

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

VINICIUS GARBELLOTO

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
MONITORAMENTO LOGÍSTICO DE BAIXO CUSTO BASEADO EM
ESP32 NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA
2024

VINICIUS GARBELLOTO

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
MONITORAMENTO LOGÍSTICO DE BAIXO CUSTO BASEADO EM ESP32 NO
CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

**Development and Implementation of a Low-Cost Logistics Monitoring System
Based on ESP32 in the Context of Industry 4.0**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Joaquim De Mira Junior

**PONTA GROSSA
2024**

VINICIUS GARBELLOTTO

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
DE MONITORAMENTO LOGÍSTICO DE BAIXO CUSTO
BASEADO EM ESP32 NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 17 de maio 2024

Joaquim De Mira Junior
Titulação Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Jeferson Jose De Lima
Titulação Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Dra. Cristhiane Gonçalves
Titulação Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2024

AGRADECIMENTOS

I would like to express my sincere gratitude to everyone who supported me during the completion of this work. First and foremost, I would like to thank my family for their unconditional love, patience, and encouragement throughout the entire process. In particular, I would like to give a special thanks to Roberto Garbellotto, my father, for his unwavering emotional support. Without his encouragement and understanding, I would not have been able to complete this work. His love and guidance were essential to my success, and I am grateful for his presence in my life.

I would also like to thank my friends, who were by my side during this challenge and provided me with moments of relaxation and stress relief.

I would like to express my appreciation to my advisors, whose support and guidance were crucial to the completion of this thesis. Their advice, suggestions, and feedback were invaluable to the development of this work.

Lastly, I would like to thank all the individuals who contributed to this report. Their ideas, suggestions, and opinions helped enrich this study and allowed me to gain a deeper and more comprehensive understanding of the topic.

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) explora o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso de baixo custo voltada para aprimorar a gestão do transporte de alimentos, abordando uma solução inovadora para o problema global do desperdício alimentar. Realizado no Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, o projeto concentra-se na criação de um dispositivo inteligente capaz de monitorar o transporte de alimentos eficazmente, integrando tecnologias emergentes da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas (IoT).

A pesquisa destaca a importância da sustentabilidade na logística, evidenciando como a otimização de processos e a redução do impacto ambiental podem ser alcançadas através da implementação de práticas sustentáveis. O estudo revela como a logística sustentável, impulsionada pela convergência entre tecnologias digitais e a necessidade de eficiência e responsabilidade ambiental, pode transformar o setor de transportes.

No desenvolvimento prático, o projeto descreve a concepção e implementação de um dispositivo IoT que utiliza o módulo ESP32 para coleta e transmissão de dados, empregando protocolos de comunicação eficientes e mecanismos de economia de energia. A integração com plataformas como Node-RED, InfluxDB e Grafana permite a análise e visualização avançada dos dados coletados, facilitando a tomada de decisões e o monitoramento contínuo do transporte de alimentos. O TCC também detalha o processo de design e fabricação da placa de circuito impresso, utilizando o software EAZYEDA, e a programação modular do software em Arduino IDE, ressaltando a importância de uma abordagem estruturada e bem organizada no desenvolvimento de soluções tecnológicas.

Em suma, este trabalho contribui significativamente para o campo da logística sustentável, demonstrando como a aplicação da Indústria 4.0 e da IoT no monitoramento do transporte de alimentos pode levar a uma redução significativa no desperdício, promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes no setor.

Palavras-chaves: internet das coisas, logística, alimentos.

ABSTRACT

This Final paper delves into the development of a low-cost printed circuit board aimed at enhancing the management of food transportation, presenting an innovative solution to the global issue of food waste. Conducted at the Polytechnic Institute of Bragança, Portugal, the project focuses on the creation of an intelligent device capable of effectively monitoring food transportation, integrating cutting-edge technologies from Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT).

The research underscores the significance of sustainability in logistics, demonstrating how process optimization and environmental impact reduction can be achieved through the implementation of sustainable practices. The study unveils how sustainable logistics, driven by the convergence between digital technologies and the need for efficiency and environmental responsibility, can transform the transportation sector.

In its practical development, the project describes the design and implementation of an IoT device using the ESP32 module for data collection and transmission, employing efficient communication protocols and energy-saving mechanisms. Integration with platforms such as Node-RED, InfluxDB, and Grafana enables advanced analysis and visualization of the collected data, facilitating decision-making and continuous monitoring of food transportation.

The thesis also details the process of designing and manufacturing the printed circuit board using the EAZYEDA software and the modular programming of the software in the Arduino IDE, highlighting the importance of a structured and well-organized approach in developing technological solutions.

In summary, this work significantly contributes to the field of sustainable logistics, demonstrating how the application of Industry 4.0 and IoT in monitoring food transportation can lead to a substantial reduction in waste, promoting more sustainable and efficient practices in the sector.

Key-words: internet of things, logistics, food.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	INTRODUÇÃO	8
1.2	OBJETIVOS	9
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	DESPERDÍCIO ALIMENTAR	11
2.2	GOVERNANÇA AMBIENTAL, SOCIAL E CORPORATIVA	12
2.3	SENSORES	13
2.3.1	Tipos Específicos de Sensores	13
2.3.2	Comportamento e Funcionamento	14
2.4	INTERNET DAS COISAS	14
2.4.1	Mecanismos de Transmissão de Dados na Internet das Coisas: M2M, M2P e P2P	15
2.5	LOGÍSTICA INTELIGENTE	16
2.6	INDÚSTRIA 4.0	17
2.6.1	História das Revoluções Industriais	18
2.6.2	Principais Tecnologias da Indústria 4.0	19
2.6.3	Protocolo de Comunicação	19
2.6.4	Desafios da Internet of Things (IoT)	22
3	ARQUITECTURA DO SISTEMA	24
3.1	VISÃO GERAL	24
3.1.0.1	Sensores e Módulos	24
3.2	PROTÓTIPO DO SISTEMA	31
3.2.1	Arquitetura de Hardware	32
3.2.1.1	ESP32	32
3.2.1.2	Principais vantagens do ESP32	32
3.2.1.3	Firmware e Arduino IDE	33
3.2.1.4	Fluxo de Dados e Node-RED	34
3.2.1.5	Integração com InfluxDB e Grafana	35
4	DESENVOLVIMENTO	37
4.1	PROJETO	38
4.1.1	Viabilidade do Projeto	39
4.1.2	Programação de Software	39
4.1.3	Desenvolvimento de Software de Interface Gráfica	42
4.1.4	InfluxDB e Grafana	44
4.1.5	Design de Placa de Circuito Impresso	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

LISTA DE ABREVIATURAS

DMP Processador Digital de Movimento. 26

GPS Global Positioning System. 38, 47

GSM Global System for Mobile Communications. 23, 24, 32, 36, 38, 39

IA Inteligência Artificial. 19, 51

IoT Internet of Things. 5, 7–9, 13–16, 19–22, 24, 26, 31–35

LWT Last Will and Testament. 21

M2M Machine to Machine. 15, 16

M2P Machine to Person. 15, 16

MEMS Micro-Electro-Mechanical Systems. 26

MQTT Message Queuing Telemetry Transport. 9, 20–23, 30, 33, 39

P2P Peer to Peer. 15, 16

QoS Qualidade de Serviço. 20, 21

RFID Identificação por Radiofrequência. 13

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O estudo investiga a interseção entre inovação tecnológica e sustentabilidade, com foco na otimização de recursos na cadeia agroalimentar. Este campo enfrenta desafios significativos, sobretudo no que diz respeito ao transporte de alimentos e à redução do desperdício alimentar. Em um mundo onde a sustentabilidade se torna cada vez mais um objetivo, a eficiência na cadeia agroalimentar não é apenas uma questão financeira, mas um mandato para a segurança alimentar e a preservação ambiental.

A cadeia agroalimentar, abrangendo desde a produção até a entrega ao consumidor final, constitui um sistema intrincado e multifacetado. Cada estágio dessa cadeia, desde a colheita, processamento, embalagem até o transporte e a distribuição, apresenta potenciais riscos de perdas e ineficiências. O transporte de alimentos, em particular, emerge como um segmento crítico, onde atrasos, condições inadequadas de armazenamento e gestão ineficiente podem levar à deterioração significativa da qualidade e segurança dos alimentos.

O desperdício alimentar representa um grave problema global, com impactos devastadores não só na economia, mas também na segurança alimentar e no meio ambiente. Estima-se que aproximadamente um terço dos alimentos produzidos globalmente seja perdido ou desperdiçado. Este fenômeno não é apenas uma questão de ineficiência econômica, mas também um desafio ético e ambiental, considerando a quantidade de recursos naturais consumidos na produção de alimentos que nunca são consumidos.

Para ir de encontro com a sustentabilidade das operações de transporte de alimentos faz-se necessário o uso de tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT) e da Indústria 4.0 na cadeia agroalimentar. A IoT, caracterizada pela interconexão de dispositivos e sensores inteligentes, permite o monitoramento contínuo das condições de transporte dos alimentos, assegurando a manutenção de parâmetros ideais, como temperatura e umidade, fundamentais para a preservação da qualidade e segurança dos produtos alimentares.

Usando a interconexão de dispositivos e sensores inteligentes, permite o monitoramento contínuo das condições de transporte dos alimentos, assegurando a manutenção de parâmetros ideais, como temperatura e umidade, fundamentais para a preservação da qualidade e segurança dos produtos alimentares.

A comunicação eficaz entre esses dispositivos e os sistemas de gestão é essencial, permitindo uma resposta rápida a qualquer desvio das condições ideais e prevenindo assim a deterioração e o desperdício de alimentos. Ademais, a integração da IoT na cadeia agroalimentar promove uma gestão mais eficiente dos recursos, alinhando-se visando desenvolvimento sustentável globais.

Embora enfrentem desafios como altos custos iniciais, necessidade de treinamento e

adaptação à infraestrutura variável, IoT e Indústria 4.0 trazem um futuro promissor. Estes desafios representam oportunidades para inovação econômica e eficiência operacional. O treinamento especializado impulsiona a criação de empregos e habilidades, enquanto a colaboração entre os setores público e privado pode melhorar a infraestrutura. Além disso, a conformidade com regulamentações existentes estimula políticas que promovem inovação sustentável. Em suma, esses desafios devem ser vistos como chances para avançar em práticas de negócios e sociais, utilizando o potencial da IoT e da Indústria 4.0 para um futuro mais eficiente e interconectado.

Em conclusão, esta dissertação prospecta o futuro da cadeia agroalimentar, enfatizando as tendências emergentes e as inovações em desenvolvimento. O objetivo é apresentar uma visão global de como a tecnologia pode ser usada para enfrentar um dos maiores desafios atuais: a otimização do uso dos recursos alimentares, a diminuição do desperdício e a promoção de práticas sustentáveis em toda a cadeia agroalimentar, usando uma solução de baixo custo e de fácil implementação.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um dispositivo inteligente de baixo custo que capture informações relevantes durante o transporte de cargas sensíveis, visando reduzir os custos relacionados e evitar desperdícios durante o transporte.

- Realizar um estudo da literatura sobre desperdício alimentar e Governança ambiental, social e corporativa(ESG).
- Realizar um estudo da literatura sobre a Internet das Coisas (IoT) e tecnologias emergentes, destacando sua definição e aplicabilidade no contexto atual.
- Demonstrar o desenvolvimento do dispositivo, juntamente com os *softwares* utilizados.
- Desenvolver a placa de circuito impresso do dispositivo.
- Analisar a viabilidade da implementação do dispositivo no contexto de transporte.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O documento foi dividido da seguinte forma:

1. Introdução: Apresenta uma introdução ao problema do desperdício alimentar e a relevância da Internet das Coisas (IoT) e da Indústria 4.0 na cadeia agroalimentar.
2. Justificativa: Detalha a importância do estudo, abordando os benefícios esperados e a relevância do projeto no contexto atual da cadeia agroalimentar.

3. Fundamentação Teórica (Revisão da Literatura): Apresenta o trabalho relacionado e explicações gerais sobre os protocolos de comunicação, componentes e metodologia utilizados neste projeto, com foco em IoT, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), InfluxDB, Grafana e Node-RED, além dos conceitos de economia circular, desperdício alimentar e ESG.

4. Materiais e Métodos: Descreve os materiais utilizados e os métodos aplicados para o desenvolvimento do sistema IoT proposto, incluindo detalhes sobre hardware, interconectividade e bancos de dados utilizados para a coleta e análise de dados.

5. Desenvolvimento: Apresenta as etapas de desenvolvimento do projeto, incluindo montagem e programação, funções realizadas pelo sistema IoT e as interfaces gráficas desenvolvidas para monitoramento e análise dos dados.

6. Resultados e Discussões: Descreve os testes realizados em cenários reais e análises de desempenho após a conclusão do desenvolvimento do projeto. Inclui também uma análise de mercado e os resultados obtidos, discutindo a eficácia do sistema na redução do desperdício alimentar.

7. Conclusão: Conclusões finais com análise dos objetivos alcançados, dificuldades encontradas e sugestões para melhorias futuras e pesquisas subsequentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo descreve alguns conceitos técnico-científicos aplicados no desenvolvimento desse trabalho, que compreendem: Desperdício alimentar

2.1 DESPERDÍCIO ALIMENTAR

O desperdício alimentar mundial representa um desafio significativo tanto para o desenvolvimento sustentável quanto para a segurança alimentar global. Este problema é caracterizado pela perda de excesso de alimentos, os quais são descartados ou não utilizados ao longo de diferentes estágios da cadeia de suprimentos alimentar. Estas perdas ocorrem desde a fase de produção agrícola até o consumo final nos lares. O impacto deste desperdício é vasto e com perspectivas diferentes, incluindo as implicações socioeconômicas, como a perda de recursos econômicos e a ineficiência na distribuição de alimentos, e as implicações ambientais, como o aumento da pegada de carbono e a utilização desnecessária de recursos naturais. Além disso, o desperdício de alimentos é um problema moral, uma vez que uma grande parte da população mundial enfrenta a fome e a insegurança alimentar (Museu do Amanhã, 2024).

O volume de desperdício alimentar é alarmante: cerca de metade de todos os tubérculos, vegetais e frutas produzidos globalmente são desperdiçados. Esse alto nível de desperdício não apenas representa uma perda econômica substancial, mas também contribui para o agravamento dos problemas ambientais, como a degradação do solo, o uso excessivo de água e a emissão de gases de efeito estufa. O desperdício alimentar, portanto, não é apenas uma questão de eficiência na cadeia de suprimentos, mas também uma questão de sustentabilidade e ética. A diminuição do desperdício de alimentos é crucial para atingir objetivos ambientais, aprimorar a segurança alimentar e incentivar um uso mais responsável dos recursos disponíveis (LIPÍŃSKA; TOMASZEWSKA; KOŁOŻYN-KRAJEWSKA, 2019).

