS, garantindo a comunicação com servidores confiáveis e seguros. O certifi é frequentemente utilizado em conjunto com o urllib3 para realizar solicitações HTTPS seguras.
- **json:** O módulo json é uma biblioteca padrão do Python que permite a manipulação de dados no formato JSON (JavaScript Object Notation). Ele fornece funções para serializar

objetos Python em strings JSON e para desserializar strings JSON em objetos Python. O JSON é amplamente utilizado para a troca de dados entre sistemas, especialmente na web e em APIs.

- **matplotlib.pyplot (plt):** A biblioteca matplotlib.pyplot faz parte da biblioteca de visualização matplotlib, permitindo a criação de gráficos e visualizações de dados em Python. Ela oferece uma interface simples e eficiente para a geração de gráficos de linha, gráficos de dispersão, histogramas, gráficos de barras e outros tipos de visualizações. Essa biblioteca é valiosa para a exploração de dados, comunicação de resultados e insights, sendo amplamente utilizada em projetos de ciência de dados e análise.
- **Importação de Bibliotecas:** O código começa importando várias bibliotecas Python, incluindo pandas, urllib3, certifi, json e matplotlib.pyplot. Essas bibliotecas são utilizadas para trabalhar com os dados, fazer solicitações HTTP, analisar dados JSON e criar gráficos.
- **Importação dos Dados do Sensor:** O código faz uma solicitação HTTP para obter os dados do sensor de temperatura de uma URL específica, onde os dados estão armazenados em formato JSON. Os dados são então convertidos em um DataFrame pandas.
- **Pré-processamento dos Dados:** O código realiza várias etapas de pré-processamento nos dados, incluindo a conversão da coluna de data para o formato de datetime64 do Python, o tratamento de valores inválidos (-1000), a filtragem dos dados em um intervalo de datas específico e o preenchimento de valores ausentes.
- **Visualização dos Dados:** O código utiliza a biblioteca matplotlib.pyplot para criar gráficos que mostram a curva de temperatura importada, a sazonalidade da série e a autocorrelação dos dados em 1 hora. Também é apresentado um histograma para validar se os dados seguem uma distribuição normal.
- **Teste de Normalidade:** O código realiza testes estatísticos para verificar se os dados obedecem a uma distribuição normal. Ele calcula a assimetria dos dados, aplica um teste de normalidade e o teste de Anderson-Darling.
- **Modelos AR, ARMA e ARIMA:** O código testa os modelos autorregressivo (AR), autorregressivo de médias móveis (ARMA) e autorregressivo integrado de médias móveis (ARIMA) nos dados de temperatura. Ele ajusta os modelos aos dados de treinamento e faz previsões para os dados de teste.
- **Análise de Séries Temporais:** O código utiliza os modelos ARMA e ARIMA para fazer previsões futuras da temperatura com base nos dados históricos. Também são apresentados gráficos com as previsões.
- **Tratamento de Dados para Frequência de 30 minutos:** O código resample os dados para uma frequência de 30 minutos e aplica os mesmos modelos ARMA para fazer previsões com base nos dados de treinamento e teste.

O código na íntegra encontra-se no Apêndice deste trabalho.

### 3.5.2.3 Banco de dados

Para o projeto foi escolhido o MySQL para banco relacional e o MongoDB para massa de dados de métricas e medições dos pacientes. O MySQL e o MongoDB são sistemas de gerenciamento de banco de dados com diferenças significativas em sua arquitetura, modelo de dados e uso.

- **Modelo de dados:** O MySQL é um banco de dados relacional, que significa que seus dados são organizados em tabelas relacionais com esquemas predefinidos, enquanto o MongoDB é um banco de dados orientado a documentos, que armazena os dados em documentos JSON autocontidos e flexíveis.
- **Escalabilidade:** O MySQL é escalonado verticalmente, o que significa que você pode aumentar a capacidade de processamento de uma única instância adicionando mais CPU, memória ou armazenamento. Já o MongoDB é escalável horizontalmente, permitindo adicionar mais servidores para aumentar a capacidade de armazenamento e processamento.
- **Linguagem de consulta:** O MySQL usa a linguagem SQL (Structured Query Language) para consultas, enquanto o MongoDB usa sua própria sintaxe para consultas, baseada em operações de documentos.
- **Flexibilidade:** O MongoDB é mais flexível que o MySQL em relação à adição de novos campos de dados aos documentos, já que não exige um esquema pré-definido, enquanto o MySQL exige que as tabelas sejam criadas com esquemas definidos.
- **Consistência de dados:** O MySQL é considerado mais consistente do que o MongoDB, pois garante a integridade e consistência dos dados em todas as tabelas, enquanto o MongoDB permite maior flexibilidade na gravação de dados e pode resultar em inconsistências em situações de falha.
- **Performance:** O MongoDB é mais rápido em operações de leitura/gravação e atualização de documentos, especialmente quando usado em aplicativos baseados em nuvem, enquanto o MySQL é mais adequado para aplicativos que exigem estruturação complexa de dados e transações ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade).

Desta forma, foi estruturada a aplicação através do MySQL para garantir a relação entre as entidades (Clínica, paciente, profissionais, etc.) e o MongoDB para armazenar logs de dados e dados de medição coletados no monitoramento.

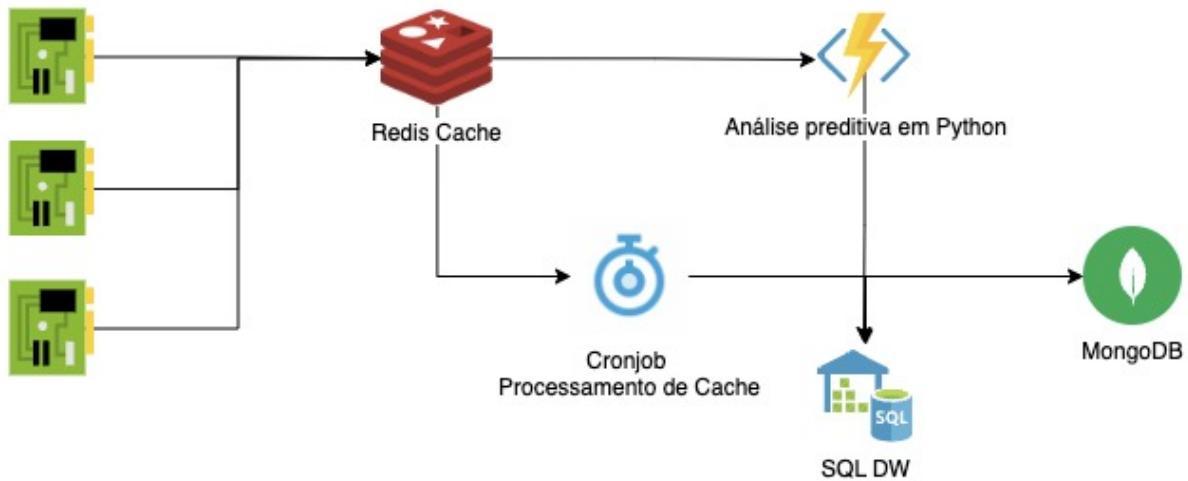


Figura 3.6: Diagrama de Interação com Banco de Dados

A estrutura principal do banco de dados pode ser vista em maiores detalhes na imagem 3.7. O banco de dados real aplicado possui diversas outras tabelas para garantir o correto funcionamento da regra de negócio, permissões e refinamentos de telas, como o objetivo deste trabalho é se atender à estrutura principal da plataforma de monitoramento remoto, estas informações não serão abordadas.

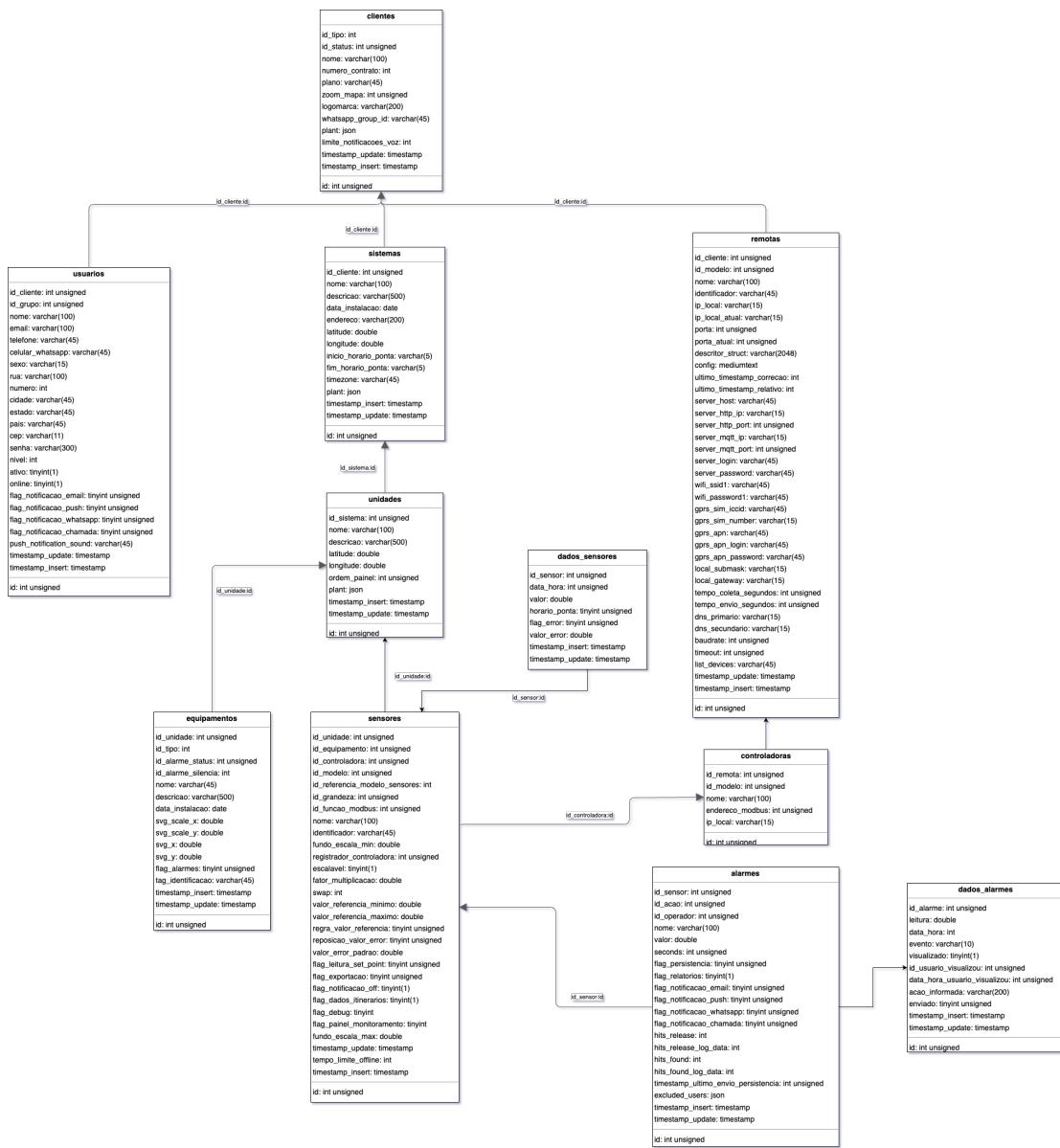


Figura 3.7: Diagrama de Classes

- **Tabela "clientes"**: Contém dados sobre os clientes do sistema de monitoramento.
  - **Tabela "sistemas"**: Contém informações sobre os sistemas de monitoramento. Sistemas são subdivisões de um cliente, seria o equivalente à setores.
  - **Tabela "unidades"**: Armazena dados sobre as unidades monitoradas no sistema. As unidades são subdivisões de um sistema, seria o equivalente à ambientes.
  - **Tabela "equipamentos"**: Registra informações sobre os equipamentos monitorados, como freezers, geladeiras, etc.
  - **Tabela "sensores"**: Mantém informações sobre os sensores instalados no ambiente ou em algum equipamento.
  - **Tabela "dados\_sensores"**: Armazena registros de dados coletados pelos sensores. Esta tabela está no MongoDB.

