

# PLATAFORMA IoT PARA PREDIÇÃO DE FALHAS EM CONGELADORES ATRAVÉS DE MODELO AUTO-REGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIA MOVEL (ARIMA)

Bruno Soares Rabelo<sup>1</sup>, Luciano Moura<sup>2</sup>, Verônica Souza dos Santos<sup>1</sup>,  
Francisco L. de Caldas Filho<sup>1</sup>, Rafael T. de Sousa Jr<sup>1</sup> e Fábio Lúcio Lopes de Mendonça<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Brasília - UnB, Brasil

<sup>2</sup>Caixa Seguradora, Brasil

## RESUMO

A estrutura geral das redes da Internet das Coisas (IoT) mantém-se como um assunto interessante para pesquisa e inovação, particularmente para responder aos desafios do monitoramento geral de dispositivos em redes. Este artigo trata da estrutura e funcionamento de uma plataforma de IoT proposta para o monitoramento preventivo e contínuo da temperatura interna em congeladores a temperatura ultrabaixa (*ultralow temperature freezers*), utilizados em armazenamento de vacinas. Na operação desses dispositivos, é relevante investigar a questão da predição de falhas e paradas inesperadas através de tecnologias de inteligência artificial. Assim, a proposta deste artigo é a criação, por concepção conjunta de hardware e software, de um modelo de sistema IoT composto por dispositivos para coleta local de dados com sensores de temperatura nos congeladores, com envio dos dados coletados por intermédio de um middleware IoT para um servidor em nuvem que consolida a coleta de dados dos dispositivos e realiza o monitoramento contínuo (24/7) de temperatura em congeladores. Essa aplicação IoT procura identificar indícios de falha através da utilização de métodos estatísticos com algoritmos específicos, utilizando modelos preditivos para séries temporais. A validação da proposta utiliza dados de congeladores que se encontram distribuídos em diversas instituições de saúde no Brasil, sendo este o cenário para a utilização do sistema IoT proposto.

## PALAVRAS-CHAVE

IoT, Inteligência Artificial, Séries Temporais, Análise Preditiva, Congeladores de Ultrabaixa Temperatura, Conservação de Vacinas

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a vacinação demonstrou-se o método com maior eficácia e custo-benefício no combate a doenças transmissíveis, pois resulta em redução comprovada do número de hospitalizações, o que é associado a custos elevados de medicamentos e da infraestrutura da rede de saúde para tratamento dessas doenças (CROSEWSKI, Fernanda et al; 2018).

Nesse sentido, em 1973 foi criado no Brasil o Programa Nacional de Imunizações (PNI) com o objetivo principal de coordenação nacional das ações de imunização. O PNI vem guiando as diversas etapas que compõem o processo de vacinação no país (DOMINGUES, Carla Magda et al; 2020), o que inclui a especificação do Manual da Rede de Frio, referenciado a partir das normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, das 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 (Ministério da Saúde; 2017).

Um estudo realizado em 2013 (PEREIRA, D. D. S. et al; 2013) 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 (PATINE, Flávia dos Santos et al; 2021), analisou as perdas de vacinas em uma Região de Saúde do Nordeste Paulista. 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 a 2017. Neste estudo observou-se uma perda de 41,4% das doses distribuídas, sendo 70,1% das perdas por motivos estruturais.

A Organização Mundial de Saúde, relata em (WORLD HEALTH ORGANIZATION et al; 2006) 16 tipos de imunizantes que devem obrigatoriamente serem armazenados entre 2°C e 8°C. Dentre as vacinas citadas, encontram-se algumas bem difundidas como BCG (Tuberculose), Hepatite B, Meningocócica, etc. Entretanto, algumas vacinas precisam de temperaturas entre -15°C e -25°C em alguma etapa da cadeia do frio para que suas propriedades sejam preservadas.

Já em (GUIMARÃES, Eliete Albano de Azevedo et al; 2018), 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 se vinculam à 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, impôs-se a necessidade do monitoramento contínuo da cadeia do frio nos processos ligados à produção, estoque e distribuição de imunizantes (LLOYD, John; CHEYNE, James; 2018). Os primeiros métodos de monitoramento, que surgiram em 1976, eram baseados em registros manuais e periódicos em papel, apenas grandes instituições possuíam registradores automáticos em discos giratórios de papel (LLOYD, John; CHEYNE, James; 2018). Esse método de registro, de forma manual e periódica, é utilizado até hoje em diversas unidades de imunização (PATINE, Flávia dos Santos et al; 2021).