De acordo com Lipińska, Tomaszewska e Kołożyn-Krajewska (2019), os fatores mecanizados, tais como danos físicos aos produtos, condições inadequadas de armazenamento nos veículos, manutenção deficiente, vazamentos ou problemas nos sistemas de refrigeração do transporte de alimentos, são uma das principais causas de perda de alimentos. No transporte de produtos lácteos, especificamente, os desafios envolvem a manutenção da temperatura adequada e a integridade dos produtos. Esses aspectos destacam a necessidade de inspeções regulares e manutenção rigorosa dos veículos e equipamentos de transporte para garantir a qualidade e segurança dos alimentos transportados.

2.2 GOVERNANÇA AMBIENTAL, SOCIAL E CORPORATIVA

ESG (Governança ambiental, social e corporativa) é um conjunto de critérios usados para avaliar o desempenho das empresas em três áreas principais: ambiental, social e governança. Esses critérios ajudam investidores a identificar riscos e oportunidades significativas, promovendo práticas sustentáveis e responsáveis nas empresas. A integração de ESG nas operações empresariais é fundamental para alcançar uma sustentabilidade a longo prazo, melhorar a reputação corporativa e atrair investimentos socialmente responsáveis.(HUANG, 2021)



Figura 1 – ESG
(EMPRESARIAL, 2021)

A dimensão ambiental do ESG inclui práticas relacionadas à conservação dos recursos naturais, redução de emissões de carbono, gestão de resíduos e eficiência energética. As empresas que adotam práticas ambientais sustentáveis tendem a reduzir custos operacionais e melhorar a imagem corporativa. A dimensão social refere-se a práticas que afetam diretamente funcionários, clientes e comunidades, como diversidade e inclusão, direitos humanos, condições de trabalho e impacto comunitário. Já a dimensão de governança envolve a estrutura de gestão da empresa, práticas de transparência, ética e combate à corrupção, assegurando a confiança dos investidores e *stakeholders*.(LUCA; PARNICK, 2021)

Adotar práticas ESG traz vários benefícios, como a redução de riscos ambientais, sociais e de governança, a atração de investidores preocupados com a sustentabilidade, a melhoria da reputação e a eficiência operacional, com práticas sustentáveis levando a economias de custos e maior eficiência operativa. Empresas que incorporam ESG se posicionam melhor no mercado, promovendo lealdade e confiança entre consumidores e comunidades, além de contribuir para um futuro mais sustentável e equitativo.(JOHNSTON; GREEN, 2021)

2.3 SENSORES

Sensores são dispositivos que detectam e medem várias quantidades, como temperatura, umidade, vibração e localização, convertendo esses estímulos em dados mensuráveis que podem ser analisados por humanos ou máquinas. Eles desempenham um papel crucial na automação e no monitoramento em tempo real de processos industriais, especialmente no contexto da Indústria 4.0 (FARAHANI; WAGIRAN; HAMIDON, 2014).

2.3.1 Tipos Específicos de Sensores

- **Sensores de Temperatura:** Sensores de temperatura medem o calor gerado por um objeto ou sistema, permitindo a conversão desta informação em dados que podem ser monitorados e analisados. Eles utilizam várias tecnologias, como termopares, termistores e resistências de platina (RTDs), cada uma com especificações e aplicações distintas. Por exemplo, um termopar pode operar em uma ampla faixa de temperaturas, sendo adequado para ambientes industriais rigorosos, enquanto os RTDs são conhecidos por sua alta precisão e estabilidade a longo prazo.
- **Sensores de Vibração:** Sensores de vibração, também conhecidos como acelerômetros, são usados para medir a frequência e a intensidade das vibrações em máquinas e estruturas. Eles são cruciais para a manutenção preditiva, ajudando a identificar desgastes, desalinhamentos ou desequilíbrios antes que causem falhas catastróficas. Esses sensores geralmente possuem uma saída analógica ou digital, sendo calibrados para fornecer dados precisos sobre a condição operacional das máquinas (TECHIESCIENCE, 2021).
- **Sensores de GPS:** Sensores de GPS (Global Positioning System) determinam a localização exata de um objeto ao usar sinais de satélites. Eles são amplamente utilizados em aplicações de logística para rastrear o movimento de veículos e mercadorias em tempo real. Os sensores de GPS fornecem dados precisos sobre latitude, longitude, altitude e tempo, permitindo um monitoramento eficaz da posição e do movimento.
- **Sensores de Umidade:** Sensores de umidade medem a quantidade de vapor de água no ar ou em outros gases. Eles são essenciais em várias indústrias, desde a agricultura até a fabricação de eletrônicos, onde o controle da umidade é crucial. Sensores capacitivos e resistivos são os tipos mais comuns, com sensores capacitivos oferecendo alta precisão e rápida resposta. Eles funcionam medindo a variação na capacitância ou resistência causada pela presença de umidade.

2.3.2 Comportamento e Funcionamento

- **Sensores de Temperatura:** Funcionam através da variação de propriedades elétricas (como resistência) com a mudança de temperatura. Por exemplo, em um RTD, a resistência elétrica aumenta linearmente com a temperatura, permitindo medições precisas e confiáveis.
- **Sensores de Vibração:** Utilizam piezoelectricidade, onde materiais como cristais geram uma carga elétrica em resposta a uma força mecânica (vibração). Estes sensores são montados diretamente nas máquinas para captar variações na vibração que podem indicar problemas mecânicos.
- **Sensores de GPS:** Operam captando sinais de satélites GPS e utilizando o tempo de viagem desses sinais para calcular a posição exata do sensor na superfície da Terra. São cruciais para o rastreamento e navegação em tempo real.
- **Sensores de Umidade:** Usam materiais que alteram suas propriedades elétricas em resposta à umidade. Sensores capacitivos, por exemplo, medem a mudança na capacitância causada pela absorção de umidade por um dielétrico.

Esses sensores, integrados em redes IoT (Internet das Coisas), permitem a coleta e análise de dados em tempo real, melhorando a eficiência, a segurança e a gestão de recursos em diversos setores (FARAHANI; WAGIRAN; HAMIDON, 2014; TECHIESCIENCE, 2021).

2.4 INTERNET DAS COISAS

A Internet das Coisas (IoT) é uma área de destaque no setor tecnológico, influenciando políticas e práticas de engenharia. Amplamente divulgada na mídia especializada e geral, esta tecnologia inclui uma variedade de produtos, sistemas e sensores conectados em rede. Eles se beneficiam de avanços como maior capacidade computacional, miniaturização eletrônica e maior interconexão de redes, possibilitando funcionalidades inovadoras. Há muitos debates e discussões sobre o impacto potencial da era IoT, abrangendo desde novas oportunidades de mercado até preocupações com segurança e privacidade.

Em 1999, Kevin Ashton apresentou o conceito de Internet das Coisas (IoT) como uma rede em que objetos físicos são conectados à internet por sensores, utilizando principalmente a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (Identificação por Radiofrequência (RFID)). Esta inovação, proposta no contexto de seu trabalho na *Procter & Gamble*, visava uma transição para a automatização na coleta e transmissão de dados, transcendendo as barreiras das limitações humanas em termos de velocidade, precisão e custo. A premissa fundamental de Ashton acerca da IoT residia na ideia de que a inclusão de capacidades computacionais e de conectividade em objetos comuns permitiria uma interação mais eficiente e informatizada entre o mundo físico

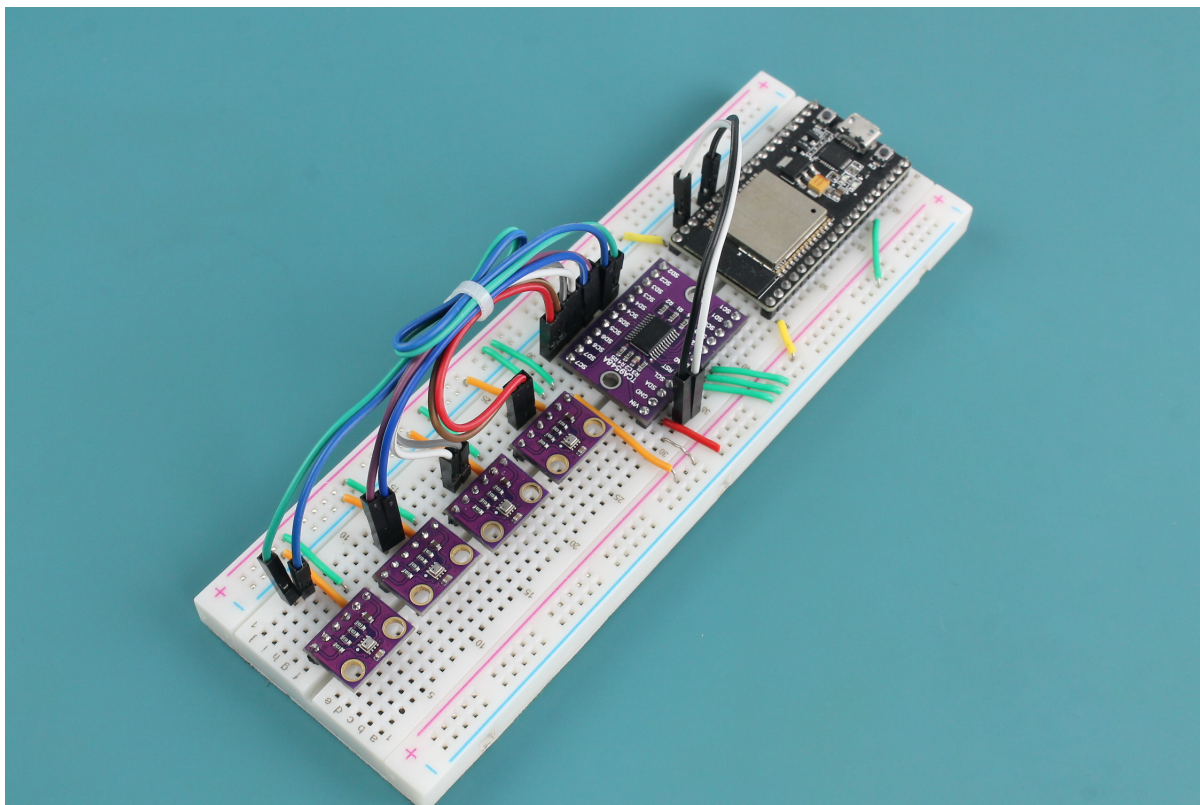


Figura 2 – Protótipo de Internet das Coisas
(STROSCHON, 2023)

e o digital, potencializando assim a eficácia, a compreensão e a decisão baseada em dados no cotidiano.

No ambiente doméstico, a IoT está criando casas “inteligentes”, onde eletrodomésticos conectados à internet e sistemas de automação residencial aumentam a segurança e eficiência energética. Na área da saúde, dispositivos de monitoramento pessoal e equipamentos médicos conectados estão revolucionando o atendimento, oferecendo benefícios significativos, especialmente para idosos e pessoas com deficiências, ao melhorar sua independência e qualidade de vida.

Nos espaços urbanos, a IoT está moldando a concepção de “cidades inteligentes”, com veículos conectados e sensores urbanos que visam reduzir o congestionamento e o consumo de energia. Além disso, a IoT está transformando setores como agricultura, indústria e produção de energia, através da integração de sensores em rede, que permitem uma gestão mais eficiente dos recursos.

Diversas organizações têm feito projeções sobre o impacto da IoT na internet e na economia. Por exemplo, a Cisco projeta mais de 24 bilhões de objetos conectados até 2019(CISCO, 2024). A Huawei vai além, prevendo 100 bilhões de conexões IoT até 2025. O *McKinsey Global Institute* estima que a IoT possa impactar a economia global em até 11.1 trilhões até 2025. Essas projeções indicam um crescimento significativo e uma influência considerável da IoT.(HUAWEI, 2024)

Alguns veem a IoT como um avanço revolucionário, promovendo eficiência e novas

oportunidades econômicas, enquanto outros expressam preocupações com a vigilância e a segurança dos dados. Esses debates, juntamente com a crescente cobertura da mídia, tornam a IoT um tópico complexo.

A *Internet Society*, associação sem fins lucrativos, cujo objetivo é promover liderança no desenvolvimento dos padrões Internet, bem como fomentar iniciativas educacionais e políticas públicas ligadas à rede mundial entre computadores.(BRASIL, 2024) Considera a IoT como uma área crucial, uma vez que representa uma parcela crescente da forma como as pessoas e instituições interagem com a internet. Se as previsões estiverem certas, a internet pode mudar a maneira como usamos a internet, trazendo novos desafios e problemas em diversas áreas, como compras e leis. A IoT pode ter impactos variados em diferentes regiões, apresentando desafios e oportunidades distintos globalmente.(GUARDIAN, 2015)

A IoT, com sua vasta gama de dispositivos conectados, requer uma infraestrutura robusta, que inclui sensores para coleta de dados e tecnologias como *Fog* e *Cloud Computing* para o armazenamento e processamento desses dados.(BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017) Estas tecnologias permitem a utilização eficiente das informações coletadas, melhorando aplicações em diversos campos, desde a indústria até a gestão ambiental. No entanto, essa conectividade também traz desafios, como evidenciado pelo incidente de 2001, onde um *hacker* comprometeu um sistema de gestão de resíduos, mostrando a necessidade de segurança robusta e medidas preventivas nos sistemas IoT.(REGISTER, 2001)

Este mundo interconectado que a IoT está criando não é apenas uma questão de tecnologia; é uma fusão de progresso técnico com a vida cotidiana, impactando diretamente como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. A IoT está abrindo portas para um futuro onde a linha entre o mundo físico e o digital se torna cada vez mais tênue, oferecendo conveniência e eficiência, mas também exigindo uma nova compreensão sobre como gerenciamos dados, privacidade e segurança.

A Internet das Coisas representa inovação e progresso, representando uma nova era na interação humana com a tecnologia. Como sociedade, estamos começando a entender o potencial e os desafios da IoT, navegando por um território empolgante e inexplorado que promete remodelar nosso mundo.