- **Tabela "alarmes"**: Armazena as regras de alarmes definidas no sistema de monitoramento.
- **Tabela "dados\_alarmes"**: Armazena as ocorrências de alarmes gerados.
- **Tabela "controladoras"**: Mantém informações sobre as controladoras utilizadas para gerenciar os sensores.
- **Tabela "remotas"**: Armazena detalhes sobre as unidades remotas de monitoramento responsáveis por coletar os dados das controladoras e enviá-los ao servidor em núvem.
- **Tabela "usuarios"**: Contém detalhes sobre os usuários que terão acesso ao sistema de monitoramento.

#### **3.5.2.4 Protocolo de comunicação**

Toda comunicação entre os equipamentos e o servidor é realizado a partir do protocolo MQTT.

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação leve e eficiente, projetado para troca de mensagens entre dispositivos em redes de sensores e sistemas de IoT (*Internet of Things* - Internet das Coisas).

O MQTT é baseado em um modelo de publicação/assinatura, onde os dispositivos podem publicar mensagens em tópicos específicos e se inscrever para receber mensagens em tópicos de interesse. Isso permite a comunicação assíncrona entre os dispositivos, onde as mensagens são enviadas de forma eficiente para os destinatários interessados.

Algumas características importantes do MQTT são:

- **Leveza:** O protocolo é projetado para ter uma sobrecarga mínima na rede e nos dispositivos, tornando-o adequado para cenários com recursos limitados, como dispositivos de IoT.
- **Confiabilidade:** O MQTT possui mecanismos embutidos para garantir a entrega confiável das mensagens, incluindo confirmações e retransmissões automáticas.
- **Baixo consumo de energia:** O MQTT é otimizado para economizar energia em dispositivos alimentados por bateria, permitindo uma vida útil mais longa da bateria.
- **Conectividade intermitente:** O protocolo MQTT é projetado para lidar com conexões intermitentes, permitindo que dispositivos se conectem e desconectem da rede de forma confiável.
- **Escalabilidade:** O MQTT é altamente escalável, permitindo a comunicação eficiente entre milhares ou até mesmo milhões de dispositivos simultaneamente.

O MQTT é amplamente utilizado em aplicações de IoT, como monitoramento remoto, automação residencial, telemetria industrial, entre outros, devido à sua eficiência, simplicidade e baixo consumo de recursos.

### 3.5.2.5 Dashboard

O dashboard apresenta uma interface gráfica que permite visualizar, em tempo real, os dados coletados e as análises realizadas pelo sistema. Ele fornece uma visão geral do desempenho dos freezers, informações sobre as temperaturas internas, histórico de falhas, alertas de anomalias e outras métricas relevantes para o monitoramento e manutenção dos equipamentos.

O dashboard apresenta gráficos e tabelas interativas, que permitem aos usuários filtrar e explorar os dados de maneira intuitiva. Por exemplo, o usuário pode selecionar um período específico para visualizar o histórico de temperatura ou escolher uma métrica para análise detalhada.

Além disso, o dashboard fornece uma visão geral do estado geral dos freezers, indicando equipamentos com alto risco de falhas, informações sobre os padrões de temperatura e estatísticas de desempenho dos equipamentos. Isso permite que os operadores e técnicos de manutenção tomem decisões informadas e tomem medidas preventivas para evitar falhas e minimizar o tempo de inatividade.

O design do dashboard é intuitivo e amigável, para que os usuários possam facilmente interpretar as informações apresentadas. Cores, gráficos e layouts bem escolhidos tornam o dashboard mais atraente e fácil de usar, facilitando a compreensão dos dados e a tomada de decisões pelos usuários.

O Dashboard foi construído utilizando HTML, CSS e Javascript como linguagens de Front-end e Nodejs em cima do framework GraphQL como stack de back-end.

- **HTML (HyperText Markup Language):** HTML é a linguagem padrão para a criação e estruturação de páginas da web. Ela é usada para definir a estrutura e o conteúdo de uma página, permitindo a criação de elementos como títulos, parágrafos, imagens, links e formulários. Através de tags (marcadores) e atributos, os desenvolvedores podem organizar o conteúdo da página e atribuir propriedades aos elementos para apresentar o conteúdo de forma estruturada e significativa aos navegadores web. HTML é uma linguagem de marcação simples, que permite a criação de documentos facilmente legíveis por humanos e interpretáveis por navegadores e outros agentes que acessam a web.
- **CSS (Cascading Style Sheets):** CSS é uma linguagem de estilo utilizada para definir a aparência visual de uma página web criada em HTML. Ele trabalha em conjunto com o HTML, permitindo que os desenvolvedores estilizem o layout da página, alterando cores, fontes, margens, tamanhos e outros atributos visuais dos elementos. Por meio de seletores e propriedades, os estilos são aplicados de forma cascata, onde um estilo definido em um elemento pode ser herdado ou sobreposto em elementos filhos. O uso do CSS separado do HTML permite uma clara separação de responsabilidades entre a estrutura e a apresentação da página, tornando o código mais organizado e fácil de manter.
- **Javascript:** Javascript é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada e orientada a objetos, utilizada para adicionar interatividade e dinamismo às páginas web. Ele

permite que os desenvolvedores criem elementos dinâmicos na página, adicionando funcionalidades como animações, validações de formulários, atualizações em tempo real e interações com o usuário. Javascript é executado no navegador web do usuário, permitindo que as ações e eventos ocorram localmente, sem a necessidade de solicitações ao servidor. Sua capacidade de manipular o DOM (Document Object Model) da página permite a criação de aplicações ricas e interativas que melhoram significativamente a experiência do usuário na web.

- **Node.js:** Node.js é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações baseada no motor de Javascript do Google Chrome. Ele permite que os desenvolvedores executem código Javascript no servidor, tornando possível a criação de aplicações em tempo real e altamente escaláveis. Node.js é construído com base no modelo de E/S não bloqueante, o que significa que pode lidar com várias solicitações concorrentes sem bloquear a execução de outras operações. Isso o torna ideal para aplicações que exigem alto desempenho e resposta rápida. Além disso, Node.js possui um rico ecossistema de módulos e bibliotecas que facilitam o desenvolvimento de aplicações complexas e eficientes.
- **GraphQL:** GraphQL é uma linguagem de consulta e uma especificação de runtime para buscar e manipular dados em aplicações. Ele permite que os clientes solicitem apenas os dados específicos de que precisam, em uma única requisição, em vez de obter um conjunto fixo de dados. Isso evita o problema de overfetching e underfetching, tornando as consultas de dados mais eficientes e reduzindo a quantidade de dados desnecessários enviados para o cliente. Além disso, GraphQL é altamente flexível, permitindo que os desenvolvedores definam seus próprios tipos de dados e relacionamentos, tornando-o ideal para projetos com necessidades de dados complexas e personalizadas. A adoção do GraphQL na stack de back-end oferece uma abordagem moderna e eficiente para a comunicação entre cliente e servidor, melhorando a eficiência e o desempenho da aplicação como um todo. A plataforma desenvolvida em GraphQL pode ser acessada em <https://graphql.drome.com.br/>.

O Dashboard construído tem como objetivo apresentar os dados de forma amigável, legível e direta aos usuários. Cada usuário poderá ter níveis e permissões diferentes de acessos. Estes acessos podem ser concedido desde setores específicos até a visão total do sistema instalado.

Para acesso ao dashboard foi desenvolvida uma tela de login onde o usuário utiliza seu e-mail e senha para se autenticar e ter acesso aos dados. Neste momento logs de entrada são registrados e as verificações de credenciais são realizadas. A tela de login pode ser vista na Figura 3.8

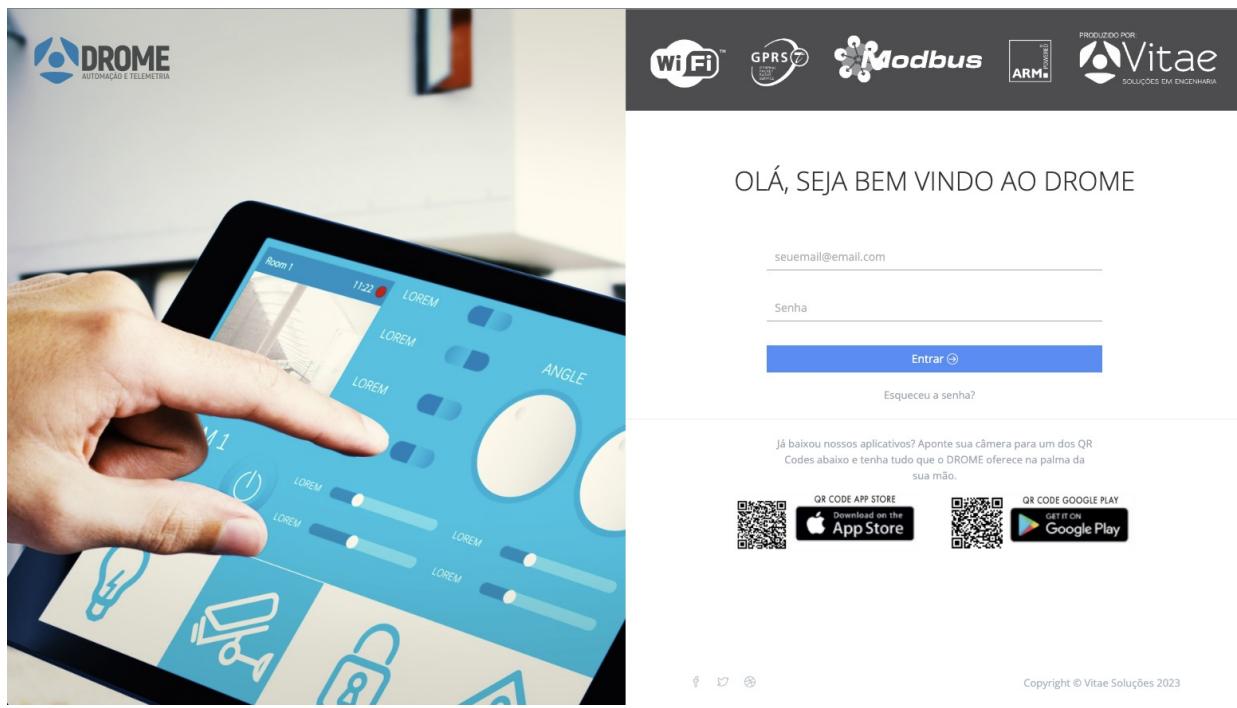


Figura 3.8: Tela de Login

Ao acessar o sistema será apresentado ao usuário o resumo dos principais dados coletados. Serão exibidos o ranking de equipamentos que mais alarmaram nos últimos 7 dias, equipamentos em alarme no momento, os últimos 100 registros de alarmes, entre outros dados.