Mas, por volta de 1980, algumas empresas nos EUA desenvolveram métodos de indicadores automáticos da exposição de vacinas à temperatura inadequada, métodos baseados em reações químicas e mudança na coloração de rótulos e embalagens (CHOI, Seung Yeoun et al; 2019). Estes sistemas se mostraram mais confiáveis que o método pioneiro, mas ainda não garantiam a rastreabilidade necessária, por não identificar o momento exato da exposição nem preservar os dados históricos de temperatura. Após 20 anos, os mesmos criadores desenvolveram um dos primeiros sistemas de monitoramento de temperatura remoto e contínuo baseado na Internet (LLOYD, John; CHEYNE, James; 2018).

Essa evolução indica a necessidade de avançar no desenvolvimento de soluções tecnológicas para área de monitoramento contínuo da rede de frio que tragam maior confiabilidade e precisão, dando oportunidade para o emprego de inteligência artificial e internet das coisas nesse domínio.

Por tais razões, este trabalho propõe e valida uma plataforma IoT capaz de monitorar os refrigeradores da cadeia do frio, 24 horas por dia durante os 7 dias da semana. Nessa proposta, o monitoramento usa dispositivos compostos de uma sonda de temperatura e unidades de comunicação, unidades que são respectivamente responsáveis por coletar os dados da temperatura interna dos equipamentos e enviá-los via middleware IoT aos servidores onde serão processados e armazenados. Por sua vez, no servidor a aplicação IoT realiza a consolidação e análise dos dados com o objetivo de detectar, usando algoritmos de estatística, de forma preditiva, a tendência à falha destes refrigeradores.

Especificamente, este trabalho tem um aspecto de pesquisa aplicada, pois visa obter uma solução prática funcional para aprimorar os métodos de monitoramento da cadeia de frios usada na conservação de vacinas, buscando reduzir a ocorrência de falhas técnicas e humanas, aumentando a precisão e rastreabilidade de todo o processo. A proposta tem como requisito a aplicação homogênea em todas as etapas da cadeia de frios, desde o estoque, transporte, até distribuição de vacina para doenças imunopreveníveis.

Além da preocupação com a cadeia de frios no que diz respeito à temperatura, a inclusão de um sistema computadorizado operando na infraestrutura de rede dos hospitais e coletando dados, muitas vezes críticos, implica atender a requisitos do ponto de vista da segurança cibernética. 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 (GHAFUR, Saira et al; 2019). 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 (GHAFUR, Saira et al; 2019). Sendo assim, a

proposta apresentada neste artigo utiliza técnicas de segurança cibernética como criptografia de dados, firewall e autenticação de requisitantes para garantir os requisitos de segurança cibernética dos sistemas de saúde.

Em síntese, este trabalho tem como principal objetivo a concepção e validação de sistema de monitoramento contínuo da cadeia de frios de vacinas, baseado em princípios de IoT e computação em nuvem, capaz de garantir os níveis necessários de segurança cibernética, assegurar a rastreabilidade e, através de probabilidade e estatística, prever a quebra dos equipamentos de refrigeração responsáveis pelo armazenamento de vacinas. Assim, com alavancamento na teoria estatística sua implementação em inteligência artificial, busca-se realizar uma plataforma IoT em nuvem e com um conjunto de hardware para coleta, processamento, armazenamento e exibição de dados de temperatura, coletados em tempo real nos equipamentos de cadeia de frios dos sistemas de imunoprevenção.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem diversas propostas de sistemas de predição de falhas em unidades refrigeradoras na literatura. Em (CHOI, Seung Yeoun et al; 2019) 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, obteve respectivamente, 33% e 37.6% de chance de erro.

Em (WANG, Dong; ZHANG, Lun; ZHANG; 2017). 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 (HOSSEINI, Sayed Saeed et al; 2020) 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 (WANGANOO, Leena; SHUKLA, Vinod Kumar; 2020) 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 (BERGONZI, Luca et al; 2017). 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 (BERGONZI, Luca et al; 2017) 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 (ROMEIRO, Lucas AW et al; 2021) 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 energeticamente. Este artigo reforça a necessidade de mais emprego tecnológico na cadeia do frio com maior ênfase num correto funcionamento dos dispositivos instalados em campo.

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.

Em (HALIM, Ahmad Helmi Abdul, 2021) é desenhado um sistema de monitoramento contínuo de temperatura para conservação de vacinas da COVID-19. Nesta pesquisa, os autores se propuseram apenas a viabilizar um sistema de monitoramento contínuo de temperatura adicionando maior segurança e integridade aos dados ao usar Blockchain. Nesta pesquisa, os autores abordaram a segurança dos dados em trânsito e para

viabilizar a análise dos dados, foram usadas ferramentas e linguagens pouco comerciais, o que dificultaria a implementação do modelo proposto em ambiente computacional em nuvem.

Alguns trabalhos encontrados na literatura (KHANUJA, Gagandeep Singh, 2018) citam o uso de ARIMA aplicado à uma estrutura IoT para monitoramento da cadeia do frio em frotas de caminhões. Apesar da abordagem do modelo média móvel integrada regressiva automática, os autores não apresentam resultados da sua aplicação ou alguma abordagem preditiva.