2.4.1 Mecanismos de Transmissão de Dados na Internet das Coisas: M2M, M2P e P2P

A era da Internet das Coisas (IoT) trouxe uma evolução significativa nos métodos de transmissão de dados, cada um desempenhando um papel crucial no desenvolvimento de sistemas interconectados e inteligentes. Esta seção do artigo concentra-se em três mecanismos fundamentais de transmissão de dados: *Machine to Machine* (Machine to Machine (M2M)), *Machine to Person* (Machine to Person (M2P)) e *Peer to Peer* (Peer to Peer (P2P)), explorando suas características, aplicações na IoT e impacto no cenário tecnológico atual.(SMITH; DOE,

2023)

- *Transmissão Machine to Machine (M2M)*: refere-se à comunicação automática entre dispositivos ou máquinas, sem intervenção humana. Essa comunicação pode ser realizada por diversas redes, como wireless, fio ou fibra óptica. Relevância na IoT: Na IoT, o M2M é essencial para a automação e eficiência operacional, especialmente em ambientes industriais. Exemplos incluem sistemas de monitoramento de condições de máquinas e automação de processos. Benefícios: Incremento na eficiência operacional, diminuição de erros humanos e otimização no uso de recursos.
- *Transmissão Machine to Person (M2P)*: descreve a interação entre máquinas e humanos, geralmente por meio de interfaces que permitem aos usuários receber dados de máquinas ou sistemas automatizados. Relevância na IoT: Um exemplo prático é o uso de aplicativos móveis que recebem alerta de dispositivos domésticos inteligentes, como sistemas de segurança ou monitores de saúde *wearable*. Benefícios: Aprimora a interação humano-máquina, fornecendo informações em tempo real para tomada de decisões informadas.
- *Transmissão Peer to Peer (P2P)*: é um modelo de rede descentralizado, onde cada nó da rede (peer) pode funcionar tanto como cliente quanto servidor, eliminando a necessidade de um servidor central. Relevância na IoT: Em IoT, o modelo P2P pode ser utilizado para a comunicação direta entre dispositivos, como na interconexão de dispositivos de segurança doméstica. Benefícios: Promove maior resiliência de rede, redução na dependência de infraestruturas centralizadas e potencialmente maior segurança e privacidade.

A implementação desses mecanismos de transmissão de dados na IoT representa um avanço significativo na forma como dispositivos e sistemas se comunicam e interagem. Eles oferecem vantagens distintas, contribuindo para a eficiência, escalabilidade e segurança no universo crescente dos dispositivos interconectados. A análise desses mecanismos é fundamental para entender a dinâmica e o potencial da IoT em diversos setores.

2.5 LOGÍSTICA INTELIGENTE

No trabalho “*Industry 4.0 Implications in Logistics*” (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017), define a logística sustentável como uma abordagem que integra as inovações da Indústria 4.0 para aumentar a eficiência e sustentabilidade das operações logísticas. Este paradigma moderno usa tecnologias e sistemas ciber-físicos, como a Internet das Coisas (IoT), para criar redes de suprimentos eficientes, adaptáveis, transparentes e capazes de manter a integridade do processo logístico. Por isso, precisamos de novos modelos de gestão para lidar com os desafios da logística atual, que incluem cuidar do meio ambiente, da economia e da sociedade.

No escopo da logística sustentável, diversos elementos são considerados essenciais:



Figura 3 – Representação da logística inteligente
(SULLIVAN, 2021)

1. Transporte Ecológico: Prioriza-se a escolha de modos de transporte que apresentem uma menor pegada de carbono, como os veículos elétricos ou híbridos, além da otimização de rotas para minimizar as distâncias percorridas e o consumo de combustível.
2. Embalagens Sustentáveis: Enfatiza-se o uso de materiais recicláveis ou biodegradáveis para embalagens, bem como estratégias para reduzir o tamanho e a quantidade desses materiais, visando a diminuição do impacto ambiental.
3. Otimização de Processos: Aplicam-se tecnologias e estratégias avançadas para aumentar a eficiência operacional, reduzir o desperdício de recursos e aprimorar o gerenciamento de inventário.
4. Energia Renovável: Incentiva-se o uso de fontes de energia renováveis nas operações logísticas, como uma medida para reduzir a dependência de combustíveis fósseis.
5. Responsabilidade Social Corporativa: Considera-se o impacto social das atividades logísticas, promovendo práticas de trabalho justas e éticas com todas as partes interessadas.

2.6 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, é caracterizada pela adoção de tecnologias avançadas que promovem mudanças significativas tanto nos processos produtivos quanto nos modelos de negócios. Estamos vivendo uma era marcada pela Indústria 4.0, onde observamos uma redução de custos e um aumento significativo no desempenho de tecnologias como *smartphones*, *tablets* e *laptop*. Isso resultou em uma grande parcela da população estando constantemente conectada. A internet se tornou uma parte integrante do cotidiano, servindo como o principal meio de comunicação e o foco central dessas e outras tecnologias, levando à conclusão de que tudo e todos estão interconectados. (COMPETE, 2024)

2.6.1 História das Revoluções Industriais

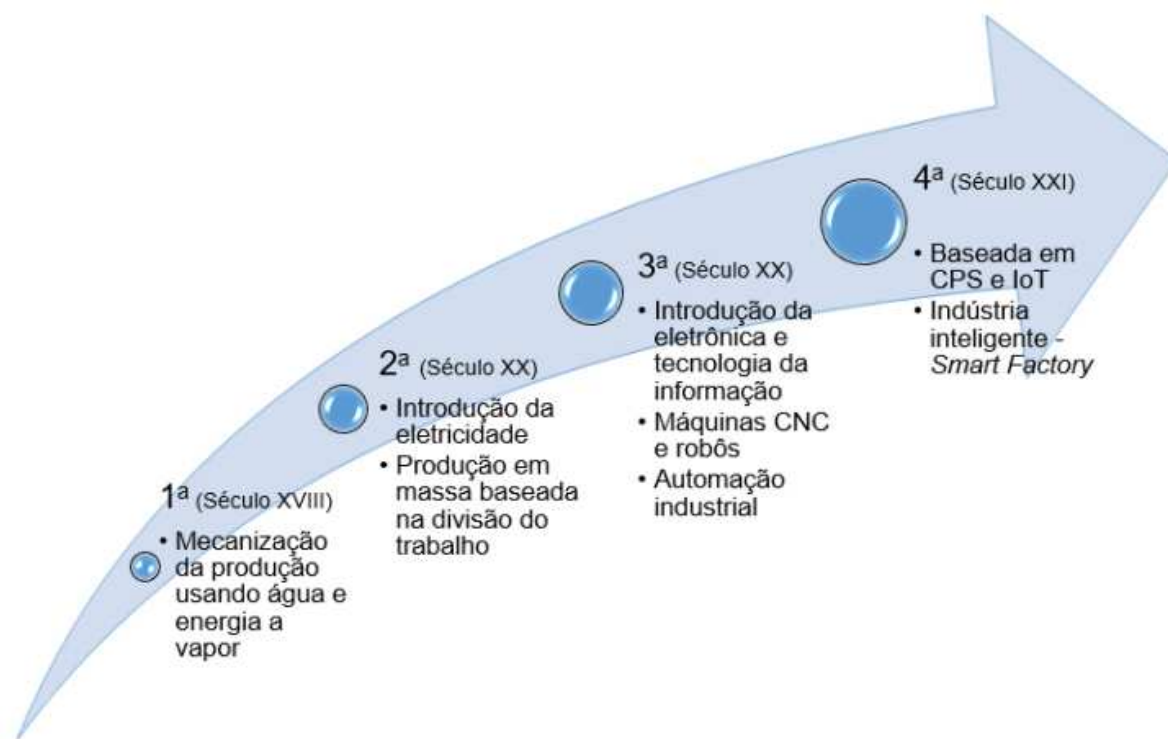


Figura 4 – Histórico das revoluções industriais
(PISCHING, 2018)

1. Primeira Revolução Industrial: iniciada na Grã-Bretanha no final do século XVIII, representou uma mudança fundamental da manufatura artesanal para a produção mecanizada. Caracterizada pela inovação da máquina a vapor, desenvolvida por James Watt, esta revolução transformou não apenas os processos de produção, mas também as estruturas sociais e econômicas. A introdução de fábricas centralizadas e o aumento da urbanização foram marcas distintas deste período, além do uso intensivo do carvão como fonte de energia e a invenção de máquinas têxteis significativas, como o tear mecânico.

2. Segunda Revolução Industrial: Marcando a transição para a produção em massa e a eletrificação, a Segunda Revolução Industrial foi impulsionada pelo desenvolvimento de processos químicos, eletrificação, e pela invenção do motor de combustão interna. Este período testemunhou avanços significativos em diversas indústrias, particularmente a automobilística e de aço, com a introdução da linha de montagem por Henry Ford como um marco histórico. Os avanços em comunicação e transporte, incluindo o telégrafo, telefone e expansão das ferrovias, foram também elementos cruciais deste período.

3. Terceira Revolução Industrial: Foi marcada pelo surgimento e proliferação de tecnologias de informação e comunicação. O desenvolvimento do microprocessador, a expansão dos computadores pessoais e o surgimento da Internet reformularam a economia global e a interação social. Este período também viu o advento da automação e robótica na manufatura e o uso de

software para integrar e gerenciar operações de negócios de forma mais eficiente.

4. Quarta Revolução Industrial: A Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, iniciada no século XXI, é caracterizada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas. Elementos centrais desta revolução incluem a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (Inteligência Artificial (IA)), robótica avançada, impressão 3D, e a integração de tecnologias como realidade aumentada e virtual, além de *big data* e analytics. Esta era está redefinindo os métodos de produção, possibilitando maior personalização e eficiência, e transformando as relações industriais e comerciais em uma escala global.

2.6.2 Principais Tecnologias da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 incorpora inovações tecnológicas e métodos revolucionários, como descrito abaixo:

- *Big Data*: Com a existência de sistemas computacionais avançados, computadores de alta capacidade e redes de comunicação extensas e acessíveis, torna-se viável armazenar rapidamente uma vasta quantidade de dados. Esses dados, após serem processados e analisados em tempo real, proporcionam uma base sólida para decisões mais precisas e confiáveis, a partir de informações valiosas.
- *Análise Avançada*: Esta técnica envolve o uso de métodos e ferramentas sofisticadas para gerar previsões a partir de grandes volumes de dados (*Big Data*). Ela permite a realização de simulações e análises de cenários para prever riscos, tomar decisões informadas e otimizar processos. Ao contrário dos modelos convencionais, que se concentram na análise de dados históricos, as ferramentas de análise avançada focam na predição de eventos e tendências futuras.
- *Internet das Coisas (IoT)*: Este conceito envolve a conexão de dispositivos cotidianos, máquinas, veículos de transporte, eletrodomésticos e até objetos menores à internet, criando uma interação e uma "leitura" do ambiente circundante por meio de sensores (como de temperatura, umidade, presença etc.). Esta integração transforma objetos estáticos em elementos ativos de uma rede complexa, que utiliza as informações coletadas de maneira inteligente. Acredita-se que esta interconexão digital fomente o desenvolvimento de novos produtos e serviços inovadores.

2.6.3 Protocolo de Comunicação

Um protocolo de comunicação é um conjunto de regras e convenções que permitem a troca de informações entre dispositivos dentro de uma rede. Esses protocolos definem como

os dados devem ser formatados, transmitidos, recebidos e processados para garantir que a comunicação entre os dispositivos seja eficiente e sem erros. Os protocolos de comunicação são essenciais para a interoperabilidade de sistemas, permitindo que diferentes tipos de hardware e software se comuniquem de maneira eficaz.

Os protocolos de comunicação são essenciais para a troca eficiente e segura de informações entre dispositivos em uma rede. Entre os mais comuns estão o TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), que forma a base da internet, garantindo a entrega confiável e o encaminhamento de pacotes de dados. HTTP (HyperText Transfer Protocol) é amplamente utilizado para a transferência de dados na web, definindo como as mensagens são formatadas e transmitidas entre clientes e servidores. HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) adiciona uma camada de segurança ao HTTP, utilizando criptografia SSL/TLS para proteger os dados transmitidos. FTP (File Transfer Protocol) e SFTP (SSH File Transfer Protocol) são usados para transferir arquivos entre sistemas, com o SFTP oferecendo uma camada adicional de segurança. SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) e IMAP (Internet Message Access Protocol) são comumente utilizados para a transmissão e o recebimento de e-mails, respectivamente. Além disso, Bluetooth e Zigbee são protocolos de comunicação sem fio utilizados para conectar dispositivos em redes de curto alcance, frequentemente em aplicações de IoT e automação residencial.

O MQTT, conhecido como *Message Queuing Telemetry Transport*, é um protocolo de comunicação. Sua principal característica é o modelo de publicação e assinatura, como exemplificado na figura 5, que permite a troca de mensagens entre dispositivos eficientemente. Neste modelo, os dispositivos publicam mensagens em "tópicos" específicos, e outros dispositivos que se inscrevem nesses tópicos recebem as mensagens. Esse método facilita a comunicação entre uma ampla gama de dispositivos sem necessitar de interações diretas, possibilitando uma rede IoT mais flexível e escalável. (OASIS, 2022)

MQTT Publish / Subscribe Architecture

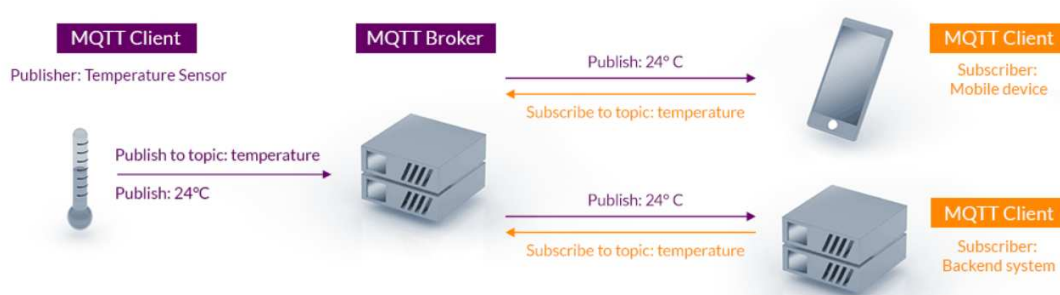


Figura 5 – Arquitetura MQTT Publish / Subscribe
(OASIS, 2022)

Um dos pontos fortes do MQTT é a sua leveza, fazendo com que seja ideal para redes com restrições de largura de banda ou recursos limitados. O protocolo minimiza o uso de dados por cabeçalhos de pacotes pequenos. Além disso, oferece diferentes níveis de Qualidade de Serviço (Qualidade de Serviço (QoS)) para a entrega de mensagens. Estes níveis variam desde

a entrega de mensagens sem confirmação até a garantia de que a mensagem será entregue exatamente uma vez, o que é crucial para assegurar a confiabilidade e a integridade dos dados.