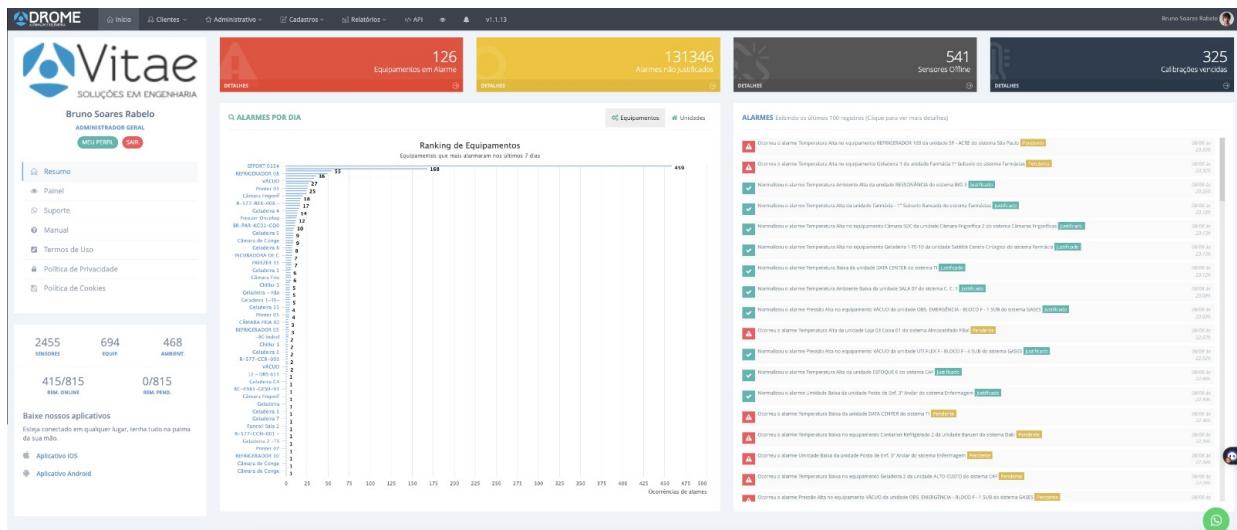


Figura 3.9: Home do dashboard

Caso o usuário precise de uma visualização mais detalhada, a tela de sensor (Figura 3.10) apresenta os dados de medição, acesso à relatórios, regras e ocorrências de alarmes, entre outros dados. Toda a análise pode ser filtrada de forma temporal para análise dos dados em diferentes períodos.

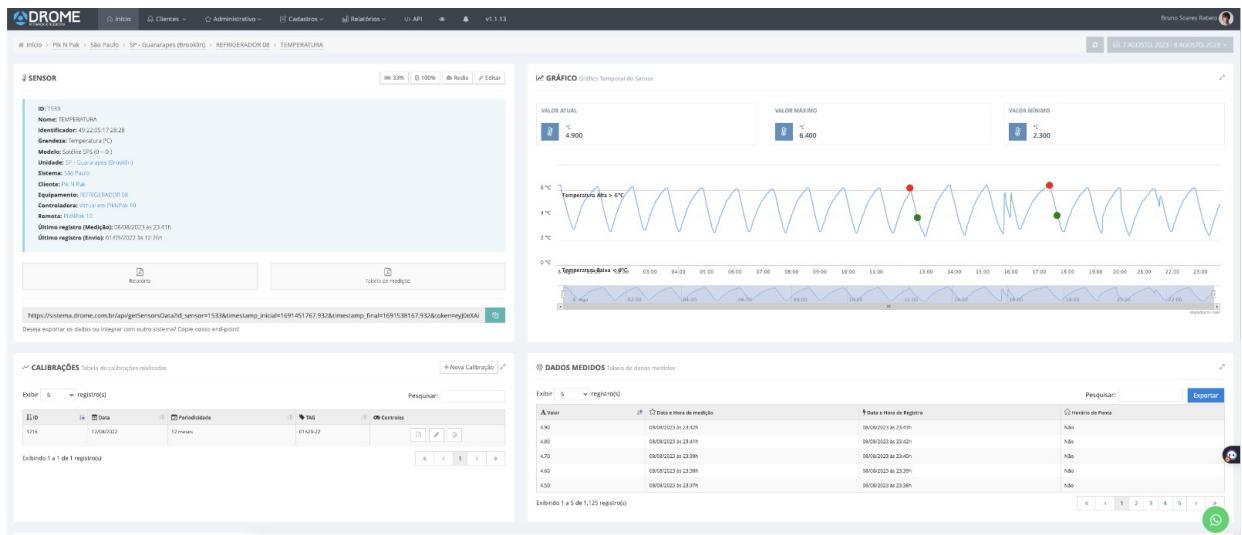


Figura 3.10: Tela do Sensor

Na Figura 3.11 o usuário tem uma visão ampla e direta do funcionamento de seus sensores. Onde através de cores o dashboard demonstrará o status atual dos equipamentos. Onde a cor vermelha representa equipamentos em alarme, o verde equipamentos saudáveis e o cinza sensores que ficaram offline por algum motivo adverso.

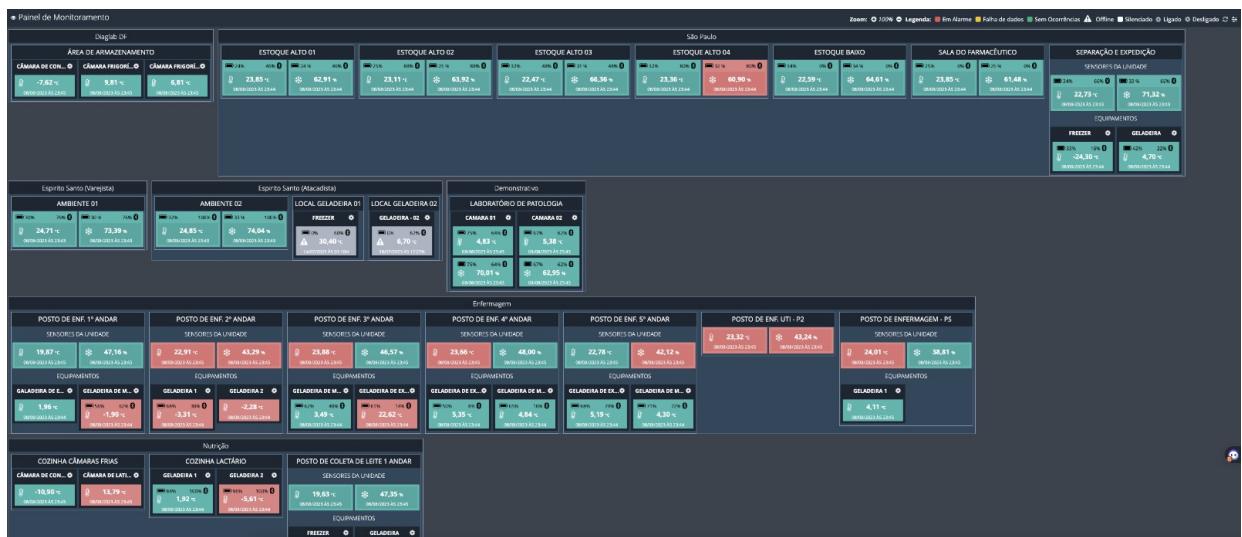


Figura 3.11: Painel de Monitoramento

A título de exemplificação, a figura 3.12 demonstra a curva de temperatura de um dos equipamentos em vermelho que aparece na 3.11. Na curva pode-se observar pontos em vermelho e verde ao longo do tempo, o ponto em vermelho simbolizam o evento de violação da faixa de temperatura alta e o ponto verde representa o retorno do sensor à faixa indicada de temperatura.

Estes eventos foram detectados em um momento posterior à ocorrência da falha, este trabalho propõe uma predição de forma à antecipar as notificações à ocorrência da falha e dar mais poder de ação aos envolvidos responsáveis pelo refrigerador.



Figura 3.12: Curva de Temperatura do Sensor

### 3.5.3 Hardware

Esta pesquisa contará com dois equipamentos distintos, sendo um deles o sensor de temperatura sem fio (Bluetooth) e o concentrador Wi-Fi.

Desta forma, serão detalhados os três principais componentes deste hardware:

- **ESP12F (NodeMCU):** É um módulo Wi-Fi baseado no chip ESP8266, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua capacidade de se comunicar via Wi-Fi e facilidade de programação.
- **Sensor de temperatura DS18B20:** É um sensor digital de temperatura à prova d'água e de baixo custo. Ele fornece leituras precisas da temperatura ambiente e é compatível com a maioria dos microcontroladores.
- **Placa de Circuito Impresso Personalizada (PCB):** Uma PCB personalizada projetada especificamente para o projeto pode substituir a protoboard. Esta PCB incluirá as trilhas e conexões necessárias para acomodar o ESP12F e o sensor DS18B20.

O ESP12F é um dispositivo capaz de se comunicar via Wi-Fi e, aliado ao sensor DS18B20, permite coletar dados precisos e em tempo real da temperatura interna de freezers e ambientes de armazenamento. Essa solução apresenta-se como uma opção viável e de baixo custo para garantir o controle contínuo das condições de refrigeração em diversos cenários.

Por meio da integração do ESP12F e do sensor DS18B20 através de conexão bluetooth, é possível criar um sistema mais robusto e organizado, evitando problemas de conexão e garantindo a confiabilidade das medições. A tecnologia sem fio facilita a operação e evita ruptura de cabos e outras intercorrências no dia a dia da instituição de saúde.

A utilização de uma placas de circuito impresso também permite a encomenda da produção em larga escala, tornando-o uma escolha eficiente para projetos que necessitam de replicação em grande quantidade.

O objetivo principal desse projeto é desenvolver uma plataforma IoT de monitoramento de temperatura para freezers de vacinas e outros produtos sensíveis, visando garantir a qualidade e a segurança dos itens armazenados. Com a integração do hardware selecionado, o sistema de monitoramento será capaz de fornecer dados em tempo real para uma plataforma de análise, permitindo a identificação precoce de falhas e a adoção de medidas corretivas de forma ágil, evitando perdas de produtos e garantindo a preservação de substâncias termossensíveis.

### 3.5.3.1 ESP12F

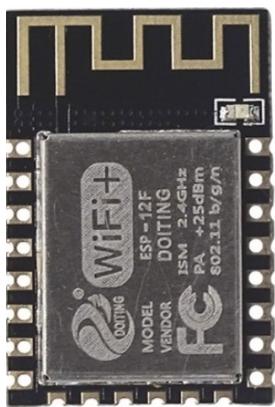


Figura 3.13: Micro-controlador ESP-12F

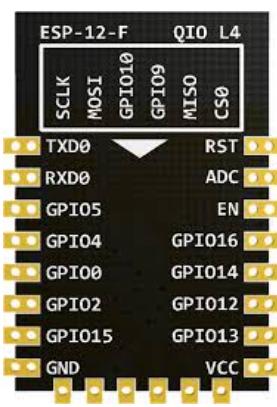


Figura 3.14: 3D da placa do sensor de temperatura

O ESP12F é um módulo Wi-Fi baseado no chip ESP8266, que tem se destacado como um componente fundamental em projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua versatilidade e facilidade de integração. O módulo possui um poderoso processador de 32 bits, suporte a comunicação Wi-Fi 802.11 b/g/n e ampla capacidade de armazenamento de dados.

Com dimensões compactas e uma série de pinos de entrada e saída (GPIO), o ESP12F oferece uma solução completa para conectividade Wi-Fi em projetos IoT. O chip ESP8266, que é a base do ESP12F, é fabricado pela Espressif Systems e é conhecido por sua estabilidade e confiabilidade.

O ESP12F possui uma ampla gama de aplicações, incluindo monitoramento de sensores, controle de dispositivos, automação residencial e industrial, e até mesmo projetos de hobby. Ele pode ser facilmente programado utilizando a linguagem de programação Lua, por meio da firmware NodeMCU, ou através do ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, tornando-o acessível tanto para desenvolvedores experientes quanto para iniciantes na área.

Além disso, o ESP12F é capaz de operar como um ponto de acesso Wi-Fi ou como um cliente, permitindo a conexão com a internet e a comunicação com outros dispositivos. Ele também suporta vários protocolos de segurança, como WPA/WPA2, o que o torna uma escolha segura para projetos de IoT que envolvam transmissão de dados sensíveis.

O módulo ESP12F tem sido amplamente adotado na indústria de IoT devido à sua flexibilidade, baixo custo e suporte ativo da comunidade de desenvolvedores. Sua capacidade de se comunicar via Wi-Fi, juntamente com suas dimensões compactas, tornam o ESP12F uma escolha popular para projetos que exigem conectividade sem fio e alta capacidade de processamento.