IZIKKI, Kenza; EL ALAMI, Jamila; HLYAL, Mustapha em 2021, fizeram uma extensa revisão bibliográfica onde os trabalhos revisados abordaram requisitos e tecnologias para viabilizar o monitoramento da cadeia do frio a partir de padrões IoT. Nenhum dos trabalhos citados apresentaram soluções para, dentro de um ambiente computacional em nuvem, previsão de falhas a partir da aplicação de modelos estatísticos nos dados coletados em campo.

Desta forma, apoiado nos trabalhos encontrados na literatura, este trabalho utilizará arquitetura semelhante ao já existe e focará na análise preditiva dos dados para prever falhas antes de sua ocorrência. Isso trará um significativo aumento no tempo disponível para tomada de decisão.

### 3. PROPOSTA E MODELO DE ARQUITETURA

Este trabalho tem como um dos seus objetivos a redução de custo e simplificação da aplicação de IoT à ultra-low-temperature freezers para armazenamento de vacinas. Sendo assim, foi utilizado nesta pesquisa apenas um sensor de temperatura, no interior do equipamento. Consequentemente, a análise preditiva de falhas foi baseada em apenas uma grandeza e métodos estatísticos para análise do padrão de dados (ROMEIRO, Lucas AW et al; 2021).

Para a coleta de dados, foi projetado e prototipado um dispositivo IoT com um conjunto de hardware composto por um módulo microcontrolador ESP-32 do fabricante Expressif (**Error! Reference source not found.**). Esse microcontrolador possui duplo core de processamento, 520KB de memória RAM, capacidade de comunicação Wi-Fi e Bluetooth, um sensor calibrado de temperatura DS18B20 (**Error! Reference source not found.**), este com range de medição de  $-55$  à  $125^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de precisão) e uma fonte de alimentação 5V corrente contínua.



Figura 1. Microcontrolador ESP32



Figura 2. Sensor de temperatura DS18B20

Este hardware é controlado por um módulo desenvolvido em linguagem C++, visando a coleta dos dados de temperatura minuto a minuto com *timestamp* e envio a cada 5 minutos ao servidor em nuvem. No Hardware é feita paginação dos dados antes do envio à nuvem, o que visa salvaguardar os dados em caso de indisponibilidade do servidor ou das comunicações.

O servidor, por sua vez, é responsável por receber os dados, realizar validação, processamento e armazenamento. A aplicação, que opera *on-line*, foi desenvolvida em PHP 7.4 sob o *framework* Codeigniter, utiliza base de dados SQL e está disponível na estrutura cloud da Amazon AWS. Os dados são trafegados na base de dados através do protocolo MQTT, escolha feita visando a escalabilidade da plataforma para conexões em massa de dispositivos.



Figura 3. Arquitetura Proposta

O arranjo demonstrado na Figura 3 foi instalado em 122 equipamentos divididos em 10 grandes instituições de saúde e pesquisa do Brasil na data de 01 de setembro de 2021, conforme Tabela 1. Os critérios utilizados para a seleção dos hospitais e equipamentos foram:

- Operação nacional
- Equipamentos com faixa de operação entre  $-40$  e  $15^{\circ}\text{C}$
- Equipamentos em boas condições de operação
- Equipamentos do tipo Refrigeradores, Freezers e Ultra-freezers

Até a data de submissão do presente artigo, 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, particularmente com o identificador do sensor na base de dados (*id*) e o *timestamp* do momento de medição.

Tabela 1. Segmentação de Equipamentos

Tipo	Range	Quantidade
Refrigeradores	$-15$ à $10^{\circ}\text{C}$	91
Freezers	$-40$ à $-15^{\circ}\text{C}$	18
Ultra-freezers	$-150$ à $-40^{\circ}\text{C}$	13

Os dados coletados ficam 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). Detalhes técnicos e do desenvolvimento da plataforma desenvolvida em PHP não serão abordados neste artigo por não fazer parte dos resultados efetivos da predição de quebras de equipamentos.



Figura 4. Exemplo de Gráfico de Temperatura composto a partir dos dados coletados

## 4. CARACTERÍSTICAS 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 monitorados para iniciar a parametrização do código em Python para análise dos dados. O sensor escolhido possui dados em ciclo estável e uma anomalia pode ser percebida verificando alterações bruscas nas séries de dados. Esta anomalia representa a variação de temperatura no momento de uma falha ou esquecimento da porta do equipamento refrigerador aberta.

Após importação dos dados, foram analisados alguns parâmetros visando verificar a autocorrelação. Os dados apresentaram um perfil cíclico conforme demonstrado na Figura 5.