Na prática, o MQTT é amplamente utilizado em várias aplicações de IoT, desde automação residencial e industrial até monitoramento de saúde e telemetria veicular. Sua capacidade de lidar com redes instáveis e a funcionalidade de retenção de mensagens, onde a última mensagem de um tópico é armazenada para entrega imediata a novos assinantes, torna-o particularmente útil em cenários onde a conectividade constante não pode ser garantida. Assim, o MQTT destaca-se como uma escolha eficiente e confiável para a comunicação em sistemas de IoT, oferecendo uma solução robusta para os desafios de conectividade e gerenciamento de dados nesses ambientes.

Em resumo, as principais vantagens de se usar o protocolo MQTT na aplicação de IoT são:

1. **Leveza e Baixo Uso de Banda:** O MQTT foi projetado para ser um protocolo leve, com cabeçalhos de pacotes pequenos. Isso o torna ideal para redes IoT, onde a largura de banda pode ser limitada e os dispositivos muitas vezes têm capacidade de processamento e armazenamento reduzidas.
2. **Eficiência em Comunicação Assíncrona:** Utilizando o modelo *publish-subscribe*, o MQTT permite a comunicação assíncrona entre dispositivos. Os dispositivos podem publicar informações em um tópico sem se preocupar com os destinatários específicos, e os assinantes podem receber atualizações de tópicos de interesse sem a necessidade de solicitações constantes.
3. **Funciona Bem em Redes Instáveis:** O MQTT pode operar eficazmente mesmo em redes com conexões instáveis, o que é comum em muitos ambientes IoT. Os mecanismos de retransmissão e confirmação de mensagens do protocolo ajudam a garantir a entrega mesmo em condições adversas.
4. **Diversos Níveis de Qualidade de Serviço (QoS):** O MQTT oferece diferentes níveis de QoS, permitindo que os desenvolvedores escolham entre a entrega de mensagens 'no máximo uma vez', 'pelo menos uma vez', ou 'exatamente uma vez'. Essa flexibilidade ajuda a equilibrar a eficiência e a confiabilidade conforme necessário.
5. **Retenção de Mensagens:** O MQTT suporta a retenção de mensagens, o que significa que uma mensagem pode ser mantida pelo broker e entregue a novos assinantes de um tópico. Além disso, oferece um recurso chamado *Last Will and Testament* (Last Will and Testament (LWT)), que permite aos dispositivos definir uma mensagem final a ser enviada caso percam a conexão inesperadamente, útil para monitoramento de status e alertas.
6. **Segurança:** Embora o MQTT por si só não defina métodos de criptografia, ele pode ser utilizado em conjunto com protocolos de segurança como o TLS/SSL para garantir a segurança na transmissão de dados.

7. Escalabilidade: O modelo de publicação e assinatura do MQTT facilita a escalabilidade das aplicações IoT. Pode-se facilmente adicionar mais dispositivos e tópicos sem uma grande sobrecarga no sistema.

2.6.4 Desafios da IoT

Um dos maiores desafios da Internet das Coisas (IoT) é a segurança, sendo um desafio complexo e crítico, devido à conexão entre o mundo físico e a internet e à variedade de dispositivos envolvidos. As propriedades fundamentais de segurança em sistemas de IoT incluem:

- Confidencialidade assegura que informações sensíveis armazenadas e transmitidas por dispositivos IoT não sejam acessadas por indivíduos não autorizados.
- Integridade dos dados transmitidos por dispositivos IoT, frequentemente por conexões sem fio, deve ser mantida, permitindo alterações apenas por partes autorizadas.
- Uma Identificação precisa de entidades é primordial para qualquer operação em sistemas de IoT.
- Autorização refere-se ao processo de permitir que usuários acessem o sistema IoT, como sensores físicos.
- Disponibilidade trata-se dos serviços fornecidos pelos sistemas de IoT devem estar continuamente acessíveis para as partes autorizadas.

Estas propriedades garantem que informações sensíveis sejam protegidas, dados sejam transmitidos seguramente, entidades sejam corretamente identificadas e validadas, acesso seja controlado e serviços estejam disponíveis para usuários autorizados. Desafios como a gestão de chaves criptográficas, validação de dados e controle de acesso em um ecossistema diversificado de dispositivos destacam a complexidade da segurança em IoT.

Cada aspecto da segurança da IoT exige uma abordagem específica. Por exemplo, a confidencialidade exige criptografia e gestão de chaves, enquanto a integridade depende de mecanismos para validar a autenticidade dos dados. A autenticação em IoT deve ser leve e adaptável, considerando a diversidade de dispositivos com diferentes capacidades. A autorização precisa de um controle eficaz em um sistema dinâmico e escalável. A disponibilidade, além de resistir a ataques, deve garantir a resiliência a falhas.

Dada a importância da IoT em vários setores, como saúde, indústria e logística, é crucial desenvolver soluções seguras e escaláveis que se adaptem a um ambiente em constante mudança. Isso requer colaboração entre desenvolvedores, fabricantes e usuários, além de normas e regulamentações que promovam práticas de segurança eficazes. Segurança na IoT é importante e precisa ser feita integradamente para proteger os sistemas de IoT de ameaças.

3 ARQUITECTURA DO SISTEMA

Neste capítulo é realizada uma descrição detalhada de toda a arquitectura do problema em questão. É apresentada uma visão geral de todo o trabalho prático desenvolvido,

3.1 VISÃO GERAL

O sistema representado pela figura 6, mostra como o sistema foi montado considerando os sensores DHT22, MPU6050 e o *Global Positioning System* (GPS), estes estão sendo conectados no ESP32 que faz a leitura e interpretação dos dados enviado eles posteriormente por *Wi-Fi* ou por chip de telefonia móvel Global System for Mobile Communications (Global System for Mobile Communications (GSM)), através do protocolo de comunicação MQTT.

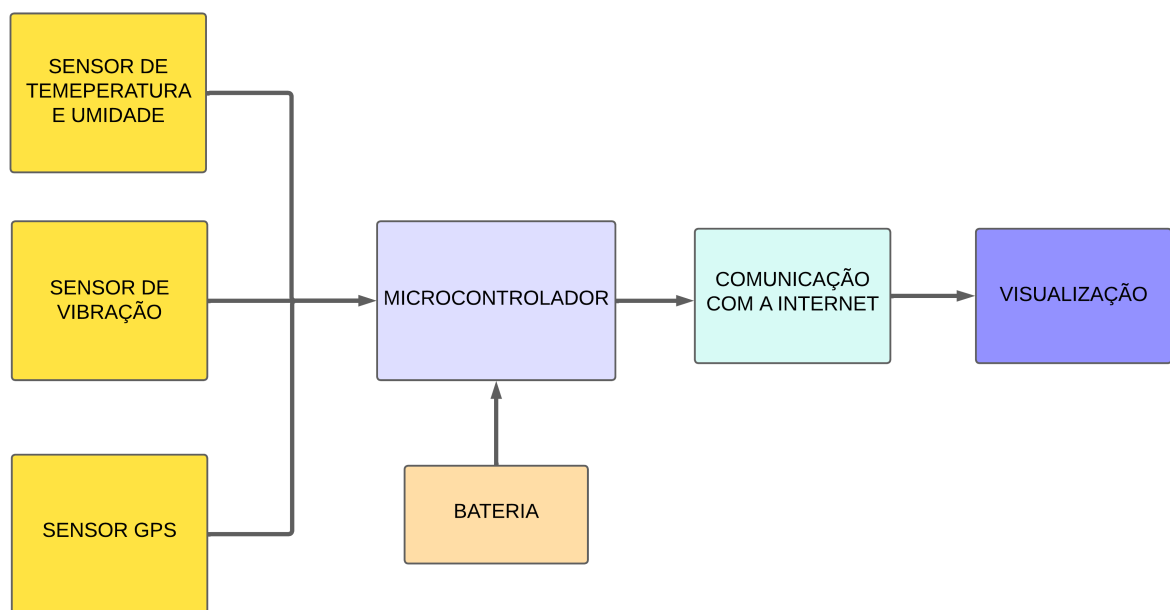


Figura 6 – Diagrama em blocos do sistema.
Fonte: Elaboração própria.

3.1.0.1 Sensores e Módulos

ESP 32

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e de alta performance amplamente utilizado para aplicações em sistemas embarcados, especialmente em projetos de Internet das Coisas (IoT). De acordo com uma revisão técnica publicada por Gupta e Quamara em 2020 no IEEE Access, o ESP32 oferece uma série de funcionalidades avançadas, como suporte integrado para

Wi-Fi e Bluetooth, o que o torna uma escolha popular para projetos que requerem comunicação sem fio e processamento de dados em tempo real. (GUPTA; QUAMARA, 2020)



Figura 7 – ESP 32
(SYSTEMS, 2024)

O dispositivo é equipado com uma arquitetura dual-core, que pode operar até 240 MHz, e possui capacidades consideráveis de memória e armazenamento. Além disso, inclui uma gama de periféricos embutidos, como GPIOs, canais ADC, interfaces SPI, I2C, e mais, o que permite uma vasta gama de aplicações desde automação residencial até soluções industriais complexas.

Existem vários modelos e variações do ESP32, adaptando-se a diferentes necessidades de aplicação. Por exemplo, o ESP32-S2, focado em aplicações de baixo custo e baixo consumo de energia, oferece suporte a USB e uma única CPU. Outra variante, o ESP32-C3, é um chip que oferece suporte a Wi-Fi e Bluetooth LE (Low Energy), e é baseado na arquitetura RISC-V, diferentemente do ESP32 clássico que é baseado na arquitetura Tensilica Xtensa LX6.

Essa diversidade de modelos permite que desenvolvedores escolham o dispositivo mais adequado conforme os requisitos específicos de desempenho, recursos e custo para seus projetos de IoT ou sistemas embarcados.

LILYGO® T-Call V1.4

O LILYGO® T-Call V1.4 que adiciona funcionalidades de comunicação celular, juntamente com uma antena integrada e recursos de gerenciamento de energia, tornando-o uma escolha ideal para aplicações IoT que necessitam de conectividade móvel e portabilidade.

As funcionalidades adicionais desta variante do ESP32, como o LILYGO® T-Call V1.4, oferecem valor para projetos de IoT, especialmente no contexto de transporte e monitoramento móvel. Em muitos cenários de transporte, a disponibilidade de uma rede *Wi-Fi* é intermitente ou inexistente, tornando a conectividade celular uma necessidade crítica. A inclusão de um *slot* para cartão *SIM* e a capacidade de comunicação via rede móvel Global System for communication (GSM) permitem que o dispositivo envie dados essenciais, como informações de rota, temperatura e vibração, em tempo real através da telefonia móvel. Isso não só assegura a transmissão



Figura 8 – LilyGo-T-Call-SIM800
(XINYUAN-LILYGO, 2024)

contínua de dados vitais, mas também aumenta significativamente a segurança e a eficiência no monitoramento de cargas em trânsito. Dessa forma, esta variante do ESP32 se torna uma ferramenta poderosa para garantir a integridade e a rastreabilidade dos transportes monitorados.

Os aspectos técnicos do LILYGO® T-Call V1.4 são:

Característica	Descrição
MCU	ESP32
GSM/GPRS	SIM800H
SIM Nano Card Slot	Yes [2G]
Clock Speed	240Mhz
Flash	4MB/8MB
PSRAM	8MB
Wireless Connectivity	Wi-Fi: 802.11 b/g/n, <i>Bluetooth</i> : v4.2 BR/EDR and BLE
Button	EN
Charging IC	IP5306
Serial Chip	CH9102
Peripheral Interfaces	I2C, SPI, UART, SDIO, I2S, CAN
Power Supply	Support USB Type-C / Li-Po Battery Dual Power Supply, JST Connect type: JST PH 2pin 2.0mm, USB can power the battery
Others	Supports pin extension of Mic and Speaker, Ship without mic and speaker by default

Tabela 1 – Especificações do LILYGO® T-Call V1.4 ESP32
(INDUSTRIES, 2024)

DHT22

O Sensor DHT22, figura 9, também conhecido como AM2302, é um dispositivo eficiente para medir temperatura e umidade relativa do ar. É amplamente utilizado em projetos de IoT (Internet das Coisas) e automação devido à sua precisão, facilidade de uso e custo-benefício.

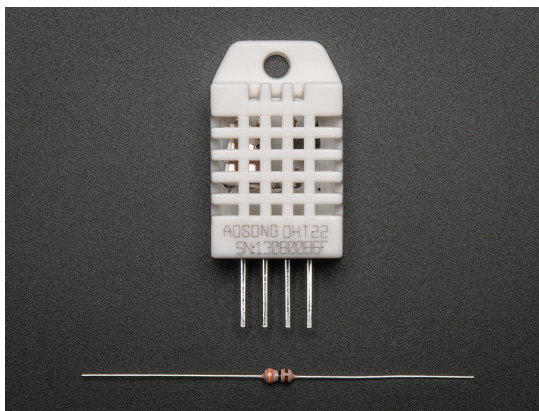


Figura 9 – DHT 22
(ALIEXPRESS, 2024)

Característica	Especificação
Faixa de Temperatura	-40°C a +80°C com precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Faixa de Umidade	0 a 100% RH com precisão de $\pm 2\%$ RH
Comunicação	Protocolo digital de um único fio
Taxa de Amostragem	Intervalos de pelo menos dois segundos

Tabela 2 – Características Principais do Sensor DHT22
(INDUSTRIES, 2024)

MPU-6050

O MPU6050, figura 10 é um sensor que incorpora tecnologia Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) (Micro-Electro-Mechanical Systems), combinando um acelerômetro e um giroscópio tridimensional em um único chip, oferecendo assim seis graus de liberdade. Este componente é enriquecido com um Processador Digital de Movimento (Processador Digital de Movimento (DMP)) que otimiza a carga de processamento do controlador principal. Adicionalmente, ele inclui um sensor de temperatura interno capaz de realizar medições na faixa de -40°C a 85 °C. O acesso às informações dos sensores é feito por meio de um barramento I2C, facilitando a integração com uma variedade de sistemas.(ELECTRONICWINGS, 2024)

- **Giroscópio:** Utilizado em smartphones para reconhecimento de gestos e determinação de posição e orientação do aparelho, os sensores giroscópicos são essenciais para monitorar orientação, movimento angular e rotação.
- **Acelerômetro:** Capaz de medir a aceleração, inclinação, ângulo de inclinação, rotação, vibração, colisões e forças gravitacionais, tornando-se uma ferramenta valiosa em diversas aplicações.