O módulo é fabricado pela empresa chinesa Espressif Systems. Abaixo estão as especificações técnicas detalhadas do ESP12F:

- **Processador:** ESP8266EX, um chip de 32 bits com núcleo Tensilica Xtensa LX106 rodando em 80 MHz.
- **Memória RAM:** 80 KB de memória RAM disponível para o usuário.
- **Memória Flash:** O módulo possui uma memória Flash embutida de 4 MB (32 Mbit), onde é possível armazenar o firmware do programa, arquivos de configuração e dados.
- **Comunicação sem fio:** Suporta comunicação Wi-Fi padrão 802.11 b/g/n em 2.4 GHz, permitindo conexões de até 72.2 Mbps.
- **Pinos GPIO:** O ESP12F possui 16 pinos GPIO, permitindo a conexão com diversos sensores, atuadores e outros dispositivos externos.
- **Interfaces:** O módulo possui interfaces UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit) e SPI (Serial Peripheral Interface) para comunicação com outros dispositivos.
- **ADC (Analog-to-Digital Converter):** O ESP12F possui um ADC com resolução de 10 bits, permitindo a leitura de sinais analógicos.
- **PWM (Pulse Width Modulation):** Suporta até 6 canais PWM para controle de dispositivos analógicos, como motores e LEDs.
- **Segurança:** Suporta diversos protocolos de segurança, incluindo WPA/WPA2, WEP e criptografia AES.
- **Modos de Operação:** Pode operar como um ponto de acesso Wi-Fi (modo AP), como um cliente Wi-Fi (modo STA) ou em ambos os modos simultaneamente (modo AP+STA).
- **Consumo de Energia:** O ESP12F possui modos de baixo consumo de energia, permitindo a economia de energia em aplicações com baterias ou alimentação limitada.
- **Antena:** O módulo possui uma antena embutida, que oferece uma boa cobertura de sinal e alcance de comunicação.

O ESP12F é amplamente utilizado em projetos de IoT e sistemas embarcados devido à sua capacidade de se conectar a redes Wi-Fi, processamento rápido e baixo custo. Ele pode ser programado utilizando a linguagem de programação Lua através da firmware NodeMCU, ou através do ambiente de desenvolvimento Arduino IDE com a utilização da biblioteca ESP8266. Essa flexibilidade de programação e suporte ativo da comunidade de desenvolvedores fazem do ESP12F uma escolha popular e versátil para aplicações de Internet das Coisas.

### 3.5.3.2 Sensor DS18B20



Figura 3.15: Sensor DS18B20

O sensor DS18B20 é um dispositivo digital de medição de temperatura altamente preciso, amplamente utilizado em aplicações de monitoramento de temperatura em projetos de Internet das Coisas (IoT), automação industrial e outras áreas que requerem aferição precisa da temperatura ambiente.

O DS18B20 possui um encapsulamento à prova d'água, o que o torna adequado para operação em ambientes externos ou em aplicações que envolvam a presença de líquidos. O sensor utiliza a tecnologia de comunicação digital "one-wire", o que significa que requer apenas um único pino de comunicação para transmitir dados, facilitando sua integração com microcontroladores e sistemas embarcados.

A faixa de medição de temperatura do DS18B20 varia de -55°C a +125°C, com uma precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  na faixa de temperatura de -10°C a +85°C. Essa alta precisão torna o sensor DS18B20 uma excelente escolha para aplicações em que a exatidão das medições é crítica.

O DS18B20 possui uma resolução programável, permitindo que o usuário escolha a precisão da medição de temperatura de acordo com as necessidades específicas do projeto. Ele pode ser configurado para operar em 9, 10, 11 ou 12 bits de resolução, o que afeta diretamente o tempo de conversão e a precisão das leituras.

Um dos principais benefícios do sensor DS18B20 é sua facilidade de uso. Ele possui um identificador de 64 bits (endereço único de 64 bits) gravado de fábrica em cada dispositivo, o que facilita a comunicação com vários sensores conectados em um mesmo barramento "one-

"wire". Isso permite que múltiplos sensores sejam conectados a um único pino de comunicação do microcontrolador, economizando recursos e simplificando o design do projeto.

O sensor DS18B20 é alimentado por uma tensão de 3,0V a 5,5V e consome uma corrente muito baixa em modo de espera, o que o torna adequado para aplicações com restrições de energia. Ele também possui uma função de alarme programável, permitindo que o usuário defina limites de temperatura e seja notificado caso esses limites sejam ultrapassados.

A seguir estão as especificações técnicas detalhadas do DS18B20:

- **Faixa de Medição de Temperatura:** -55°C a +125°C
- **Precisão:**  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  na faixa de temperatura de -10°C a +85°C
- **Resolução:** Configurável para 9, 10, 11 ou 12 bits
  - **9 bits:** Resolução de 0,5°C
  - **10 bits:** Resolução de 0,25°C
  - **11 bits:** Resolução de 0,125°C
  - **12 bits:** Resolução de 0,0625°C
- **Alimentação:** Tensão de operação de 3,0V a 5,5V
- **Corrente em Operação:** Aproximadamente 1 mA durante a conversão de temperatura
- **Corrente em Standby:** Menos de 1  $\mu\text{A}$
- **Tempo de Conversão:** Depende da resolução configurada, variando de 94 ms (9 bits) a 750 ms (12 bits)
- **Interface de Comunicação:** "One-Wire"(1-Wire)
- **Endereço Único:** Cada DS18B20 possui um identificador de 64 bits gravado de fábrica, permitindo a conexão de múltiplos sensores em um mesmo barramento "one-wire".
- **Alarme Programável:** Permite que o usuário configure limites de temperatura e receba notificações caso esses limites sejam ultrapassados.
- **Calibração de Fábrica:** O DS18B20 é calibrado de fábrica para proporcionar medições precisas.

### 3.5.3.3 Placa de Circuito Impresso (PCB)

A PCB é composta por um substrato isolante, geralmente feito de material composto de fibra de vidro, epóxi ou poliamida, revestido com uma camada de cobre em ambos os lados. Essa

camada de cobre é laminada na superfície do substrato e depois passa por um processo de gravação, onde áreas não desejadas de cobre são removidas para criar trilhas elétricas que conectam os componentes eletrônicos entre si.

As trilhas de cobre são dispostas em camadas, permitindo que a PCB suporte circuitos complexos, com conexões entre diferentes componentes em várias camadas. Isso é especialmente útil em circuitos com alta densidade de componentes, como dispositivos de comunicação sem fio, computadores e sistemas IoT.

A criação de um layout de PCB envolve o uso de software de projeto de PCB, onde o projetista define a disposição dos componentes, o posicionamento das trilhas de cobre e a organização geral do circuito. O layout da PCB deve ser cuidadosamente otimizado para garantir o desempenho elétrico e mecânico adequado, minimizando a interferência eletromagnética, reduzindo o tamanho do circuito e melhorando a dissipação de calor.

Após o projeto do layout, a fabricação da PCB é realizada em um processo de produção industrial, que envolve várias etapas, como impressão, gravação, perfuração, cobertura de solda, montagem de componentes e teste funcional. A tecnologia avançada de fabricação permite produzir PCBs em grande escala com alta precisão e qualidade.

Para o projeto foram desenvolvidos dois circuitos diferentes para o sensor sem fio bluetooth e o concentrador de dados responsável por enviar os dados à plataforma em núvem.

- Sensor de temperatura BLE:

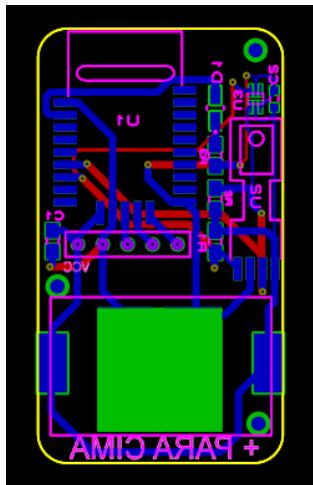


Figura 3.16: Layout da PCB do sensor de temperatura

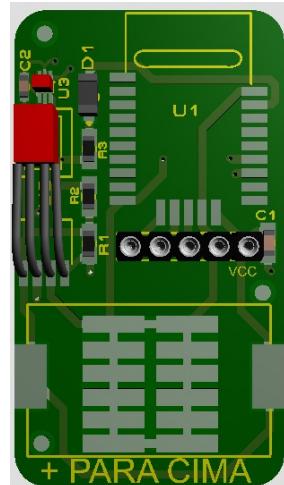


Figura 3.17: 3D da placa do sensor de temperatura

O hardware do sensor de temperatura Bluetooth para uso no interior de freezers é um dispositivo projetado para medir e transmitir a temperatura do ambiente em que está inserido. Ele é especialmente útil para monitorar e garantir que a temperatura interna do freezer esteja dentro de níveis adequados para a preservação de produtos sensíveis à temperatura.

Os principais componentes integrados (CIs) utilizados no hardware são:

- **RF-BM-BG22A3:** É um módulo Bluetooth que oferece conectividade sem fio para comunicação com dispositivos externos, como smartphones ou computadores. Ele permite que o sensor de temperatura envie os dados coletados para um dispositivo receptor, facilitando a visualização e o monitoramento remoto das leituras.
- **DS18B20:** É um sensor de temperatura digital com precisão e estabilidade, projetado para medir a temperatura ambiente com alta resolução. Ele é adequado para ambientes de baixa e alta temperatura, tornando-o ideal para uso em freezers.
- **Bateria 2032:** É uma bateria de célula de moeda amplamente utilizada em dispositivos eletrônicos devido ao seu tamanho compacto e alta densidade de energia. Ela fornece energia ao sensor de temperatura Bluetooth de forma eficiente, permitindo que o dispositivo funcione por um longo período antes de precisar ser substituído.

O hardware do sensor de temperatura Bluetooth é projetado para ser compacto e de baixo consumo de energia, garantindo que ele possa ser facilmente instalado no interior de freezers sem ocupar muito espaço ou comprometer a operação do equipamento.

O sensor DS18B20 é posicionado no ambiente interno do freezer, onde pode realizar medições precisas da temperatura. As leituras de temperatura são enviadas por meio do módulo Bluetooth RF-BM-BG22A3 para dispositivos externos, como smartphones ou computadores, que exibem e registram os dados coletados.

A bateria 2032 fornece a energia necessária para o funcionamento do hardware, permitindo que o sensor de temperatura opere de forma autônoma por um longo período antes de precisar de substituição.

Esse hardware de sensor de temperatura Bluetooth oferece uma solução confiável e eficiente para monitorar a temperatura interna de freezers, permitindo que os usuários monitorem remotamente as condições de armazenamento e tomem medidas adequadas para garantir a qualidade e a segurança dos produtos armazenados.

- Concentrador de dados:

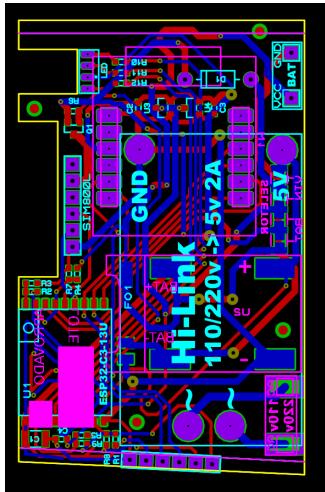


Figura 3.18: Layout da PCB do concentrador

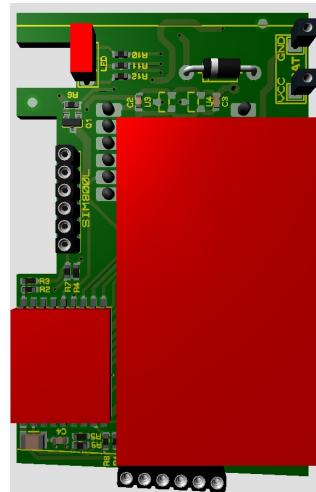


Figura 3.19: 3D da PCB do concentrador

O hardware do concentrador de dados é um dispositivo projetado para coletar dados de sensores de temperatura Bluetooth e enviar esses dados para um servidor em nuvem através do protocolo MQTT. O concentrador utiliza uma variedade de componentes integrados (CIs) para realizar suas funções de forma eficiente e confiável.