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

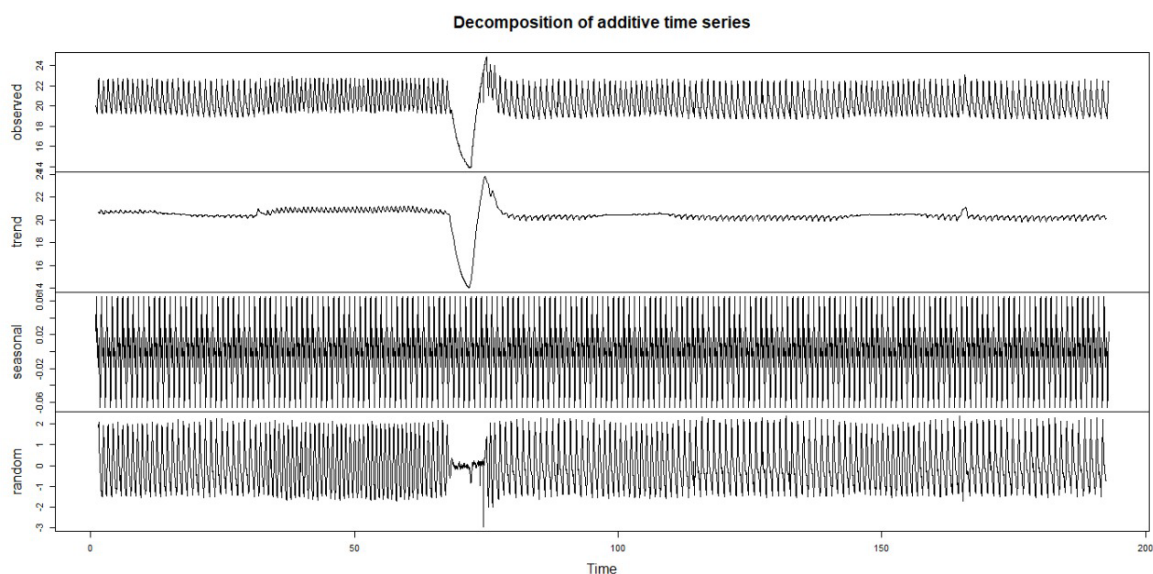


Figura 5. Gráfico de decomposição

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 da proposta, 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.

## 5. TESTES E RESULTADOS

Para iniciar a modelagem de dados, utilizou-se o ACF e o PACF (Morettin, P.; 2018) para determinar os fatores de correção a serem utilizados nos modelos. Conforme demonstrado na Figura 6, é utilizado índice autorregressivo igual a 1, o que significa que a função de autocorrelação será utilizada para determinar a ordem do termo de média móvel.

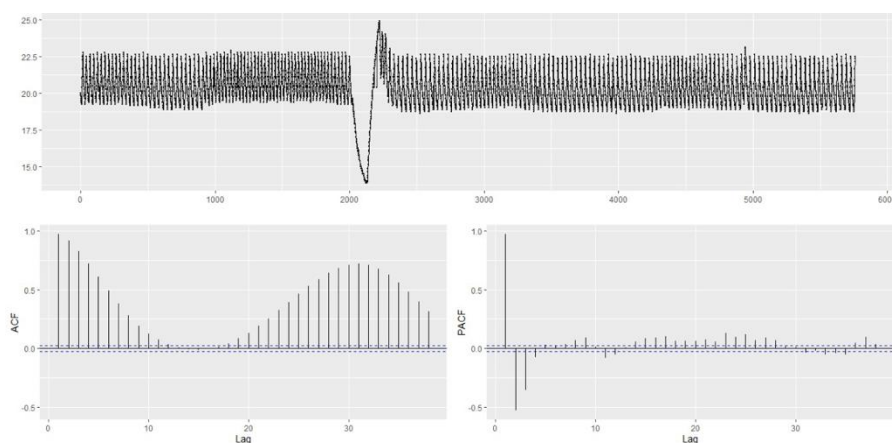


Figura 6. Autocorrelação da massa de dados

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 7):