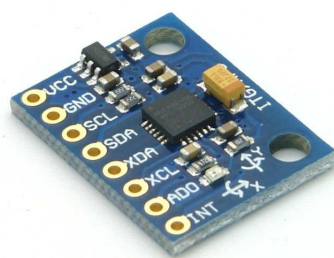


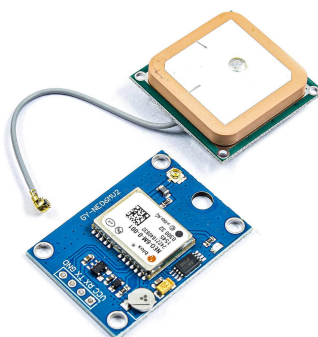
Figura 10 – MPU6050
(WAVGAT, 2024)

Especificação	Detalhe
Datasheet	MPU60-50
Tensão de Operação	3-5V
Conversor AD	16 bits
Comunicação	Protocolo padrão I2C
Faixa do Giroscópio	± 250 , 500, 1000, 2000°/s
Faixa do Acelerômetro	± 2 , ± 4 , ± 8 , $\pm 16g$
Dimensões	20 x 16 x 1mm

Tabela 3 – Especificações do Sensor MPU6050
(WAVGAT, 2024)

GPS NEO - 6M V2

O Módulo GPS NEO-6M V2 figura 11 é um dispositivo eficiente para rastreamento e localização, fornecendo informações precisas sobre latitude, longitude, data, hora e velocidade. Ele é ideal para uso com microcontroladores devido ao seu tamanho compacto, memória EEPROM e bateria integrada para backup. Compatível com interface serial de 3,3V, é necessário um conversor para uso com 5V. O sistema GPS funciona com uma constelação de satélites equipados com relógios atômicos, garantindo precisão no posicionamento.



© Photo by ElectroPeak

Figura 11 – GPS NEO - 6M V2
(MRROBOTRICK, 2018)

Bateria e regulador de tensão

Para o projeto foi escolhido o módulo da figura 12 pois já possuía integradamente um regulador

Especificação	Detalhe
Modelo	GY GPS- 6M v2
Tensão de Operação	3,3 a 5V DC
Consumo de Corrente	10mA – 100 mA
Velocidade de Transmissão Padrão	9600bps
Precisão Horizontal de Localização	2,5m
Precisão de Velocidade	0,1 m/s
Altitude Máxima	50000m (50Km)
Velocidade Máxima	500m/s (1800Km/h)
Temperatura de Operação	-40°C à 85°C

Tabela 4 – Dados Técnicos do Módulo GPS NEO-6M V2

de tensão e um interruptor *ON/OFF*.



Figura 12 – MÓDULO DA BATERIA
(HAREENDRAN, 2019)

O módulo denominado *18650 Battery Shield V3* caracteriza pela sua capacidade de integrar múltiplos componentes eletrônicos essenciais para o fornecimento e gestão de energia, sendo uma solução no contexto de sistemas de alimentação portáteis de baixo custo. De forma mais específica, este dispositivo incorpora um suporte para uma célula de bateria de íon de lítio do tipo 18650, um padrão reconhecido pela sua densidade energética e confiabilidade. A inclusão de um conector USB tipo A facilita a conexão com uma ampla gama de dispositivos eletrônicos, enquanto o interruptor de energia permite um controle eficiente sobre a ativação e desativação do circuito.

Adicionalmente, o aparelho é projetado para fornecer uma saída de tensão contínua de 5VDC através da interface USB, uma especificação comum que atende à alimentação de diversos dispositivos eletrônicos. Além disso, possui múltiplas saídas de 3VDC e 5VDC, que ampliam sua aplicabilidade em diferentes contextos de uso. As funcionalidades de proteção contra sobrecarga e descarga excessiva são vitais para garantir a segurança e a longevidade tanto da bateria

quanto do próprio dispositivo, evitando danos decorrentes de anomalias no processo de carga e descarga.

A arquitetura eletrônica do dispositivo é projetado para otimizar o desempenho e a segurança. O circuito de carregamento de bateria de íon de lítio assegura que a célula seja carregada de maneira eficiente e segura, enquanto o circuito de proteção de bateria, integrando componentes como o chip de proteção DW01V, previne situações de risco como sobrecarga e curto-circuito. O MOSFET 8205A é um componente crítico no gerenciamento de potência, enquanto o chip carregador TC4056A é responsável por regular o processo de carregamento, assegurando a correta aplicação da corrente e da tensão. O conversor boost CC-CC, exemplificado pelo modelo FP6298, é fundamental para elevar a tensão de saída, permitindo que o dispositivo forneça tensões superiores às aquelas armazenadas na bateria.

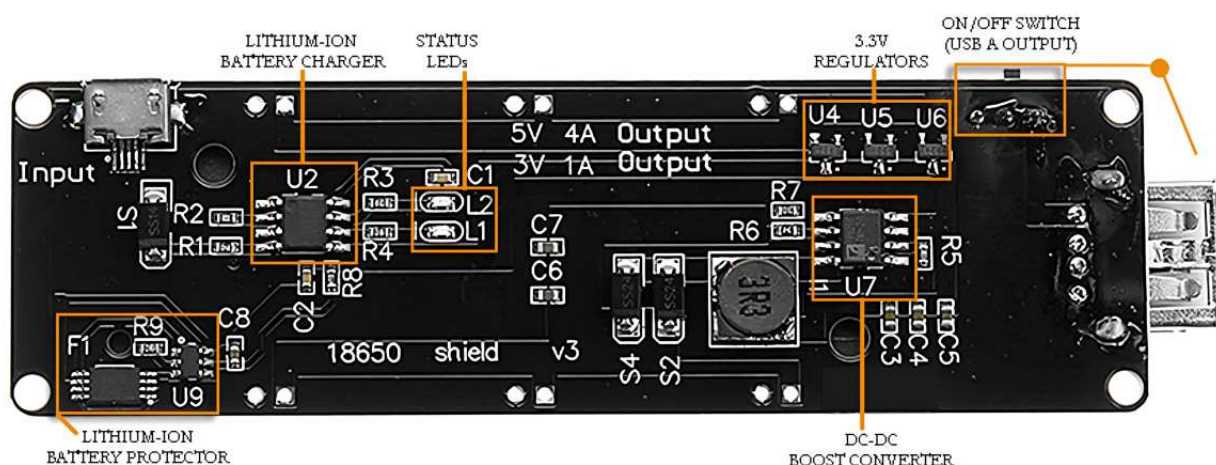


Figura 13 – 18650 Battery Shield V3
(HAREENDRAN, 2019)

COMPONENTE	DESCRIÇÃO
U9 = DW01V	Chip de proteção para bateria Li-Ion 1S
F1 = 8205A	MOSFET Duplo de Canal N
U2 = TC4056A	Chip carregador para bateria Li-Ion 1S
U7 = FP6298	Chip conversor boost de modo corrente DC-DC 4.5A
U4, U5, U6 = 662K (XC6206xxxx)	Chip regulador de tensão positiva (3,3V)
L1 = LED Verde	Indicador de carga da bateria (CHGD)
L2 = LED Vermelho	Indicador de carregamento da bateria (CHRG)
S1, S2, S4 = Diodos Schottky	S1 = SS14 & S2, S4 = SS24

Tabela 5 – Descrição dos Componentes do shield da bateria
(HAREENDRAN, 2019)

3.2 PROTÓTIPO DO SISTEMA

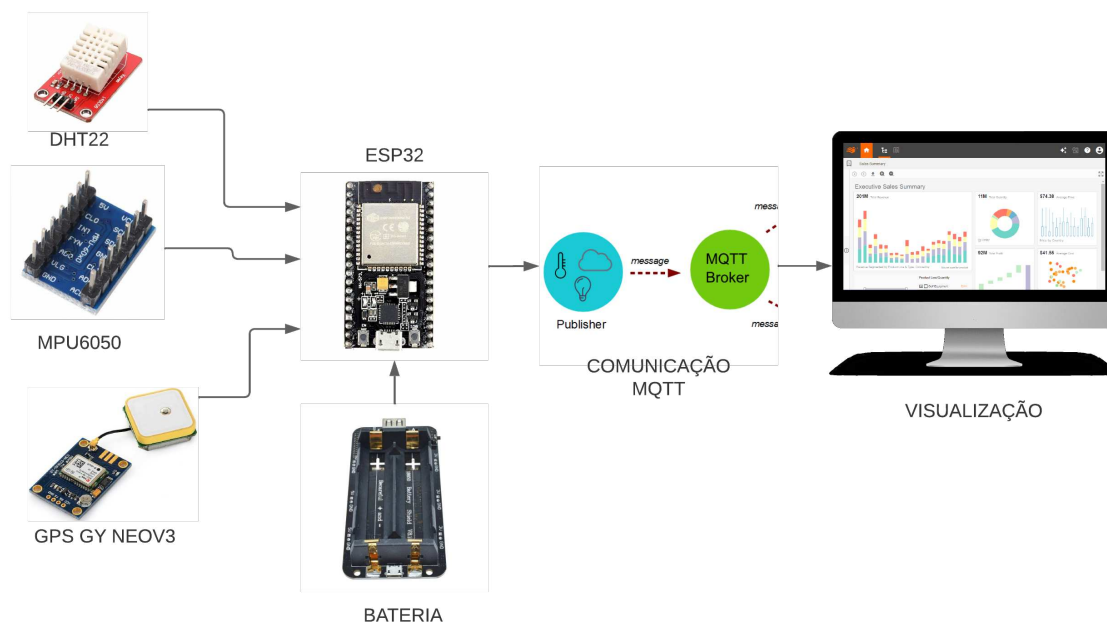


Figura 14 – Arquitetura do Sistema
Fonte: Elaboração própria.

O sistema descrito na Figura 15 representa uma solução para a coleta e análise automatizada de dados, operando com base em um conjunto de regras pré-estabelecidas. Este sistema utiliza o protocolo MQTT para a transmissão eficiente de dados.

Central para o funcionamento deste sistema é o microcontrolador ESP32, responsável pela leitura de dados de diversos sensores. Estes incluem o sensor DHT22, para medições de temperatura e umidade; o sensor MPU6050, para detecção de vibrações; e o módulo GPS NEO-6M V2, para a aquisição de dados de posicionamento geográfico. O ESP32 é alimentado por uma bateria de 3,7V, garantindo autonomia e sustentabilidade energética ao sistema.

Um aspecto chave do sistema é a sua capacidade de comunicação via MQTT, mesmo em cenários desafiadores como estradas, onde a conectividade *Wi-Fi* pode ser inexistente ou instável. Para isso, o ESP32 foi projetado para suportar a inserção de um chip de celular, possibilitando a transmissão de dados via redes de telefonia móvel.

Na etapa final do processo, o Node-RED é utilizado para a regulação e processamento dos dados coletados. Após esta etapa, os dados processados são enviados para o InfluxDB, um banco de dados otimizado para o armazenamento de séries temporais. A visualização e análise desses dados são facilitadas pelo uso do Grafana, um software de visualização de dados, proporcionando uma interface intuitiva e detalhada para a interpretação das informações coletadas.

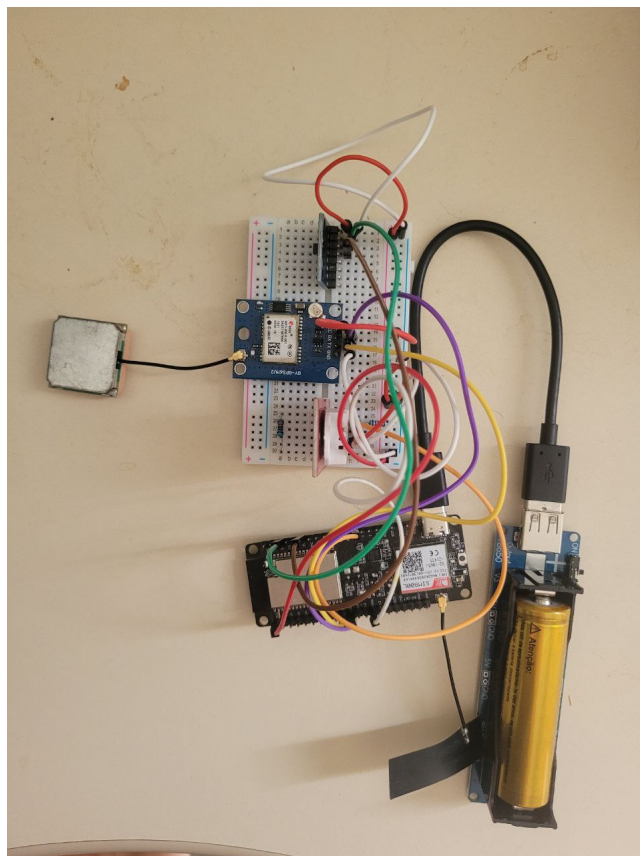


Figura 15 – Protótipo do dispositivo.
Fonte: Elaboração própria.

3.2.1 Arquitetura de Hardware

3.2.1.1 ESP32

O ESP32, um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems, apresenta características que o qualificam como uma solução eficiente para aplicações em ambientes industriais e de Internet das Coisas (IoT). Sua robustez, eficiência energética e elevado nível de integração o tornam adequado para uma gama diversificada de aplicações, incluindo dispositivos móveis, eletrônicos vestíveis e sistemas autônomos. A seguir, descrevem-se detalhadamente suas características técnicas e aplicações. (SYSTEMS, 2024)

3.2.1.2 Principais vantagens do ESP32

- **Robustez em Design:** O ESP32 opera eficazmente em um amplo espectro térmico, com uma faixa operacional de temperatura que varia de -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Esta capacidade é

crucial para aplicações industriais onde condições extremas são frequentes. A robustez é ainda mais reforçada por circuitos avançados de calibração, permitindo ao microcontrolador mitigar imperfeições em circuitos externos e ajustar-se a variações ambientais. Esta adaptabilidade dinâmica é um diferencial significativo, assegurando desempenho consistente em diversas condições operacionais.