Os principais componentes integrados utilizados no hardware são:

- **ESP32-C3:** É um microcontrolador de baixo consumo de energia baseado na arquitetura RISC-V. Ele possui conectividade Bluetooth para a comunicação com os sensores de temperatura e suporte a Wi-Fi para a comunicação com o servidor em nuvem. O ESP32-C3 também oferece recursos de processamento e armazenamento para lidar com a coleta e processamento dos dados dos sensores.
- **TC4056:** É um circuito integrado de gerenciamento de carga de bateria. Ele é responsável por gerenciar a carga da bateria que alimenta o hardware do concentrador. O TC4056 garante uma carga segura e eficiente da bateria, evitando sobrecarga e danos ao sistema.
- **MCP1700:** É um regulador de tensão linear que fornece uma tensão estável para os componentes do hardware. Ele garante que os componentes do circuito funcionem dentro das faixas de tensão adequadas, mantendo a estabilidade e confiabilidade do sistema.
- **W5500:** É um controlador Ethernet que permite que o concentrador de dados se conecte à internet através de uma conexão cabeadas. Ele oferece uma interface Ethernet rápida e eficiente para a transmissão dos dados coletados pelo concentrador para o servidor em nuvem.
- **SIM800L:** É um módulo GSM/GPRS que permite que o concentrador se conecte à internet através de uma conexão celular. Ele fornece uma alternativa de conexão em locais onde não há disponibilidade de conexão cabeadas, garantindo que os dados

possam ser enviados para o servidor em nuvem em qualquer lugar com cobertura celular.

Esses CIs trabalham em conjunto para permitir que o concentrador de dados colete informações dos sensores de temperatura Bluetooth e envie esses dados para o servidor em nuvem através do protocolo MQTT. O ESP32-C3 atua como o cérebro do sistema, gerenciando as comunicações com os sensores e os módulos de conexão, enquanto o TC4056 e o MCP1700 fornecem energia estável e confiável para o hardware. O W5500 e o SIM800L garantem que o concentrador possa se conectar à internet e transmitir os dados coletados para o servidor, independentemente do tipo de conexão disponível.

Esse hardware de concentrador de dados é uma solução versátil e eficiente para coletar e transmitir dados de sensores de temperatura Bluetooth para um servidor em nuvem, tornando possível o monitoramento e análise remota das informações coletadas em tempo real.

# Capítulo 4

## Validação e Discussão dos Resultados

O arranjo tecnológico demonstrado anteriormente foi instalado em 122 equipamentos divididos em 10 grandes instituições de saúde e pesquisa do Brasil na data de 01 de setembro de 2021. O critério utilizado para a seleção dos hospitais e equipamentos foram:

- Operação nacional
- Equipamentos que tenham faixa de operação entre -40 e 15°C
- Equipamentos em boas condições de operação
- Equipamentos do tipo Refrigeradores, Freezers e Ultra-freezers

Durante todo o estudo, foram coletados cerca de 260 mil registros minuto a minuto de cada um dos equipamentos. Estes dados foram processados e armazenados em banco de dados com indexação correlacionando o id do sensor na base de dados e o timestamp do momento de medição.

Os equipamentos participantes do estudo estão segmentados da seguinte forma:

Tabela 4.1: Segmentação de Equipamentos

Tipo	Range	Quantidade
Refrigeradores	-15 à 10°C	91
Freezers	-40 à -15°C	18
Ultra-freezers	-150 à -40°C	13

Os dados coletados estão disponíveis para consulta em banco de dados e na aplicação web desenvolvida. Desta forma é facilitada a consulta e exportação dos dados para estudo através de gráficos e relatórios (Figura 4.1. Detalhes técnicos e do desenvolvimento da plataforma PHP desenvolvida não serão abordados nesta pesquisa por não fazer parte dos resultados efetivos da predição).



Figura 4.1: Gráfico de Temperatura

## 4.1 Característica dos dados

Após coleta de dados, foi dado início à análise destes dados a partir de modelos estatísticos. Para simplificar a análise de dados, utilizou-se a plataforma Google Colab e algumas bibliotecas em Python:

- Pandas - Manipulação e análise de dados
- Http - Realizar requisições HTTP
- Statsmodels - Estimativa de dados através de modelos
- Matplot - Plotar gráficos

Através da plataforma web, foi escolhido um equipamento dentre os 122 selecionados para iniciar a parametrização do código em Python para análise dos dados. O sensor escolhido possui dados em ciclo estável e uma anomalia é percebida.

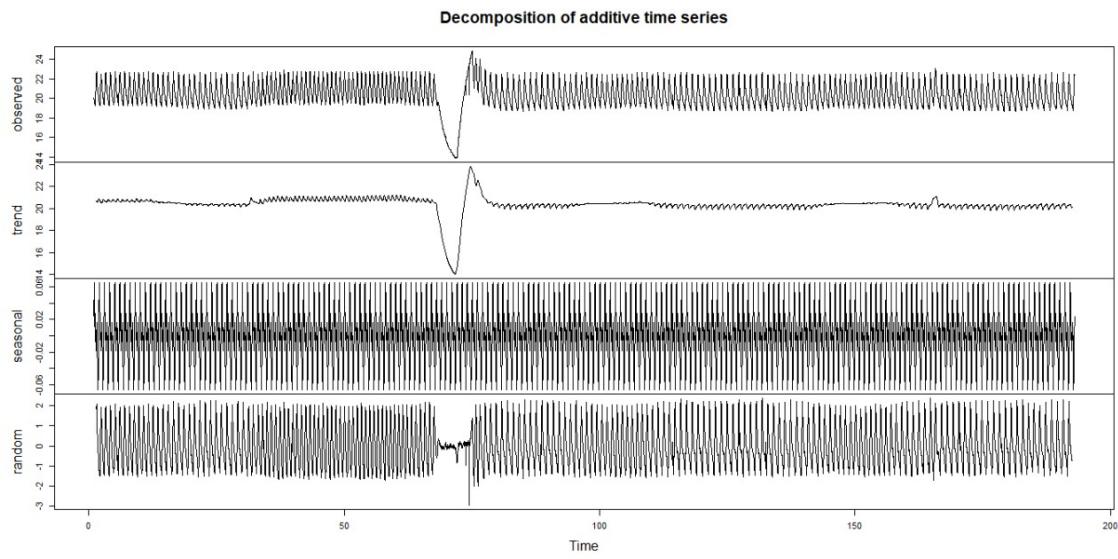


Figura 4.2: Gráfico de decomposição

Observa-se que os dados seguem um padrão apesar de possuir um pico ao longo da série, com isso, temos uma sazonalidade constante, resíduos que foram de fato afetados pelo pico, mas também possuem uma característica de constante.

A escolha deste cenário possibilitou a validação do alvo percorrido por esta pesquisa, a previsão da temperatura mesmo em casos de instabilidade. Para a coleta de dados e utilização no Google Colab foi utilizada a biblioteca http do Python para importar os dados através da API (Application programming interface) desenvolvida na plataforma PHP.

Após importação dos dados, foram analisados alguns parâmetros como a autocorrelação. Os dados apresentaram um perfil cíclico conforme demonstrado na Figura 4.2.

De acordo com o teorema central do limite, temos um  $n$  suficientemente grande, ao qual tem-se a suposição de normalidade atendida.

## 4.2 Modelagem de dados

Para iniciar a modelagem de dados, utilizou-se o ACF e o PACF para determinar os fatores de correção a serem utilizados nos modelos. Conforme demonstrado na Figura 4.3 será utilizado índice auto-regressivo igual a 1, o que significa que a função de auto-correlação será utilizada para determinar a ordem do termo de média móvel.

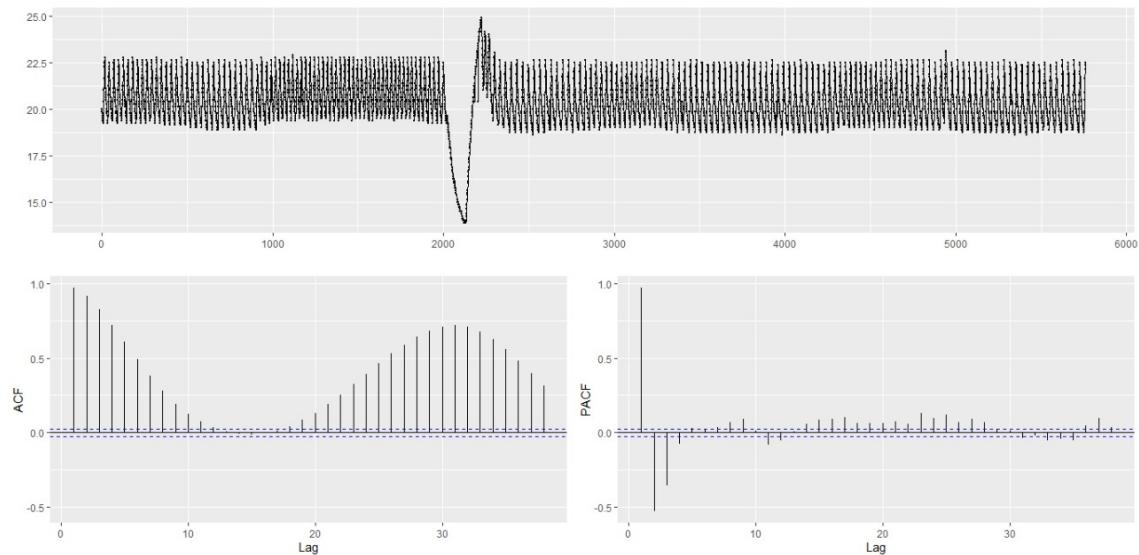


Figura 4.3: Autocorrelação da massa de dados

Foram testados 3 modelos diferentes para predição de dados:

- AR - Autoregressive
- ARMA - Autoregressive moving average
- ARIMA - Autoregressive integrated moving average

Na primeira simulação com o modelo AR, foi configurada uma janela de aprendizado de 120 minutos para projetar a temperatura dos ciclos seguintes. Após execução da predição a partir do modelo AR, obteve-se o seguinte resultado (Figura 4.4):

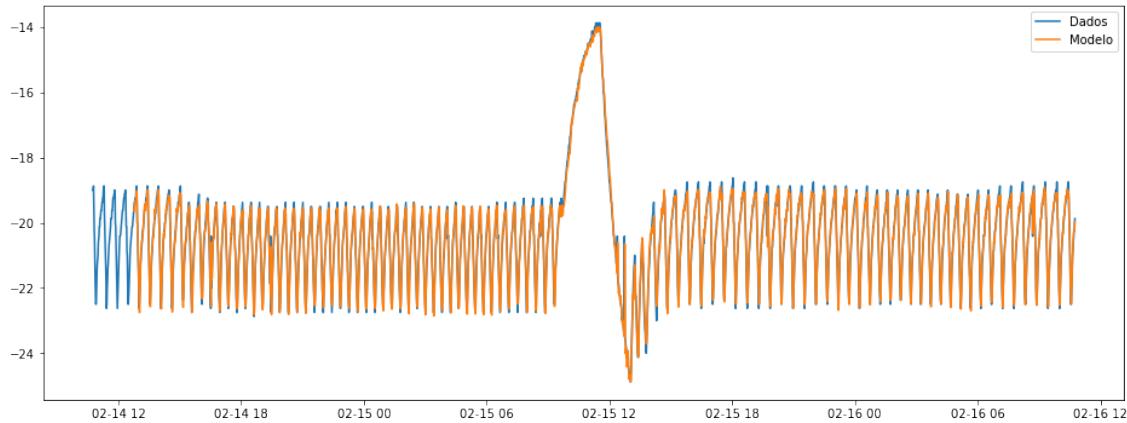


Figura 4.4: Modelagem de dados utilizando algoritmo AR

Com este modelo, obteve-se o erro quadrático médio de 0.05590729565537138 que é satisfatório para a aplicação que esta pesquisa deseja realizar.

Para fins comparativos, o modelos ARMA foi parametrizado e a mesma fonte de dados do modelo AR foi utilizada para treinamento e teste do modelo. Para o treinamento foram utilizados 2/3 dos registros e para teste o restante dos dados.