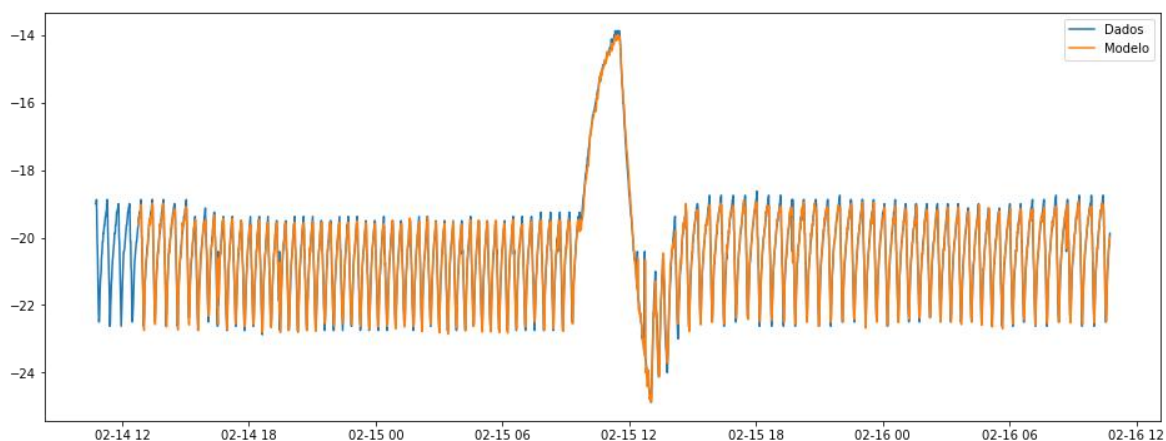


Figura 7. Modelagem de dados utilizando algoritmo AR

Com este modelo, obteve-se o erro quadrático médio de 0.05590729565537138 que é satisfatório para a aplicação que esta pesquisa deseja realizar, tendo em vista que a precisão do sensor utilizado é de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Para fins comparativos, o modelo ARMA (Figura 8) 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.



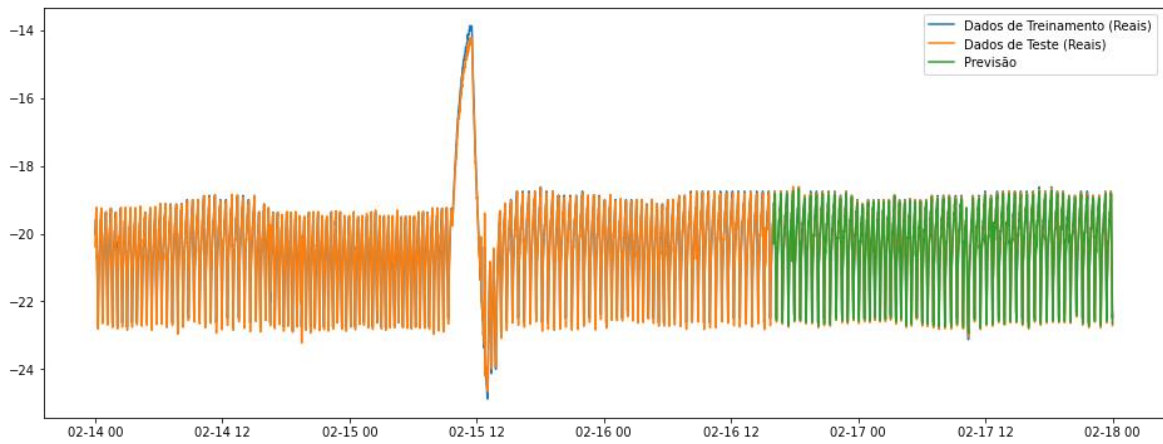


Figura 8. Modelagem de dados utilizando algoritmo ARMA

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

Com base nos gráficos de ACF e PACF (Figura 6), podemos dizer que o modelo que melhor se molda aos dados é ARIMA(3,1,12), com isso a previsão dos dados será feita com base neste modelo (Figura 9).

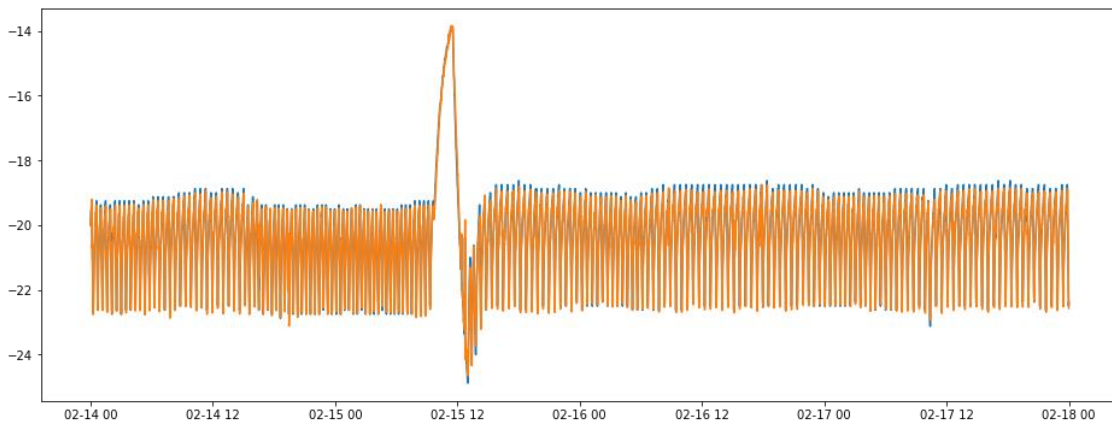


Figura 9. Modelagem de dados utilizando algoritmo ARIMA

Utilizando o modelo, foi realizada a projeção dos dados para 10 minutos à frente do fim da massa de dados. Com isso, o modelo prevê 10 registros e foi obtido o resultado apresentado na imagem (Figura 10).