- **Energética Eficiência Energética** O ESP32 foi criado para ser eficiente em energia, o que é muito importante para dispositivos móveis e aplicações IoT. Através da implementação de software proprietário específico, o dispositivo consegue otimizar o consumo de energia. Além disso, tem várias funcionalidades que ajudam a reduzir o consumo de energia em momentos de baixa atividade.
- **Energética Integração Avançada** O ESP32 destaca-se pelo seu alto nível de integração. Com componentes internos como switches de antena, balun de RF, amplificador de potência, amplificador de recepção de baixo ruído, filtros e módulos de gerenciamento de energia, o microcontrolador minimiza a necessidade de componentes externos adicionais. Esta integração resulta em uma redução de custos e complexidade no design de Placas de Circuito Impresso (PCB), além de facilitar o processo de desenvolvimento e montagem de dispositivos.
- **Energética Funcionalidade Híbrida** Um aspecto técnico relevante do ESP32 é a sua capacidade híbrida de operar com *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Esta dualidade permite que o ESP32 funcione tanto como um sistema autônomo quanto como um dispositivo secundário vinculado a um MCU principal. Esta flexibilidade reduz a sobrecarga da pilha de comunicação no processador principal, otimizando o desempenho geral do sistema. Além disso, o ESP32 pode se conectar a outros sistemas por meio de interfaces SPI/SDIO ou I2C/UART, oferecendo funcionalidades de *Wi-Fi* e *Bluetooth*.

3.2.1.3 Firmware e Arduino IDE

O Arduino Integrated Development Environment (IDE) é uma plataforma de desenvolvimento de código aberto que serve como um facilitador para a programação de microcontroladores da série Arduino. Sendo uma escolha excepcional para programar o ESP32 em projetos de Internet das Coisas (IoT). Esta escolha se justifica por diversas vantagens que o Arduino IDE oferece.

Primeiramente, sua compatibilidade com o ESP32, é fundamental devido às suas funcionalidades integradas de *Wi-Fi*, *Bluetooth*, GSM no caso do modelo LILYGO® T-Call V1.4. Essas características permitem uma comunicação eficiente e a possibilidade de transmitir dados coletados para redes ou plataformas em nuvem. Além disso, o Arduino IDE é conhecido por sua

interface de usuário intuitiva e sua linguagem de programação baseada em C/C++, que torna o desenvolvimento facilitado, devido a sua comunidade ser grande e bastante participativa.

Um aspecto crucial do Arduino IDE é a ampla biblioteca de recursos disponíveis, que inclui suporte para uma variedade de sensores e módulos. Essas bibliotecas prontas aceleram significativamente o processo de desenvolvimento, permitindo que os desenvolvedores se concentrem mais na implementação do projeto do que na complexidade da programação. A flexibilidade e a escalabilidade do código desenvolvido no Arduino IDE são outras vantagens importantes, facilitando a atualização ou expansão do projeto conforme necessário.

A linguagem C, sendo a base da programação no Arduino IDE, desempenha um papel vital nesse projeto. Ela oferece controle e eficiência de baixo nível sobre o hardware, essenciais em aplicações IoT onde o desempenho e a otimização de recursos são cruciais. A linguagem C promove uma programação estruturada, tornando o código mais compreensível e manutenível. Além disso, sua portabilidade e versatilidade significam que o software desenvolvido pode ser facilmente adaptado para outros sistemas e microcontroladores, se necessário.

No contexto do projeto de monitoramento de transporte de alimentos, a utilização do Arduino IDE para programar o ESP32, juntamente com as vantagens da linguagem C, permite a integração eficiente de sensores como o DHT22, MPU6050 e o módulo GPS NEO-6M V2 possuindo bibliotecas prontas para cada sensor.

3.2.1.4 Fluxo de Dados e Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta inovadora de programação visual, inicialmente desenvolvida pela IBM, que se tornou amplamente adotada para projetos de Internet das Coisas (IoT) devido à sua abordagem intuitiva e baseada em fluxos. Essa plataforma permite que os usuários, mesmo aqueles com pouca experiência em programação, conectem dispositivos de hardware, interfaces de programação de aplicativos (APIs) e serviços online de forma eficiente e flexível.

Utilizando uma interface gráfica de arrastar e soltar, o Node-RED facilita a construção de lógicas de aplicativos sem a necessidade de escrever código complexo, tornando-se uma escolha popular para automação e desenvolvimento IoT. Sua capacidade de integrar uma ampla gama de módulos e sua comunidade ativa de usuários contribuem para sua extensibilidade e adaptabilidade a diferentes necessidades e cenários.

Em aplicações IoT, como no monitoramento de transporte de alimentos, onde dispositivos como o ESP32 são utilizados para coletar dados de sensores, o Node-RED desempenha um papel crucial na comunicação e no processamento desses dados. O ESP32, um microcontrolador potente, envia dados coletados como temperatura, umidade, e coordenadas GPS-utilizando o protocolo MQTT, sendo um protocolo de mensagem leve e eficaz para ambientes IoT com limitações de largura de banda.

Os dados enviados pelo ESP32 geralmente estão no formato JSON, conhecido por sua leveza e facilidade de interpretação tanto por humanos quanto por máquinas. Após o recebimento desses dados, o Node-RED pode processá-los, realizando funções como filtragem, análise ou transformação, conforme necessário para o projeto específico.

Finalmente, uma vez processados, esses dados podem ser enviados do Node-RED para o InfluxDB, um banco de dados de série temporal otimizado para armazenar e recuperar dados de série temporal. Essa integração permite que as leituras de sensores sejam armazenadas eficientemente para análises futuras ou monitoramento em tempo real.

Portanto, a combinação do Node-RED com o ESP32 e o InfluxDB cria uma solução robusta e flexível para projetos de IoT, permitindo a coleta, processamento e armazenamento de dados de forma eficaz, o que é fundamental em aplicações como o monitoramento de qualidade e condições em transporte de alimentos.

3.2.1.5 Integração com InfluxDB e Grafana

O InfluxDB, em conjunto com o Grafana, forma uma dupla potente para a análise e visualização de dados, especialmente valiosa em contextos de Internet das Coisas (IoT) e monitoramento em tempo real. Esta combinação é altamente eficaz para gerenciar e exibir alta quantidade de dados de séries temporais, uma necessidade comum em pesquisas e projetos de desenvolvimento tecnológico.

O InfluxDB é um banco de dados de séries temporais especializado, concebido especificamente para lidar com a escrita e a consulta de grandes volumes de dados cronologicamente ordenados. Esta especialização o torna ideal para aplicações IoT, onde sensores e dispositivos geram continuamente abundantes de dados. O InfluxDB se destaca pela sua capacidade de armazenar e recuperar eficientemente dados temporalmente indexados, pela linguagem de consulta avançada e pela facilidade de integração com diversas fontes de dados, como o Node-RED.

Por outro lado, o Grafana é uma plataforma open source para análise e visualização de dados, reconhecida pela sua capacidade de criar painéis dinâmicos e interativos para visualização de dados em tempo real. A plataforma é notável pela sua interface de usuário intuitiva, suporte a uma ampla variedade de tipos de gráficos, personalização flexível e capacidade de integração com múltiplas fontes de dados, incluindo o InfluxDB.

Em aplicações práticas de IoT, como no monitoramento de transporte de alimentos, onde parâmetros como temperatura, umidade e localização são cruciais, o InfluxDB pode ser usado para armazenar dados coletados por sensores eficientemente, facilitando consultas rápidas e análises detalhadas. Paralelamente, o Grafana pode ser utilizado para visualizar esses dados armazenados no InfluxDB, apresentando-os em formatos visuais de fácil compreensão, e facilitam a interpretação e análise.

Os painéis do Grafana podem mostrar tendências em tempo real, oferecendo aos pes-

quisadores ou operadores a capacidade de monitorar as condições de transporte e responder rapidamente a quaisquer desvios das condições normais. Assim, a integração do InfluxDB com o Grafana oferece uma solução completa e sofisticada para o gerenciamento e a visualização de dados em projetos de IoT, permitindo o armazenamento eficiente de grandes volumes de dados de séries temporais e a sua análise e visualização em tempo real. Essa combinação é crucial para decisões baseadas em dados e para a otimização contínua de processos e sistemas.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo detalha o trabalho prático desenvolvido ao longo deste projeto, bem como as ferramentas empregadas em sua execução. Através da Figura 14, apresenta-se abrangente a interconexão estabelecida entre o ESP32 e os protocolos de comunicação utilizados.

O objetivo deste trabalho é a concepção de um dispositivo de baixo custo capaz de monitorar dados durante o transporte de alimentos. Tal necessidade motivou o desenvolvimento de uma conexão contínua com a internet ao longo do trajeto, garantindo um monitoramento eficaz. Nesse contexto, foi criada uma aplicação capaz de transmitir dados via GSM utilizando o formato JSON, visando à redução do consumo de dados móveis e à compactação das mensagens. Adicionalmente, foram implementados diversos mecanismos de economia de energia para otimizar a eficiência da bateria do dispositivo.

Os dados transmitidos pela internet são encaminhados ao Node-RED para processamento e, em seguida, armazenados no banco de dados. Posteriormente, esses dados são enviados para o software de visualização, facilitando uma visualização aprimorada das informações coletadas durante o transporte. O teste de funcionamento do dispositivo em situação real pode ser visto na figura 16.



Figura 16 – Simulação do dispositivo em situação real
Fonte: Elaboração própria.

Após a finalização desse processo de codificação, o circuito eletrônico do ESP32 é transferido para uma placa de circuito impresso (PCI), cujo esquemático e layout foram elaborados utilizando o software EAZYEDA. Este procedimento não apenas concretiza o design eletrônico, mas também assegura a funcionalidade e a eficácia do dispositivo no monitoramento de transporte de alimentos, alinhando-se aos objetivos iniciais do projeto.

4.1 PROJETO

4.1.1 Viabilidade do Projeto

No início do projeto, realizou-se um estudo de viabilidade, que envolveu uma pesquisa em diversos websites, como sensores e microcontroladores. O objetivo era identificar componentes figura: 6 com preços competitivos para assegurar que o projeto mantivesse seu compromisso com a acessibilidade financeira. Esta pesquisa permitiu a seleção de itens que ofereciam o melhor custo-benefício, essencial para atingir a meta de baixo custo do projeto. Os valores encontrados, listados em real, refletem essa cuidadosa seleção de componentes economicamente viáveis para a implementação do dispositivo.

COMPONENTE	PREÇO (R\$)
MPU6050	8,52
GPS	15,06
MICROCONTROLADOR LILYGO TTCALL 1.4V	91,74
DHT22	9,58
BATTERY SHIELD	25,95
TOTAL	150,85

Tabela 6 – Preços dos componentes em R\$
(ALIEXPRESS, 2024)

Considerando que plataformas como InfluxDB, Node-RED e Grafana são todos *open source*, portanto os custos associados ao uso desses softwares são inexistentes, contribuindo para a economicidade do projeto. Ademais, a funcionalidade do dispositivo requer apenas um plano de internet móvel. No entanto, para maximizar a eficiência no uso de dados e reduzir custos operacionais, foram desenvolvidos mecanismos no projeto que limitam a frequência de transmissão dos dados. Assim, os dados não são enviados continuamente, mas sim em intervalos predeterminados, resultando em uma significativa economia de dados. A arquitetura do sistema foi projetada para armazenar inicialmente os dados na memória interna do ESP32 e transmiti-los posteriormente em formato JSON, uma abordagem que otimiza o uso do plano de dados.

Adotou-se uma metodologia quantitativa para mensurar o volume de dados transmitidos por um dispositivo Arduino em um cenário controlado. A dimensão da mensagem JSON, elemento central na transmissão de dados, foi determinada utilizando-se a função `jsonString.length()`. Esse procedimento foi executado no ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, onde a saída foi diretamente observada através da impressão dos resultados na interface de comunicação serial.

A análise revelou que o tamanho médio da mensagem JSON transmitida era de aproximadamente 330 bytes. Considerando que a política de envio estabelece uma frequência de transmissão de uma mensagem a cada cinco minutos, foi possível projetar o consumo de dados para um período estendido. Com base nesta frequência, estima-se que o volume total de dados

transmitidos em um mês seja menos de 5 gigabytes, incluindo uma margem de segurança.

4.1.2 Programação de Software

O software foi elaborado utilizando a plataforma Arduino IDE, onde o código foi estruturado em módulos distintos para facilitar a organização e a manutenção. Esses módulos incluem a Conexão (tanto Wi-Fi quanto GSM), a Leitura dos Sensores (capturando dados de múltiplos dispositivos como o MPU6050, DHT22, módulo de Global Positioning System (GPS)), o Armazenamento de Dados (utilizando o sistema de arquivos *SPIFFS* para armazenar localmente as informações coletadas) e a Transmissão de Dados (enviando os dados armazenados para um *broker* MQTT em intervalos definidos ou com base em certos critérios, como a temperatura exceder um limite pré-estabelecido).

No início do projeto, devido à ausência do sensor GPS, utilizamos um método alternativo para emular essa funcionalidade: um aplicativo de smartphone chamado *OwnTracker*. Este aplicativo transmitia os dados da localização do meu celular via internet, permitindo que a localização fosse capturada e interpretada pelo Node-RED. Essa abordagem temporária possibilitou a simulação eficaz dos dados de GPS até que o sensor real estivesse disponível.

As bibliotecas utilizadas no projeto incluem `<WiFi.h>`, `<PubSubClient.h>`, `<Adafruit MPU6050.h>`, `<Adafruit Sensor.h>`, `<Wire.h>`, `<DHT.h>`, `<ArduinoJson.h>`, `<TinyGsmClient.h>`, `<SoftwareSerial.h>`, `<SPIFFS.h>` e `<TinyGPSPlus.h>`. Todas essas bibliotecas estão disponíveis no repositório de bibliotecas da Arduino IDE, facilitando a inclusão e atualização no ambiente de desenvolvimento.

A parte de conectividade *Wi-fi* e GSM são definidas conforme o código abaixo:

```

1 #define TINY_GSM_MODEM_SIM800
2 #define MODEM_RST 5
3 #define MODEM_PWKEY 4
4 #define MODEM_POWER_ON 23
5 #define MODEM_TX 27
6 #define MODEM_RX 26
7 #define GSM_PIN ""
8
9 #define GPS_RX_PIN 34
10 #define GPS_TX_PIN 12
11
12 #define DHTPIN 4
13 #define DHTTYPE DHT22
14
15 const char* ssid = "GARBELLOTTO";
16 const char* password = "garbellotto95";
17 const char* broker = "broker.hivemq.com";
18 const char* topic = "node/transport/bioma/";

```

```

19
20 const char apn[] = "zap.vivo.com.br";
21 const char gprsUser[] = "";
22 const char gprsPass[] = "";
23 const char simPIN[] = "6627";

```

Listing 4.1 – Configuração Wi-fi e GSM

Fonte: Elaboração própria.

Os dados coletados pelos sensores são primeiramente armazenados internamente no ESP32 utilizando o sistema de arquivos *SPIFFS*. Isso garante que as informações sejam preservadas até que estejam prontas para serem transmitidas. O dispositivo foi programado para tentar enviar esses dados para um *broker* MQTT, especificado anteriormente, utilizando uma conexão Wi-Fi como primeira opção. Essa preferência pelo Wi-Fi se deve ao fato de que a transmissão via Wi-Fi consome menos banda de dados móveis e é mais eficiente em termos de consumo de energia em comparação com a conexão via rede móvel.