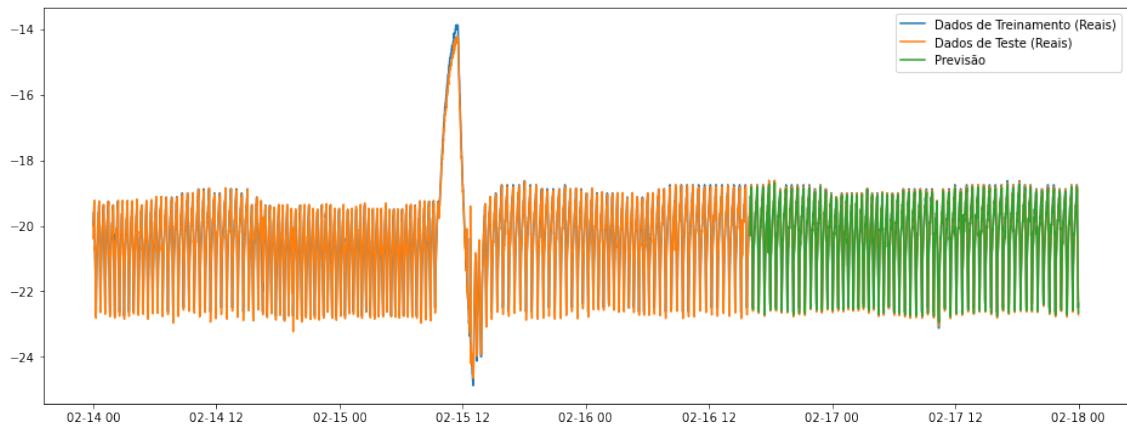


Figura 4.5: Modelagem de dados utilizando algoritmo ARMA

Já neste modelo, obteve-se o erro quadrático médio de 0.05264543882656802 ainda menor que o erro apresentado pelo modelo AR.

Conforme explicado anteriormente no Capítulo 2, o modelo ARIMA se adequa melhor à séries temporais não estacionárias que são conjuntos de dados que apresentam mudanças ou variações significativas ao longo do tempo.

Os valores de temperatura registrados ao longo do tempo em um freezer utilizado para o armazenamento de vacinas podem ser considerados como séries temporais não estacionárias. Essa não estacionaridade se deve a diversas influências dinâmicas no funcionamento do freezer, tais como abertura e fechamento da porta, flutuações nas condições ambientais, ajustes no termostato e até mesmo a quantidade de vacinas armazenadas. Essas variações de temperatura não seguem um padrão constante ou previsível, o que as caracteriza como não estacionárias. Além disso, é

importante considerar que o mau fechamento do freezer ou outros defeitos podem também contribuir para essas variações, embora esses defeitos específicos não tenham sido detalhadamente catalogados neste contexto. A influência da região geográfica sobre os dados de temperatura do freezer não foi mencionada na análise, mas é um fator relevante que poderia impactar os resultados, uma vez que diferentes climas e ambientes podem afetar as condições internas do freezer e, consequentemente, os dados de temperatura registrados.

Além disso, com base nos gráficos de ACF e PACF (Figura 4.3) podemos dizer que o modelo que se molda aos dados é ARIMA(3,1,12). Conforme explicado em [37] se o gráfico de ACF decai gradualmente e o gráfico de PACF apresenta uma queda abrupta após a primeira defasagem, pode ser indicado um modelo ARIMA.

Desta forma a predição dos dados será feita com base neste modelo.

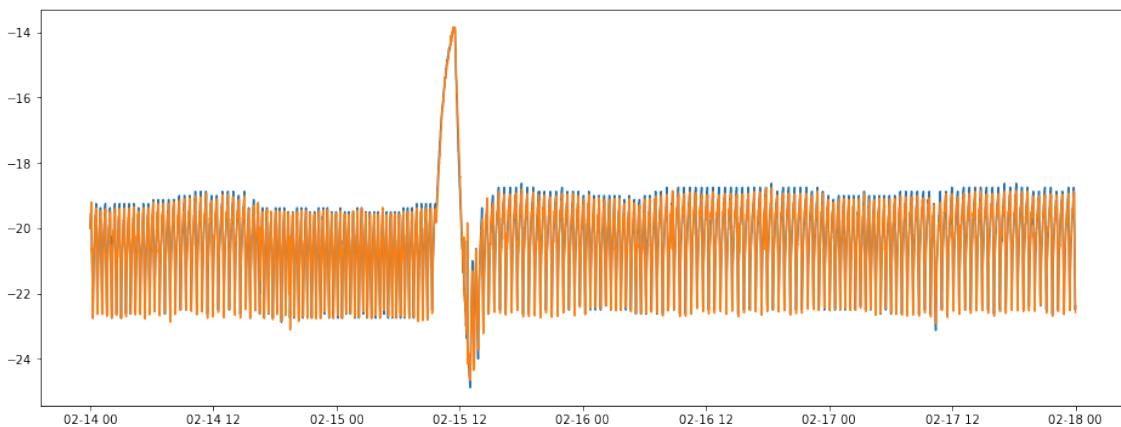


Figura 4.6: Modelagem de dados utilizando algoritmo ARIMA

Utilizando o modelo, foi realizada a projeção dos dados para 10 minutos à frente do fim da massa de dados. Com isso, o modelo previu 10 registros e foi obtido o seguinte resultado:

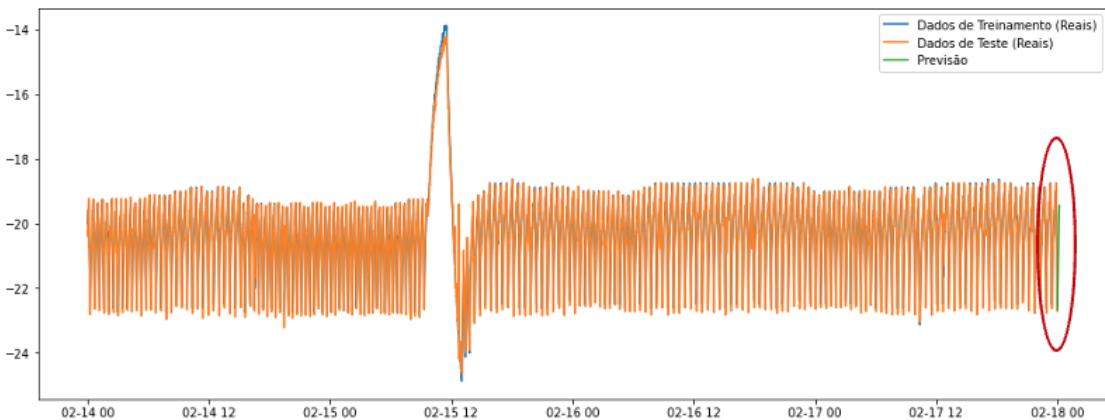


Figura 4.7: Peredição de dados a partir do modelo ARIMA

Na Figura 4.7, pode-se perceber, em verde, a curva de temperatura projetada a partir do modelo matemático. Após predição destes dados foi realizada comparação dos dados projetados

com dados medidos reais coletados após amostragem inicial de dados. Os seguintes resultados foram encontrados:

Data e Hora	Val. Previstos	Val. Medidos (Reais)	Erro
18/02/2022 00:00	-22,2551	-21,8750	0,6199
18/02/2022 00:01	-21,9963	-21,6250	0,6287
18/02/2022 00:02	-21,6878	-21,2500	0,5622
18/02/2022 00:03	-21,3038	-21,0000	0,6962
18/02/2022 00:04	-20,8640	-20,8750	0,0110
18/02/2022 00:05	-20,4115	-20,6250	0,2135
18/02/2022 00:06	-20,0231	-20,3750	0,3519
18/02/2022 00:07	-19,7114	-20,2500	0,5386
18/02/2022 00:08	-19,4673	-20,2500	0,7827
18/02/2022 00:09	-19,2764	-20,0000	0,7236
18/02/2022 00:10	-19,1526	-19,8750	0,7224

Tabela 4.2: Comparativo de dados projetados e medidos

Para fins práticos, a predição de 10 minutos é insuficiente pois dificultará a tomada de decisão caso alguma anomalia na temperatura seja prevista. Porém, com a frequência dos dados em minutos, ao projetar 6 horas de dados a frente o modelo tende à se aproximar da media da série, conforme demonstra a Figura 4.8. Este fenômeno será reduzido com a chegada de mais dados que alimentará o modelo melhorando suas projeções.

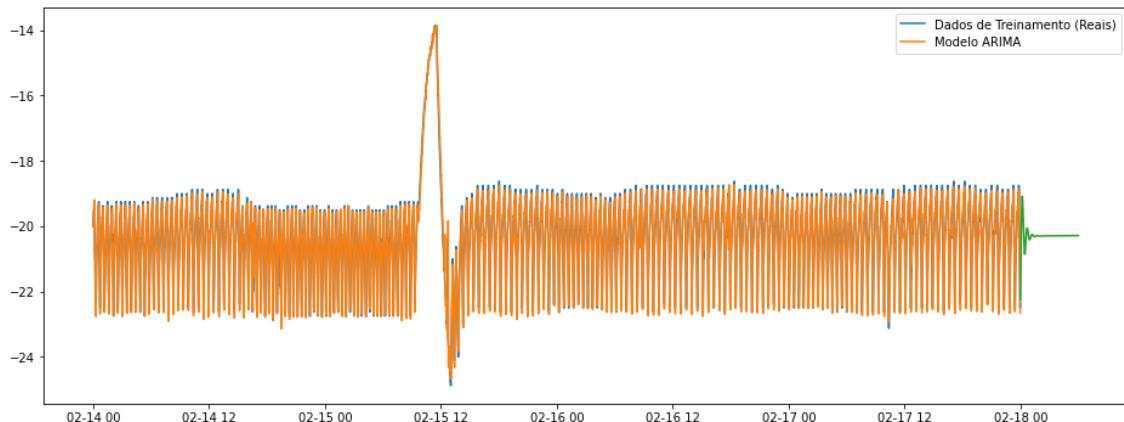


Figura 4.8: Predição de 6 horas de dados a partir do modelo ARIMA

Uma alternativa é o agrupamento dos dados de entrada ao modelo com uma periodicidade maior para que a janela de predição possua um intervalo que possibilite a tomada de decisão após notificação.

Desta forma, os dados de entrada foram agrupados (mediana) com frequência de 30 minutos para possibilitar, caso seja identificado algum indício de anomalia, enviar a notificação em tempo hábil facilitando a tomada de decisão pelo responsável do setor.

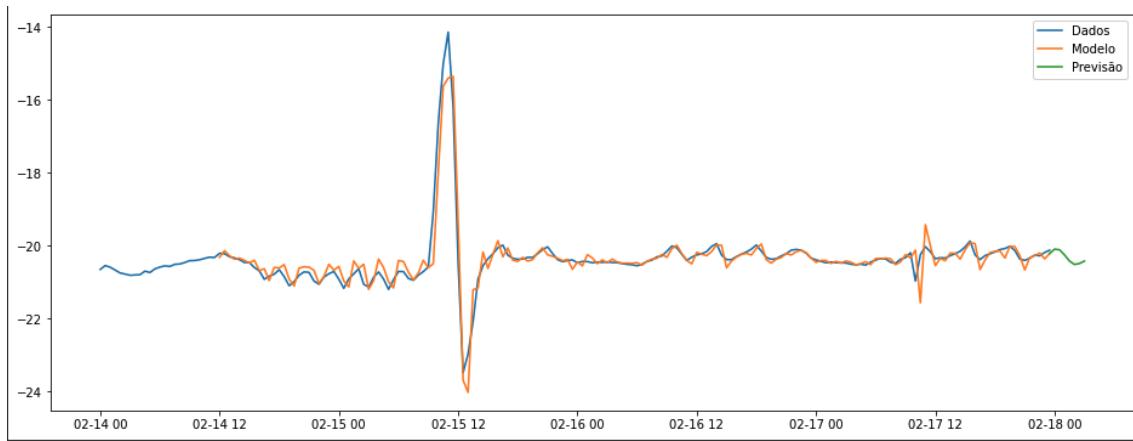


Figura 4.9: Predição de 3 horas de dados com frequência de 30 minutos a partir do modelo ARIMA

O modelo foi aplicado na massa de dados agrupados a cada 30 minutos e obteve-se o demonstrado na Figura 4.9 com erro quadrático de 0.02448108857967491.