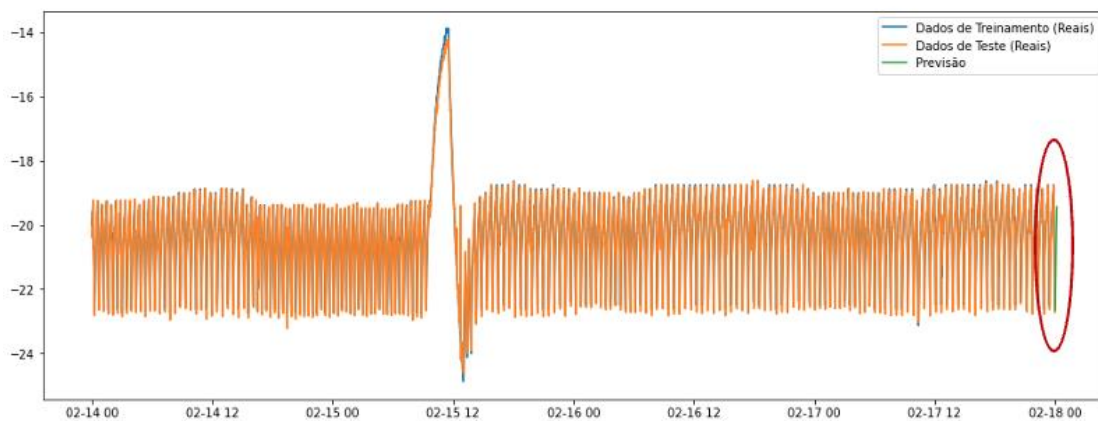


Figura 10. Predição de dados a partir do modelo ARIMA



Na Figura 10, 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 resultados apresentados na Tabela 2 foram encontrados.

Tabela 2. Comparativo de dados projetados e medidos

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

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 média da série, conforme demonstra a Figura 11. Este fenômeno será reduzido com a chegada de mais dados que alimentará o modelo melhorando suas projeções.

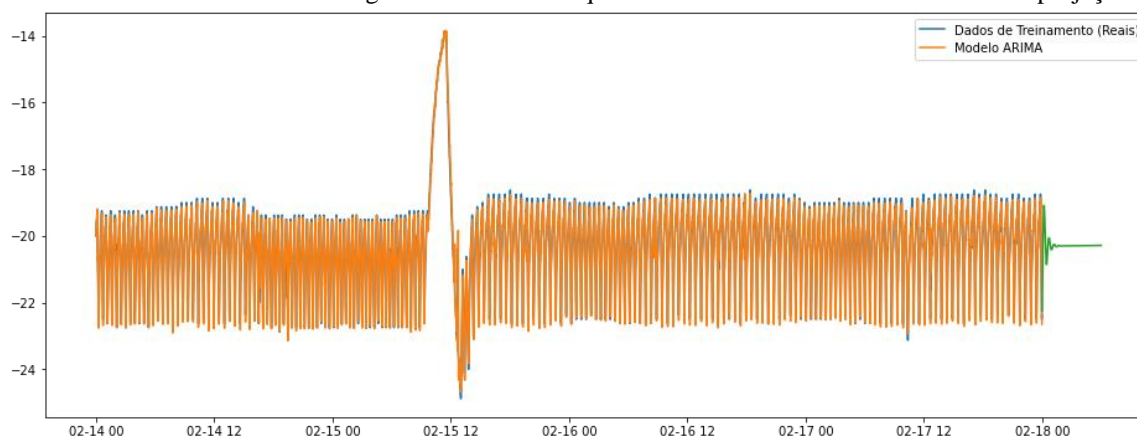


Figura 11. Predição de 6 horas de dados a partir do modelo ARIMA

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.