O procedimento estabelecido determina que a transmissão dos dados ocorra a cada 5 minutos. Durante o intervalo entre as transmissões, o ESP32 continua coletando e armazenando os dados dos sensores. Caso a conexão Wi-Fi falhe ou não esteja disponível, o dispositivo automaticamente tentará enviar os dados acumulados através da rede GSM. Esse mecanismo de *fallback* garante a entrega dos dados ao *broker*, maximizando a confiabilidade e a eficiência do sistema em diferentes cenários de conectividade.

```

1 boolean mqttConnect() {
2     Serial.print("Conectando a ");
3     Serial.print(broker);
4
5     if (client.connect("espClient")) {
6         Serial.println(" conectado via WiFi");
7         return true;
8     } else {
9         Serial.println(" falha na conex o WiFi, tentando GSM...");
10        modem.init();
11        modem.simUnlock(GSM_PIN);
12        if (!modem.waitForNetwork()) {
13            Serial.println("Falha na rede GSM");
14            return false;
15        } else {
16            if (!modem.gprsConnect(apn, gprsUser, gprsPass)) {
17                Serial.println("Falha na conex o GPRS");
18                return false;
19            } else {
20                client.setClient(gsmClient);
21                if (client.connect("espClient")) {
22                    Serial.println(" conectado via GSM");
23                    return true;
24                } else {

```

```

25         Serial.println(" falha na conex o GSM");
26         return false;
27     }
28 }
29 }
30 }
31 }

```

Listing 4.2 – Função mqttConnect

Fonte: Elaboração própria.

A escolha do formato JSON observado no código abaixo para armazenar e transmitir os dados dos sensores é estratégica, considerando sua eficiência e compatibilidade ampla. Sua estrutura leve e legível facilita a interpretação por diversos sistemas, otimizando a comunicação e o processamento de dados. Isso se alinha perfeitamente à necessidade de economizar energia e dados móveis, aspectos críticos em aplicações IoT.

```

1
2 void publishData() {
3     if (!client.connected()) {
4         mqttConnect();
5     }
6     client.loop();
7
8     float temperature = dht.readTemperature();
9     float humidity = dht.readHumidity();
10    sensors_event_t a, g, temp;
11    mpu.getEvent(&a, &g, &temp);
12
13    while (gpsSerial.available() > 0) {
14        if (gps.encode(gpsSerial.read())) {
15            if (gps.location.isValid()) {
16                float latitude = gps.location.lat();
17                float longitude = gps.location.lng();
18
19                File file = SPIFFS.open("/data.txt", FILE_APPEND);
20                if (!file) {
21                    Serial.println("Erro ao abrir o arquivo para escrita");
22                    return;
23                }
24
25                StaticJsonDocument<256> doc;
26                doc["GPS"]["latitude"] = latitude;
27                doc["GPS"]["longitude"] = longitude;
28                doc["DHT"]["temp"] = temperature;
29                doc["DHT"]["humidity"] = humidity;
30                doc["Acc"]["x"] = a.acceleration.x;
31                doc["Acc"]["y"] = a.acceleration.y;

```

```
32     doc["Acc"]["z"] = a.acceleration.z;  
33     serializeJson(doc, file);  
34     file.close();  
35 }  
36 }  
37 }  
38 }
```

Listing 4.3 – Função JSON

Fonte: Elaboração própria.

O código completo pode ser encontrado no GITHUB. (GARBELOTTO, 2024)

4.1.3 Desenvolvimento de Software de Interface Gráfica

A metodologia de programação baseada em fluxo é um modelo de desenvolvimento que se destaca pela sua abordagem visual na criação de softwares, facilitando o entendimento e a colaboração entre profissionais de diferentes níveis técnicos. Este modelo é particularmente eficaz em aplicações interativas, como o IoT, em que é necessária a manipulação e monitoramento de dados.

Na programação baseada em fluxo, os programas são estruturados como uma rede de “nodes” interconectados, cada um representando uma etapa lógica ou um processo. Estes nodes podem executar funções variadas, desde operações simples de dados até ações complexas de controle e decisão. Esta modularidade permite aos usuários dividir problemas complexos em etapas menores e mais gerenciáveis, facilitando a depuração e a manutenção do software.

Uma vantagem significativa da programação baseada em fluxo é a sua capacidade de tornar a lógica de programação transparente. Ao visualizar o fluxo de dados por uma série de nodes interligados, os usuários podem intuitivamente compreender a funcionalidade do sistema sem necessariamente aprofundar-se no código-fonte de cada node. Isso não só torna a programação baseada em fluxo acessível para aqueles que podem não ter um conhecimento aprofundado de programação, mas também promove uma compreensão mais clara do fluxo geral de dados e da lógica de negócios.

Ferramentas como Node-RED exemplificam a programação baseada em fluxo em ação, fornecendo uma interface de usuário gráfica onde os nodes podem ser arrastados e conectados para formar fluxos funcionais. Os nodes em tais ferramentas vêm geralmente com uma vasta biblioteca de funcionalidades pré-definidas, mas também podem ser estendidos com código personalizado, oferecendo uma flexibilidade significativa.

Além disso, a programação baseada em fluxo suporta a colaboração e o compartilhamento de conhecimento, pois os fluxos criados podem ser exportados e compartilhados como arquivos JSON, facilitando a reutilização de soluções e a colaboração entre equipes. A programação baseada em fluxo também se integra bem com protocolos de comunicação como MQTT,

comum em aplicações IoT, permitindo que dispositivos e serviços troquem mensagens eficientemente.

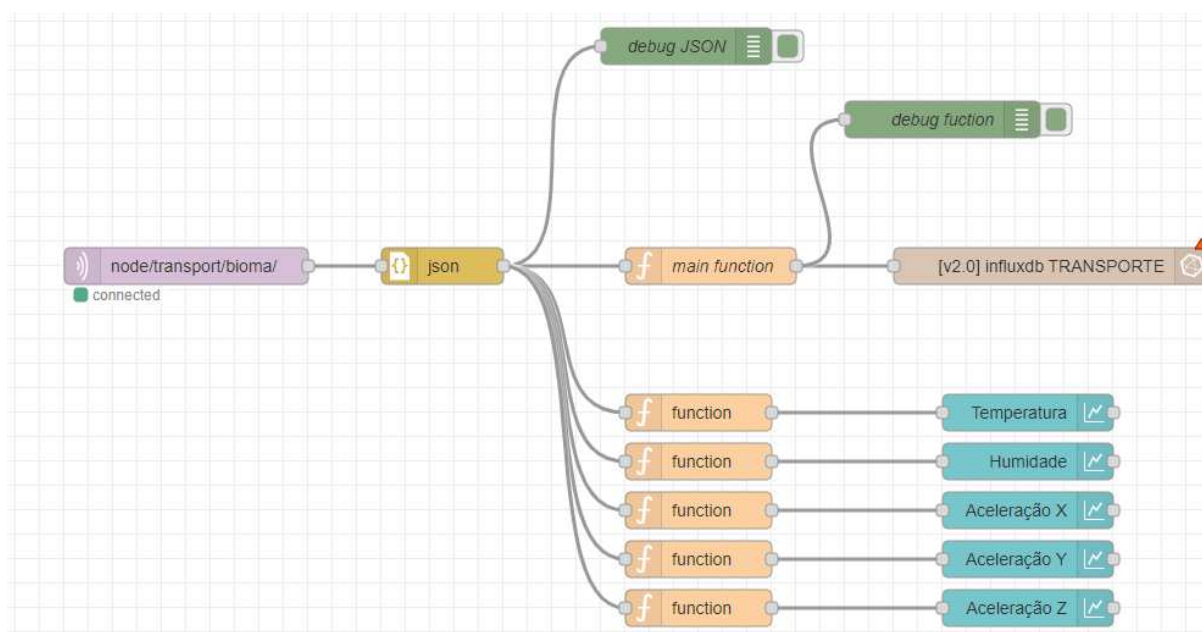


Figura 17 – Programação Baseada em Fluxo
Fonte: Elaboração própria.

A imagem 17 do fluxo no Node-RED demonstra a capacidade da ferramenta em facilitar a coleta e manipulação de dados de forma visual e intuitiva. O ponto de início do fluxo é um nó de entrada denominado "node/transport/bioma", que se encarrega de receber dados de sensores por um microcontrolador. Esses dados são encaminhados por um intermediário, conhecido como *broker*, até alcançarem o Node-RED.

Uma vez no Node-RED, o nó rotulado como "JSON" tem a função de converter a mensagem recebida, que está no formato JSON, para um objeto *JavaScript*. Isso é essencial para os dados poderem ser tratados e manipulados na plataforma.

O nó chamado "main function" desempenha um papel crucial: ele extrai informações específicas dos dados recebidos conforme o código apresentado na imagem 18, como temperatura, umidade e aceleração, provenientes de sensores. Esses dados são então organizados em uma nova estrutura, o objeto *msg.payload*, otimizado para ser armazenado no InfluxDB, um banco de dados especializado em séries temporais.

Além disso, há outros nós de função que segmentam o *payload* em partes menores, possivelmente para preparar os dados para serem visualizados em gráficos diretamente no Node-RED conforme a imagem 19

Por fim, temos o nó de saída do InfluxDB 2.0, que encaminha os dados processados para serem armazenados no InfluxDB. Durante todo o processo, nós de depuração (*debug*) são utilizados para inspecionar e assegurar a integridade dos dados em diversos pontos do fluxo, permitindo a identificação e correção de problemas de maneira eficiente.

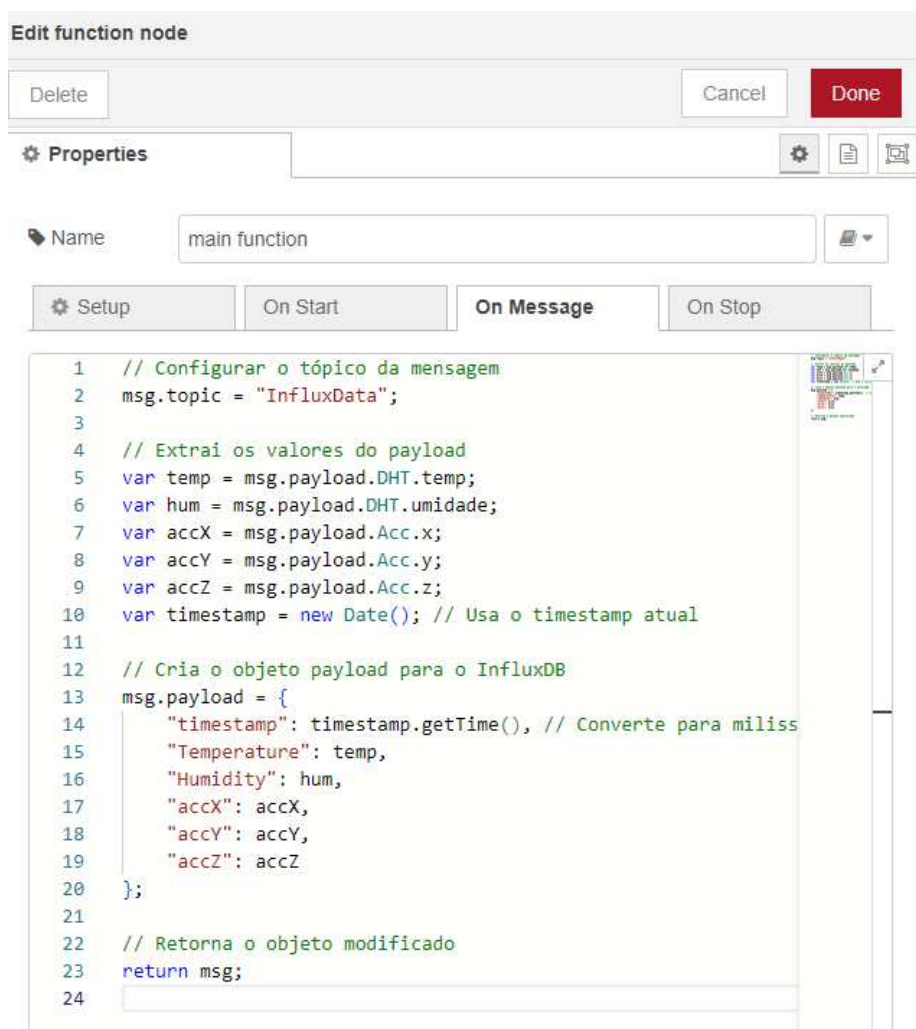


Figura 18 – Node main function
Fonte: Elaboração própria.

4.1.4 InfluxDB e Grafana

Após o processamento no Node-RED, os dados são encaminhados para o InfluxDB 2.0 por meio de um nó especificamente configurado para essa comunicação. O InfluxDB 2.0, especializado em séries temporais, é excepcionalmente eficaz na gestão de dados cronologicamente ordenados, como os oriundos de sensores.

No ambiente do InfluxDB, os dados são alocados em compartimentos, conhecidos como '*buckets*' sendo identificado por "ESP32", operando sob o servidor InfluxDB, com a série de dados categorizada sob a medida TRANSPORTE. O acesso aos dados se dá através do endereço <http://localhost:8086>. Cada ponto de dados dentro deste '*bucket*' é composto por uma medição específica (exemplo: temperatura), tags associativas (como a localização do sensor), valor da medição e a marca temporal correspondente, além de tudo o influx 2.0 é capaz de gerar gráficos semelhantes ao do Grafana, conforme a figura 20.