Para melhoria da modelagem, foi realizada análise da sazonalidade da série. Realizando uma diferença sazonal (Figura 4.10) não obtivemos resultado melhor dos modelos tendo em vista o erro quadrático médio que resultou em 0.0566 (ARIMA(4,1,2)), valor maior que o obtido no modelo ARIMA(3,1,12).

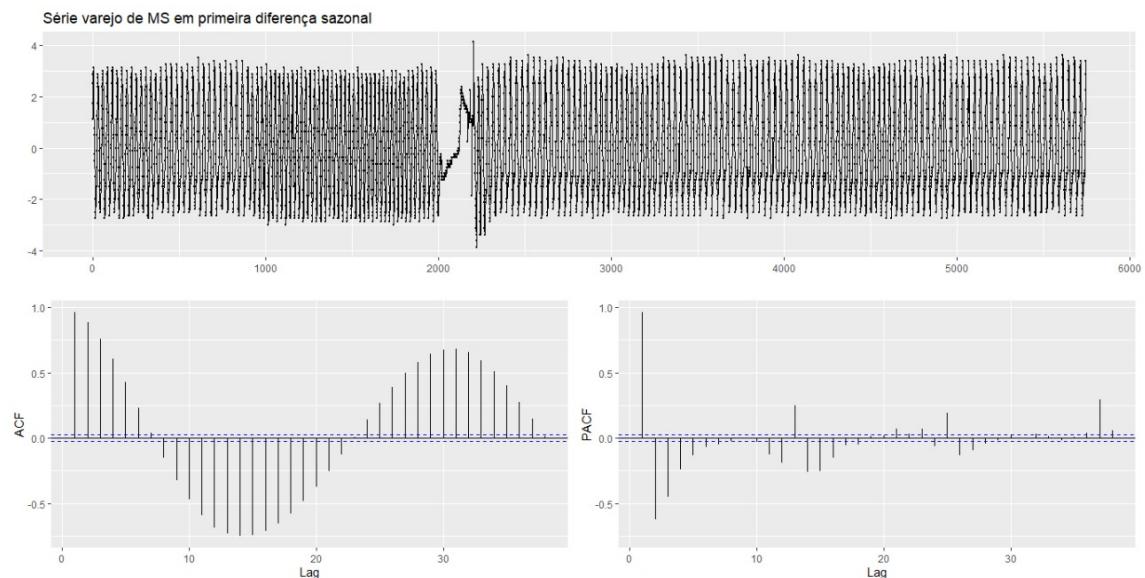


Figura 4.10: Primeira Diferença Sazonal

O modelos ARIMA(3,1,12) foi testado em curvas de temperatura mais complexas e com mais ruídos e apresentou um baixo erro quadrático aos dados de treinamento como demonstra a imagem 4.11

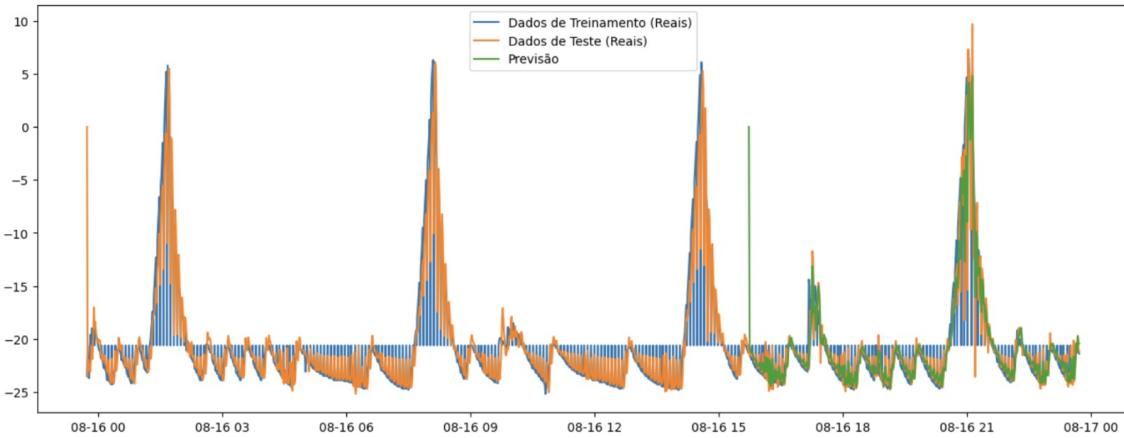


Figura 4.11: Curva de temperatura com predição de dados em frequência de 1 minuto

Desta forma, o algoritmo foi testado ainda em ambiente colab em outros 37 equipamentos e foram obtidos os seguintes erros quadráticos médios:

Tabela 4.3: Erros Quadráticos para 37 Equipamentos Monitorados

Equipamento	Erro Quadrático
Equipamento 1	0.0344
Equipamento 2	0.0214
Equipamento 3	0.0404
Equipamento 4	0.0164
Equipamento 5	0.0384
Equipamento 6	0.0254
Equipamento 7	0.0324
Equipamento 8	0.0174
Equipamento 9	0.0294
Equipamento 10	0.0234
Equipamento 11	0.0424
Equipamento 12	0.0184
Equipamento 13	0.0374
Equipamento 14	0.0224
Equipamento 15	0.0414
Equipamento 16	0.0154
Equipamento 17	0.0274
Equipamento 18	0.0364
Equipamento 19	0.0204
Equipamento 20	0.0394
Equipamento 21	0.0264
Equipamento 22	0.0354
Equipamento 23	0.0314

Tabela 4.3: Erros Quadráticos para 37 Equipamentos Monitorados

<b>Equipamento</b>	<b>Erro Quadrático</b>
Equipamento 24	0.0284
Equipamento 25	0.0334
Equipamento 26	0.0434
Equipamento 27	0.0194
Equipamento 28	0.0454
Equipamento 29	0.0244
Equipamento 30	0.0444
Equipamento 31	0.0214
Equipamento 32	0.0464
Equipamento 33	0.0174
Equipamento 34	0.0474
Equipamento 35	0.0254
Equipamento 36	0.0484
Equipamento 37	0.0234

Ao aplicar o modelo ARIMA em diferentes equipamentos, observamos uma variação muito sutil e totalmente aceitável nos valores de erro quadrático. Essa consistência nos resultados é especialmente relevante quando consideramos a precisão do sensor DS18B20 utilizado no estudo. Através desses exemplos, confirmamos que o modelo ARIMA demonstrou ser robusto e estável, mantendo um nível de acurácia similar para diferentes equipamentos.

Essa consistência nos resultados fortalece a confiança na capacidade do modelo de prever com precisão os padrões de dados dos equipamentos monitorados, mesmo quando aplicado a diferentes contextos. Isso reforça a utilidade do modelo ARIMA como uma ferramenta valiosa para a análise e previsão de dados provenientes de equipamentos sensíveis à variação de temperatura, contribuindo para a tomada de decisões informadas e eficazes.

# Capítulo 5

## Conclusão e Trabalhos Futuros

A constatação da lacuna tecnológica no setor de saúde, particularmente no que diz respeito ao monitoramento da cadeia do frio, não pode ser subestimada. A aplicação do sistema proposto neste estudo poderia significativamente mitigar o desperdício de vacinas, um problema recorrente. Além de sua aplicabilidade em imunizantes, essa abordagem poderia abranger o controle de medicamentos, produtos alimentícios, entre outros itens termolábeis, como embalagens sensíveis à temperatura.

Quando se trata de perspectivas futuras, vislumbra-se um horizonte promissor ao considerar a adaptação do algoritmo desenvolvido para funcionar em um ambiente de computação em nuvem. Essa aplicação poderia oferecer notificações em tempo real direcionadas aos usuários da plataforma, aprimorando assim a capacidade de resposta a anomalias. No entanto, a concretização dessa etapa requereria a construção de um ecossistema robusto para gerenciamento de acessos e notificações, possibilitando alertas precoces por meio de diversos canais, como SMS, notificações push e e-mails. Um ecossistema sólido de gerenciamento de acessos e notificações compreende uma infraestrutura bem integrada que engloba autenticação segura, armazenamento de dados, serviços de mensagens em tempo real para entrega de alertas através de diversos canais, configurações de usuário, monitoramento, segurança avançada, escalabilidade, integração com terceiros e manutenção constante. Esse ecossistema visa garantir a entrega eficiente e segura de notificações aos usuários, possibilitando a personalização das preferências de alertas e uma resposta rápida a eventos críticos.

Outro aspecto relevante é a exploração de outros parâmetros e equipamentos críticos na área de saúde. Por exemplo, a mesma abordagem pode ser aplicada no monitoramento de linhas de gases em ambientes hospitalares. Isso envolveria a medição da pressão de gases vitais como oxigênio, óxido nitroso e vácuo. Essa expansão potencial demonstra a versatilidade e a relevância contínua do trabalho realizado, com potencial para melhorar a eficácia e a segurança em diversos contextos da área de saúde.

Assim, o estudo não só evidencia a necessidade de avanços tecnológicos na cadeia do frio no setor de saúde, mas também aponta para um cenário futuro mais promissor, com a ampliação da

abrangência e eficácia das medidas de monitoramento e controle.

# Referências Bibliográficas

- [1] CROSEWSKI, F.; LAROCCA, L. M.; CHAVES, M. M. N. Avoidable losses of immuno-biologicals in the local instance: reflections on the nursing work process. *Saúde em Debate*, SciELO Brasil, v. 42, p. 203–213, 2018.
- [2] ORGANIZATION, W. H. et al. *Temperature sensitivity of vaccines*. [S.l.], 2006.
- [3] DOMINGUES, C. M. A. S. et al. 46 anos do programa nacional de imunizações: uma história repleta de conquistas e desafios a serem superados. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Brasil, v. 36, 2020.
- [4] IMUNIZAÇÕES, C. G. do Programa Nacional de. Manual de rede de frio. Ministério da Saúde, 2017.
- [5] PEREIRA, D. D. d. S. et al. Analysis of the utilization rate and loss of vaccines in the national immunization program. *Cadernos Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 21, p. 420–424, 2013.
- [6] PATINE, F. d. S. et al. Analysis of vaccine loss due to temperature change. *Revista Brasileira de Enfermagem*, SciELO Brasil, v. 74, 2021.
- [7] GUIMARÃES, E. A. d. A. et al. Eventos críticos na manutenção da conservação de vacinas. *Rev. enferm. UFPE on line*, p. 1781–1789, 2018.
- [8] LLOYD, J.; CHEYNE, J. The origins of the vaccine cold chain and a glimpse of the future. *Vaccine*, Elsevier, v. 35, n. 17, p. 2115–2120, 2017.
- [9] GHAFUR, S. et al. A retrospective impact analysis of the wannacry cyberattack on the nhs. *NPJ digital medicine*, Nature Publishing Group, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2019.
- [10] PAMBUDI, N. A. et al. Vaccine cold chain management and cold storage technology to address the challenges of vaccination programs. *Energy Reports*, Elsevier, v. 8, p. 955–972, 2022.
- [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.