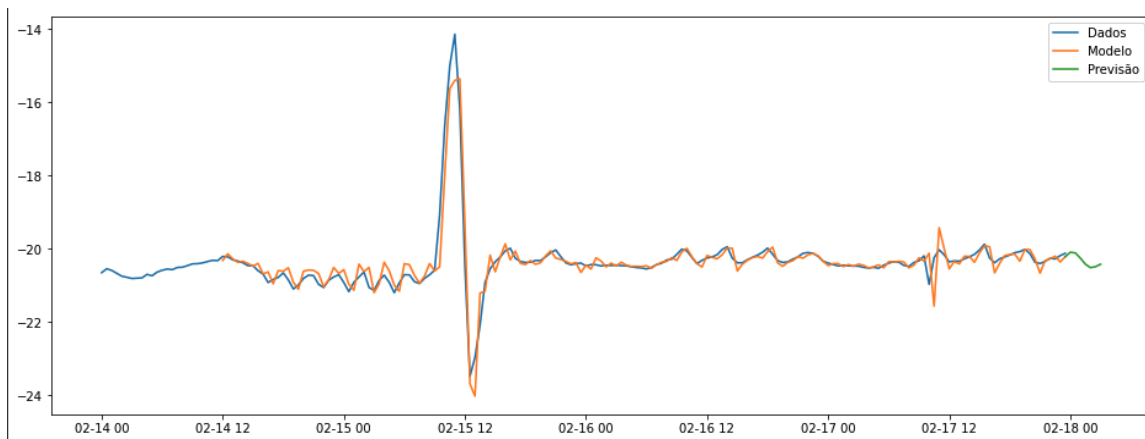


Figura 12. Predição de 3 horas de dados com frequência de 30 minutos a partir do modelo ARIMA

O modelo foi aplicado na massa de dados agrupados a cada 30 minutos e obteve-se o demonstrado na Figura 12 com erro quadrático de 0.02448108857967491.

Para melhoria da modelagem, foi realizada análise da sazonalidade da série. Realizando uma diferença sazonal (Figura 13) 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).

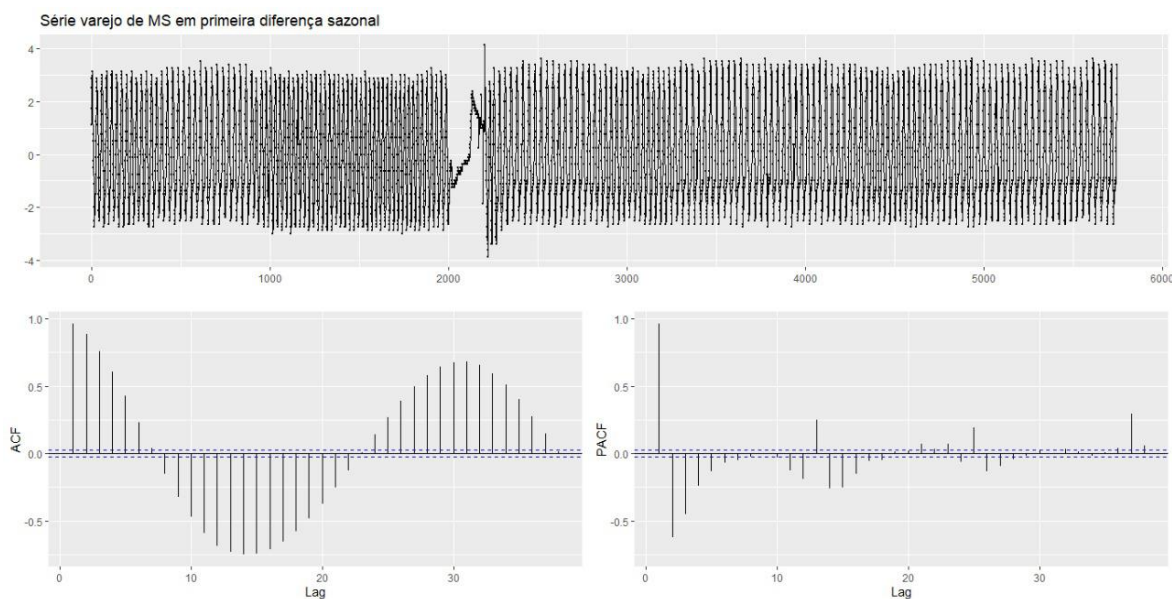


Figura 13. Primeira Diferença Sazonal

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

É notória a carência de tecnologia empregada ao sistema de saúde no que diz respeito ao monitoramento da cadeia do frio. A implementação de um sistema como o proposto neste artigo evitará diversas ocorrências de desperdícios de vacinas. Além dos imunizantes, este mesmo sistema pode ser aplicado no acondicionamento de medicamentos, alimentos, materiais termoláveis como embalagens etc.

Esse artigo apresenta um modelo preventivo, com duas contribuições, sendo a primeira um estudo de predição de falhas e paradas inesperadas através de tecnologias de inteligência artificial, permitindo a criação de um sistema IoT com suporte em nuvem, que realiza a coleta de dados dos dispositivos realizando um

monitoramento contínuo de temperatura em freezers que se encontram distribuídos em diversas instituições de saúde no Brasil.

A segunda contribuição é a apresentação da possibilidade de abstrair o middleware que possui uma camada de aplicação a fim de identificar indícios de falha através da utilização de métodos estatísticos com algoritmos específicos, utilizando modelos preditivos para series temporais.