- [12] IZIKKI, K.; ALAMI, J. E.; HLYAL, M. The use of the internet of things in the cold chain logistics for a better vaccine transportation: A state of the art. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Innovative Research in Science Engineering and Technology, Milan, Italy*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 7–9.
- [13] GOODARZIAN, F. et al. Designing an integrated responsive-green-cold vaccine supply chain network using internet-of-things: artificial intelligence-based solutions. *Annals of Operations Research*, Springer, p. 1–45, 2022.
- [14] SOUTO, A. C. Processo de gestão na agência nacional de vigilância sanitária—anvisa. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, como parte . . . , 2007.
- [15] JADON, S.; MILCZEK, J. K.; PATANKAR, A. Challenges and approaches to time-series forecasting in data center telemetry: A survey. *arXiv preprint arXiv:2101.04224*, 2021.
- [16] FAKHRAZEEV, A. R.; ROLICH, A. Y.; VOSKOV, L. S. Big telemetry data processing in the scope of modern internet of things. In: IEEE. *2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*. [S.l.], 2018. p. 1–4.
- [17] PERERA, C. et al. A survey on internet of things from industrial market perspective. *IEEE Access*, IEEE, v. 2, p. 1660–1679, 2014.
- [18] YEW, H. T. et al. Iot based real-time remote patient monitoring system. In: IEEE. *2020 16th IEEE international colloquium on signal processing & its applications (CSPA)*. [S.l.], 2020. p. 176–179.
- [19] GUBBI, J. et al. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.
- [20] WÓJCICKI, K. et al. Internet of things in industry: Research profiling, application, challenges and opportunities—a review. *Energies*, MDPI, v. 15, n. 5, p. 1806, 2022.
- [21] GULATI, K. et al. A review paper on wireless sensor network techniques in internet of things (iot). *Materials Today: Proceedings*, Elsevier, v. 51, p. 161–165, 2022.
- [22] PAN, J. et al. An internet of things framework for smart energy in buildings: designs, prototype, and experiments. *IEEE internet of things journal*, IEEE, v. 2, n. 6, p. 527–537, 2015.
- [23] DWIVEDI, S. K. et al. Blockchain-based internet of things and industrial iot: A comprehensive survey. *Security and Communication Networks*, Hindawi Limited, v. 2021, p. 1–21, 2021.
- [24] ISLAM, M. M. et al. Internet of things: Device capabilities, architectures, protocols, and smart applications in healthcare domain. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 3611–3641, 2022.
- [25] BENGIOVANNI, T. et al. Risk management and healthcare: Iot technologies and smart monitoring system for a good cold chain management. In: IEEE. *2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*. [S.l.], 2020. p. 1–6.

- [26] CHOI, S. Y.; KIM, S. H. Finding the simple rule for diagnosing the operation fault of freezer. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, v. 8, n. 1, 2019.
- [27] WANG, D.; ZHANG, L.; ZHANG, S. Evaluation model of refrigerator cooling performance. In: IEEE. *2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. [S.I.], 2017. p. 1565–1569.
- [28] HOSSEINI, S. S. et al. A practical approach to residential appliances on-line anomaly detection: a case study of standard and smart refrigerators. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 57905–57922, 2020.
- [29] WANGANOO, L.; SHUKLA, V. K. Real-time data monitoring in cold supply chain through nb-iot. In: IEEE. *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. [S.I.], 2020. p. 1–6.
- [30] BERGONZI, L. et al. Data and knowledge in iiot-based maintenance application. In: AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. [S.I.], 2017. v. 58462, p. V011T15A029.
- [31] ROMEIRO, L. A. et al. Low-cost monitoring device for cold-chain using edge computing. In: IEEE. *2021 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*. [S.I.], 2021. p. 274–279.
- [32] MOURTZIS, D.; ANGELOPOULOS, J.; PANOPoulos, N. Design and development of an iot enabled platform for remote monitoring and predictive maintenance of industrial equipment. *Procedia Manufacturing*, Elsevier, v. 54, p. 166–171, 2021.
- [33] SOLTANI, Z. et al. Fault detection and diagnosis in refrigeration systems using machine learning algorithms. *International Journal of Refrigeration*, Elsevier, v. 144, p. 34–45, 2022.
- [34] MINSKY, M. L. Semantic information processing. 1968.
- [35] AL-QARNI, E. A. Cybersecurity in healthcare: A review of recent attacks and mitigation strategies. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Science and Information (SAI) Organization Limited, v. 14, n. 5, 2023.
- [36] WEBER, S. et al. Attack detection for medical cyber-physical systems-a systematic literature review. *IEEE Access*, IEEE, 2023.
- [37] SHUMWAY, R. H.; STOFFER, D. S.; STOFFER, D. S. *Time series analysis and its applications*. [S.I.]: Springer, 2000.

# Apêndice A

## Código Python - Código de análise estatística para predição de falhas

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """DROME - An lise de dados.ipynb
3
4 Automatically generated by Colaboratory.
5
6 ## AN LISE DE DADOS DE SENSORES DE TEMPERATURA DE EQUIPAMENTOS ULTRA-
7 LOW DO SENAI CIMATEC BAHIA
8
9 1. IMPORTANDO ARQUIVO DE DADOS DO SENSOR ESCOLHIDO
10 2. CONVERTENDO A COLUNA DATA PARA FORMATO DE DATETIME64 DO PYTON
11 3. COLOCANDO A DATA_HORA COMO INDICE DA S RIE
12
13 """
14
15 import pandas as pd
16 import urllib3
17 import certifi
18 from urllib3 import request
19 import json
20 import matplotlib.pyplot as plt
21
22 http = urllib3.PoolManager(cert_reqs='CERT_REQUIRED', ca_certs=certifi
23 .where())
24
25 url = 'https://sistema.drome.com.br/api/getSensorsData?id_sensor=888&
26 timestamp_inicial=1643670000&timestamp_final=1646092799&token=[
27 TOKEN]'
28 r = http.request('GET', url)
29 r.status
```

```

25
26 data = json.loads(r.data.decode('utf-8'))
27 temp = pd.json_normalize(data)
28 temp = temp[["data_hora", "valor"]]
29 temp.data_hora = pd.to_datetime(temp.data_hora, unit='s')
30 temp.valor = pd.to_numeric(temp.valor)
31 temp.set_index("data_hora", inplace=True)
32 filtro = (temp.valor != -1000) & (temp.index >= '2022-02-14 00:00') &
33     (temp.index <= '2022-02-17 23:59')
34 temp = temp[filtro]
35 temp.info()
36 temp.head()
37 temp = temp.resample("T").median()
38 temp = temp.fillna(temp.mean())
39 temp.head()
40
41 #from google.colab import files
42 #temp.to_csv('temp.csv')
43 #qfiles.download('temp.csv')
44
45 """PLOTANDO A CURVA DE TEMPERATURA IMPORTADA E CONVERTIDA
46 Aplicando filtro para reduzir o tamanho dos dados por conta do ruído
        (Tratar isso depois)
47 """
48
49 temp.valor.plot(figsize=(16, 6))
50
51 """APLICANDO DIFERENÇAS PARA ANALISAR A SAZONALIDADE DA SÉRIE"""
52
53 temp.valor.diff().plot(figsize=(16, 6))
54
55 """APRESENTANDO SAZONALIDADE POR HORA DO DIA"""
56
57 temp.diff().groupby(temp.index.hour).mean().plot(kind='bar', figsize
      =(16, 6))
58
59 """CALCULANDO A AUTOCORRÉLAÇÃO DOS DADOS EM 1 HORA
60
61 DADOS APRESENTAM BOA CORRÉLAÇÃO E DEMONSTRA UM PERFIL CÍCLICO
62 """
63
64 import pandas.util.testing as tm
65 from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_acf

```

```

66 from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_pacf
67
68 plt.figure(figsize=(16, 6))
69 plot_acf(temp['valor'], lags=60)
70 plt.show()
71
72 """PLOTANDO O HISTOGrama PARA VALIDAR QUE OS DADOS OBEDECem UMA
    DISTRIBUI O NORMAL"""
73
74 temp['valor'].plot(kind='kde')
75 plt.show()
76
77 #temp = temp.resample("30min").median()
78 #temp = temp.fillna(temp.mean())
79 #temp.head()
80
81 """RODANDO TESTE PARA VALIDAR QUE OS DADOS PERTECEm UMA
    DISTRIBUI O NORMAL"""
82
83 import scipy.stats as stats
84
85 skew = stats.skew(temp['valor'])
86 print(skew)
87
88 from scipy.stats import normaltest
89 stat, p = normaltest(temp['valor'])
90 #p < 0.05 indica que a distribui o n o uma normal
91 print(p)
92
93 ad_stat, ad_critico, ad_teorico = stats.anderson(temp['valor'], 'norm')
94 print(ad_stat)
95 print(ad_critico)
96 print(ad_teorico)
97
98 #ad_stat > que ad_critico[2] indica que a distribui o n o uma
    normal
99
100 """**TESTANDO MODELO AR**"""
101
102 from statsmodels.tsa.ar_model import AR
103
104 ar_1 = AR(temp.valor, freq='T').fit(24)
105

```

```

106 print((ar_1.resid ** 2).mean())
107
108 ar_1.resid.describe()
109
110 ar_1.resid.plot(kind='box')
111
112 """**TESTANDO MODELO ARMA**"""
113
114 from statsmodels.tsa.arima_model import ARMA
115
116 arma = ARMA(temp['valor'], freq='T', order=(2,2)).fit()
117
118 plt.figure(figsize=(16,6))
119 plt.plot(temp['valor'])
120 plt.plot(arma.predict())
121
122 n = len(temp.valor)
123 train_size = int(n * 2/3)
124 train_set = temp.valor[:train_size]
125 test_set = temp.valor[train_size:]
126
127 # plt.figure(figsize=(16, 6))
128 # plt.plot(train_set)
129 # plt.plot(test_set)
130
131 arma_train = ARMA(train_set, freq='T', order=(2,2)).fit()
132 arma_test = ARMA(test_set, freq='T', order=(2,2)).fit(arma_train.
    params)
133
134 print((arma_test.resid ** 2).mean())
135
136 plt.plot(arma_test.predict(start='2022-02-18 00:00:00', end='
    2022-02-18 01:00:00'))
137 plt.legend(['Dados de Treinamento (Reais)', 'Dados de Teste (Reais)', '
    Previsão'])
138
139 print(arma_test.forecast())
140
141 #print(arma_test.predict(start='2022-02-18 00:00:00', end='2022-02-18
    01:00:00').to_csv())
142
143 """**TESTANDO MODELO ARIMA**"""
144
145 from statsmodels.tsa.arima_model import ARIMA

```

```

146
147 arima = ARIMA(temp.valor, freq='T', order=(3,1,10)).fit()
148
149 print((arima.resid ** 2).mean())
150
151 plt.figure(figsize=(16,6))
152 plt.plot(temp['valor'])
153 plt.plot(arima.predict(typ='levels'))
154 print(arima.forecast())
155 plt.legend(['Dados de Treinamento (Reais)', 'Modelo ARIMA', 'Previsão'])
156 arima_data = arima.predict(typ='levels', start='2022-02-18 00:00:00',
157                             end='2022-02-18 06:00:00')
158 plt.plot(arima_data)
159 #print(arima_data.to_csv())
160
161 from statsmodels.tsa.arima_model import ARMA
162
163 temp = temp.resample("30min").median()
164 temp = temp.fillna(temp.mean())
165 temp.head()
166
167 arma = ARMA(temp['valor'], freq='30min', order=(2,2)).fit()
168
169 plt.figure(figsize=(16,6))
170 plt.plot(temp['valor'])
171 plt.plot(arma.predict())
172
173 n = len(temp.valor)
174 train_size = int(n * 2/3)
175 train_set = temp.valor[:train_size]
176 test_set = temp.valor[train_size:]
177
178 # plt.figure(figsize=(16,6))
179 # plt.plot(train_set)
180 # plt.plot(test_set)
181
182 arma_train = ARMA(train_set, freq='30min', order=(2,2)).fit()
183 arma_test = ARMA(test_set, freq='30min', order=(2,2)).fit(arma_train.params)
184 print((arma_test.resid ** 2).mean())
185

```

```
186 plt.plot(arma_test.predict(start='2022-02-18 00:00:00', end='
187     2022-02-18 01:00:00'))
188 plt.legend(['Dados de Treinamento (Reais)', 'Dados de Teste (Reais)', '
189     Previsão'])
190
191 print(arma_test.forecast())
192 pd.set_option('display.max_rows', temp.shape[0]+1)
193 print(forecast.to_csv())
```