Como trabalhos futuros, abre-se a janela de oportunidade da conversão e aplicação do algoritmo desenvolvido em ambiente computacional em nuvem para notificações em tempo real dos usuários da plataforma. Somada à esta conversão, será necessário criar um ecossistema de gestão de acessos e máquina de notificações para viabilizar o aviso prévio de anomalias através de SMS, Push Notification, e-mail etc.

Existe também a necessidade da análise de outras grandezas e outros tipos de equipamentos críticos no âmbito da saúde. Por exemplo, os resultados deste trabalho podem ser aplicados e testados no monitoramento da linha de gases em ambiente hospitalar, através da medição da pressão das linhas de oxigênio, óxido nítrico, vácuo etc.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Outorgas PQ-2 312180/2019-5 INCT em Cibersegurança 465741/2014-2), ao Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Outorga CADE 08700.000047/2019-14), à Procuradoria Geral da União (Outorga AGU 697.935/2019), à Procuradoria Geral da Fazenda Nacional (Outorga PGFN 23106.148934/2019-67) e à UnB - Universidade de Brasília (Outorga COPEI 7129). A validação deste trabalho foi garantida pela Vitae Soluções em Engenharia que abriu sua infraestrutura e base de dados para coleta e análise dos dados apresentados neste artigo.

## REFERÊNCIAS

- CROSEWSKI, Fernanda; LAROCCA, Liliana Müller; CHAVES, Maria Marta Nolasco. Avoidable losses of immunobiologicals in the local instance: reflections on the nursing work process. *Saúde em Debate*, v. 42, n. 116, p. 203-213, 2018.
- DOMINGUES, Carla Magda Allan Santos et al. 46 anos do Programa Nacional de Imunizações: uma história repleta de conquistas e desafios a serem superados., *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, 2020. 1999.
- Brasil. Ministério da Saúde Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças Transmissíveis., Coordenação Geral do Programa Nacional de Imunizações. Manual de Rede de Frio. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2017.
- PEREIRA, D. D. S. et al. Analysis of the utilization rate and loss of vaccines in the National Immunization Program., *Cad Saud Colet*, v. 21, n. 4, p. 420-4, 2013.
- PATINE, Flávia dos Santos et al. Analysis of vaccine loss due to temperature change., *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 74, 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. Temperature sensitivity of vaccines., World Health Organization, 2006.
- GUIMARÃES, Eliete Albano de Azevedo et al. Eventos críticos na manutenção da conservação de vacinas., *Rev. enferm. UFPE on line*, p. 1781-1789, 2018.
- LLOYD, John; CHEYNE, James. The origins of the vaccine cold chain and a glimpse of the future., *Vaccine*, v. 35, n. 17, p. 2115-2120, 2017.
- CHOI, Seung Yeoun; KIM, Sean Hay. Finding the Simple Rule for Diagnosing the Operation Fault of Freezer., *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, v. 8, n. 1, 2019.
- WANG, Dong; ZHANG, Lun; ZHANG, Shengjian. Evaluation model of refrigerator cooling performance., In: 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). IEEE, 2017. p. 1565-1569.
- HOSSEINI, Sayed Saeed et al. A Practical Approach to Residential Appliances on-Line Anomaly Detection: A Case Study of Standard and Smart Refrigerators., *IEEE Access*, v. 8, p. 57905-57922, 2020.
- GHAFUR, Saira et al. A retrospective impact analysis of the WannaCry cyberattack on the NHS., *NPJ digital medicine*, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2019.

- WANGANOO, Leena; SHUKLA, Vinod Kumar. Real-Time Data Monitoring in Cold Supply Chain Through NB-IoT., In: 2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT). IEEE, 2020. p. 1-6.
- BERGONZI, Luca et al. Data and knowledge in iiot-based maintenance application. In: ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition., American Society of Mechanical Engineers, 2017. p. V011T15A029.
- ROMEIRO, Lucas AW et al. Low-Cost Monitoring Device for Cold-Chain using Edge Computing. In: 2021 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN). IEEE, 2021. p. 274- 279. <https://www.statsmodels.org/dev/tsa.html>
- Morettin, P. A. (2018). Análise de séries temporais: modelos lineares univariados. Brasil: BLUCHER..
- HALIM, Ahmad Helmi Abdul et al. Implementation of IoT and Blockchain for Temperature Monitoring in Covid19 Vaccine Cold Chain Logistics. Open International Journal of Informatics, v. 9, n. 1, p. 78-87, 2021.
- KHANUJA, Gagandeep Singh et al. Cold chain management using model based design, machine learning algorithms and data analytics. SAE Technical Paper, 2018.
- IZIKKI, Kenza; EL ALAMI, Jamila; HLYAL, Mustapha. The use of the internet of things in the cold chain logistics for a better vaccine transportation: A state of the art. In: 4th International Conference on Innovative Research in Science Engineering and Technology, Milan. 2021. p. 7-9.