O Grafana, por sua vez, é uma plataforma avançada de análise e visualização conso-

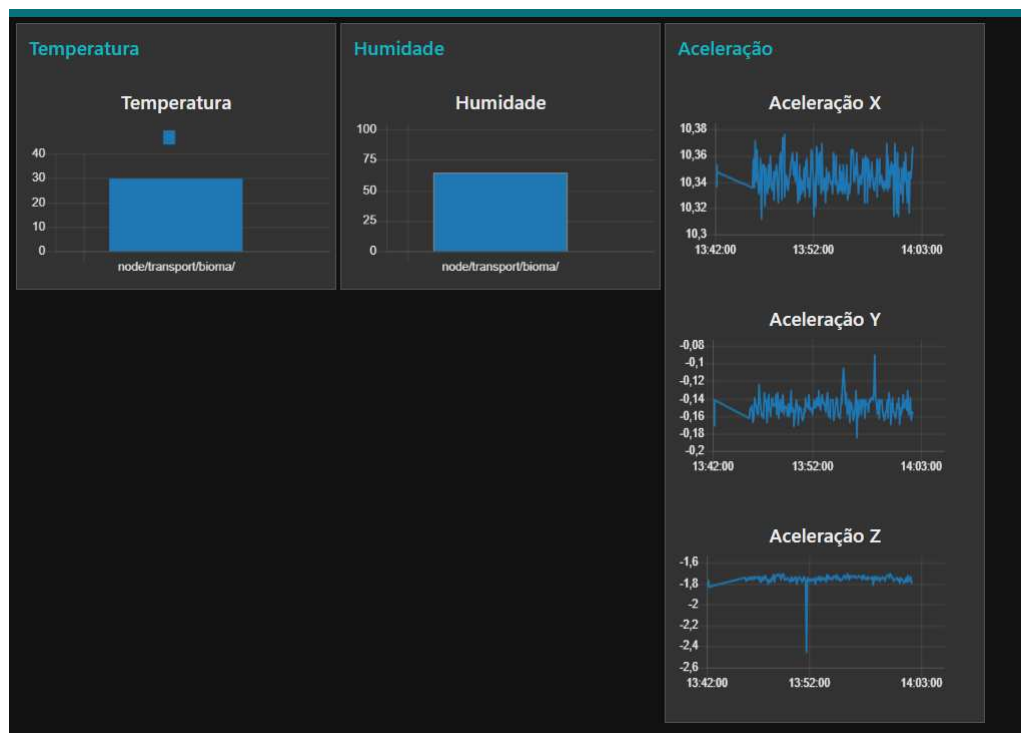


Figura 19 – Gráficos Node Red
Fonte: Elaboração própria.

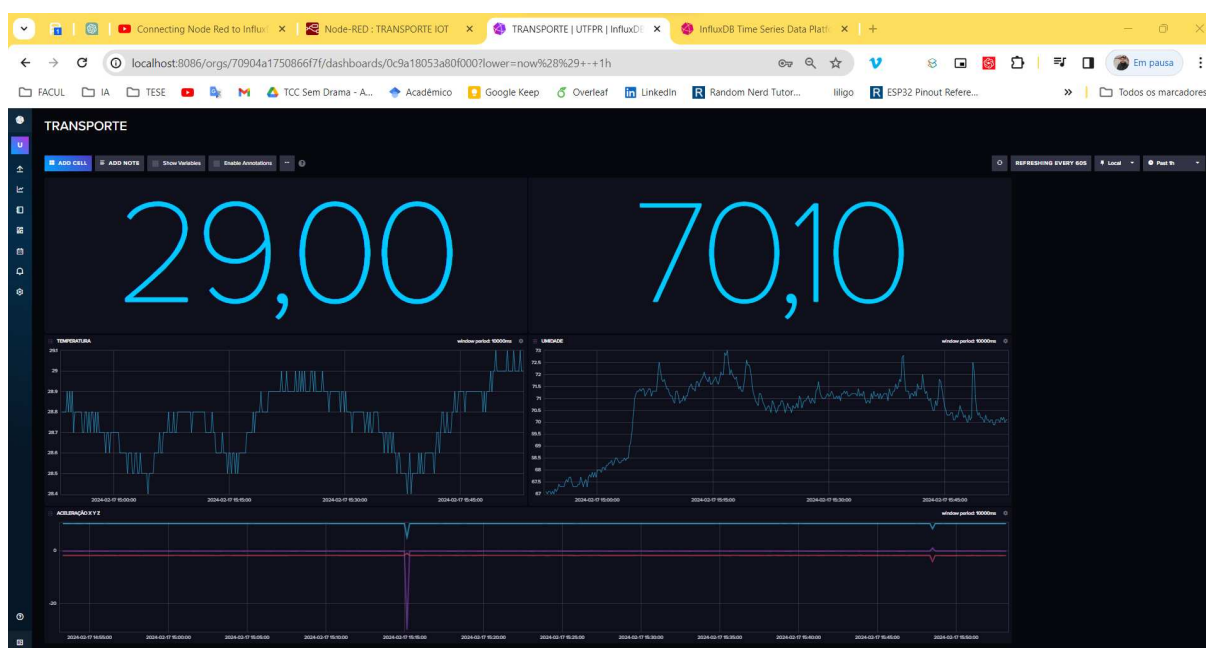


Figura 20 – Gráficos InfluxDB 2.0
Fonte: Elaboração própria.

lidado no mercado, como exemplo a cervejaria Ambev que utiliza amplamente a plataforma, sendo conectada ao InfluxDB para exibir os dados armazenados de maneira gráfica e interativa. Com o Grafana, é possível elaborar painéis (dashboards) customizados que representam os dados em tempo real ou de maneira histórica, facilitando a interpretação e o monitoramento de padrões e tendências. O Grafana é amplamente utilizado na indústria, facilitando a aderência do

programa.

No desenvolvimento do projeto, foi essencial estabelecer uma comunicação entre o InfluxDB e o Grafana para permitir a visualização adequada dos dados coletados. Inicialmente, procedeu-se com a configuração da fonte de dados no Grafana, acessando a interface de 'Data Sources' e adicionando o InfluxDB como uma nova fonte. A URL do servidor InfluxDB foi configurada como *http://localhost:8086*, indicando a execução do banco de dados em um ambiente local. Um token de autenticação, gerado previamente no InfluxDB, foi inserido para assegurar a comunicação segura entre as plataformas. Adicionalmente, especificou-se o nome do 'bucket' juntamente com o 'Organization ID' pertinente, detalhes para a identificação correta do repositório de dados dentro do InfluxDB.

Após o preenchimento das informações necessárias, a funcionalidade de 'Save & Test' do Grafana foi utilizada para validar a conexão, resultando em uma confirmação de sucesso que indicou a configuração adequada e o estabelecimento da conexão. Com a infraestrutura de comunicação em operação, foi possível prosseguir com a criação de dashboards interativos no Grafana. Optou-se por uma variedade de tipos de gráficos, e as consultas foram configuradas para refletir as métricas e filtros desejados, culminando na representação precisa dos conjuntos de dados para análise e monitoramento contínuo.

Após configurada a conexão, os usuários do Grafana podem iniciar a criação e configuração de painéis. A seleção de tipos variados de gráficos e a definição de consultas são passos que permitem especificar quais dados devem ser mostrados e de que maneira, personalizando a apresentação conforme a necessidade analítica ou operacional.

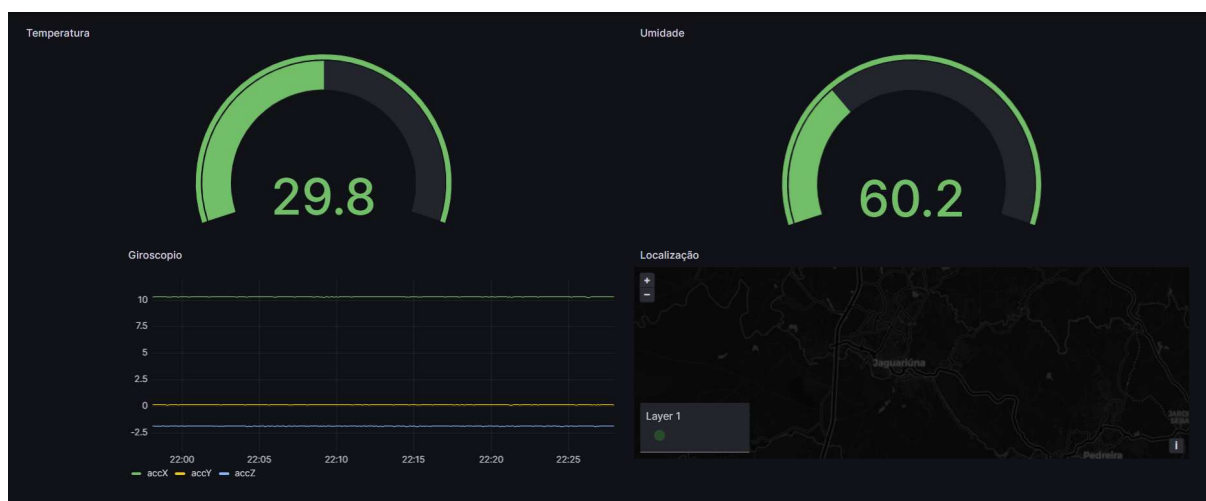


Figura 21 – Gráficos Grafana
Fonte: Elaboração própria.

Conforme ilustrado na figura 21, o Grafana oferece a capacidade de configurar limites e alertas com base em condições pré-definidas. Essa funcionalidade permite o envio de notificações automáticas caso os limites estabelecidos sejam excedidos. Além disso, essa capacidade de configurar alertas é altamente adaptável, possibilitando ajustes conforme o tipo de carga transportada. Dessa forma, o sistema pode ser facilmente personalizado para atender às necessidades

específicas de diferentes tipos de carga, garantindo um monitoramento preciso e proativo das condições operacionais.

No gráfico apresentado na figura 21, é possível monitorar a temperatura, umidade, aceleração (vibração) e a localização da carga. Para produtos perecíveis, por exemplo, é crucial manter a umidade controlada durante o transporte, garantindo que este permaneça seco e evitando o contato com bactérias, além de manter a temperatura adequada para preservar a qualidade dos alimentos.

Este elo entre Node-RED, InfluxDB e Grafana compõe uma cadeia robusta de coleta, armazenamento e visualização de dados, otimizando a usabilidade e a compreensão de informações de aplicações em tempo real.

4.1.5 Design de Placa de Circuito Impresso

Desenvolvi o esquemático de circuito eletrônico evidenciado pela figura 22, projetado no software EasyEDA, sendo uma ferramenta CAD para eletrônica utilizada para criar desenhos de circuitos e PCBs.

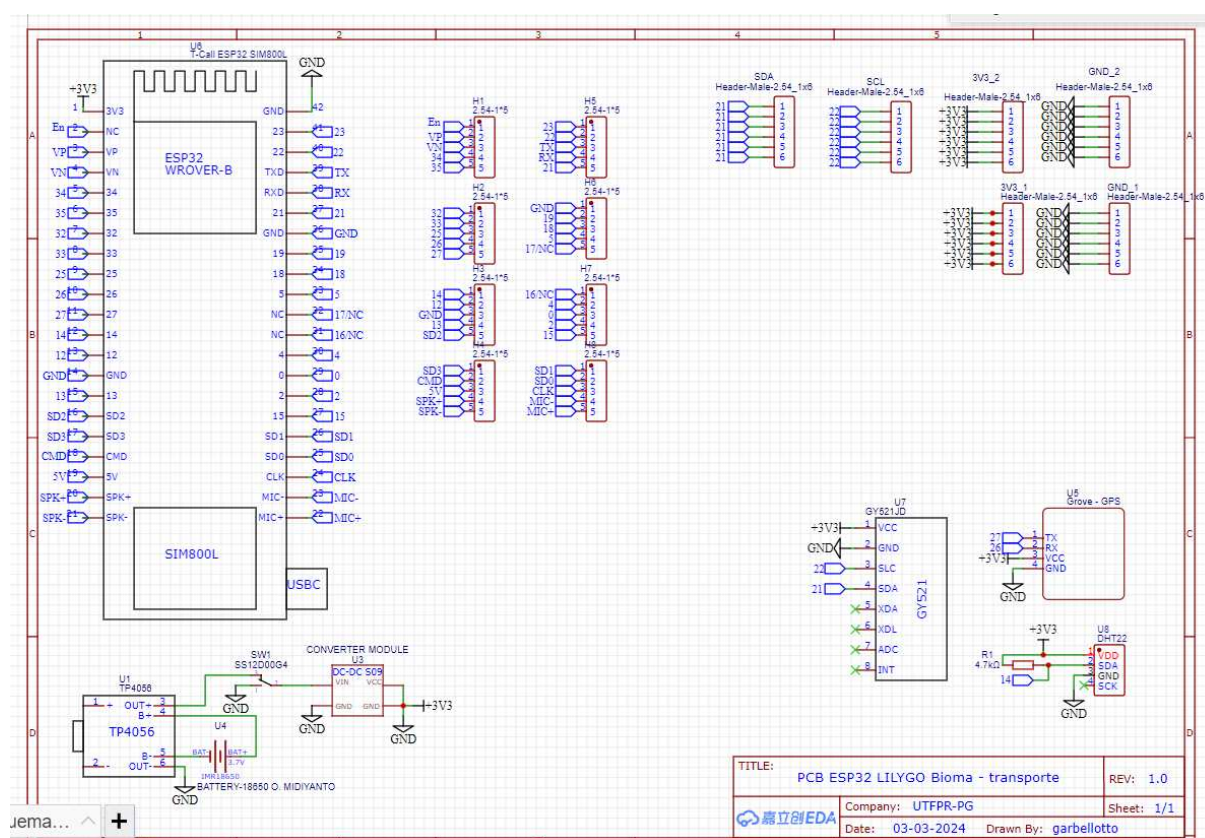


Figura 22 – Esquemático eletrônico
Fonte: Elaboração própria.

No coração do esquemático do projeto situa-se o módulo ESP32 LILY GO TTCALL 1.4v, reconhecido por sua eficiência energética, capacidades de computação robustas e uma gama

de funcionalidades de entrada/saída, e suporte para interfaces como I2C, SPI e UART. O módulo WROVER adiciona a vantagem de possuir memória RAM interna adicional, beneficiando aplicações que demandam processamento intensivo e armazenamento de dados. O SIM800L, um módulo de comunicação GSM/GPRS, proporciona ao projeto capacidades de conectividade celular para comunicações de voz, SMS e transferência de dados via redes 2G. Este módulo se mostra vital para a comunicação em áreas onde a cobertura Wi-Fi é inexistente, permitindo a transmissão remota de alerta, fato que fez ser escolhido para monitorar o transporte de alimentos além de seu baixo custo.

O esquemático incorpora ainda um conversor TP4056, um controlador de carga para baterias de lítio com um circuito de proteção embutido para prevenir sobrecarga e descargas excessivas. A bateria de íon de lítio 18650 fornece a energia necessária para a operação autônoma do dispositivo. O módulo GPS Grove contribui com capacidades de rastreamento de localização ao projeto, permitindo a aquisição de dados de localização precisos. O DHT22, um sensor de umidade e temperatura, e o GY-521, um módulo que contém um giroscópio e acelerômetro, são empregados para o monitoramento ambiental e a detecção de movimentos e orientação do dispositivo. A configuração é complementada por cabeçalhos de pinos para conexão de componentes externos e um circuito conversor para regular a tensão da bateria para os níveis operacionais dos componentes eletrônicos.

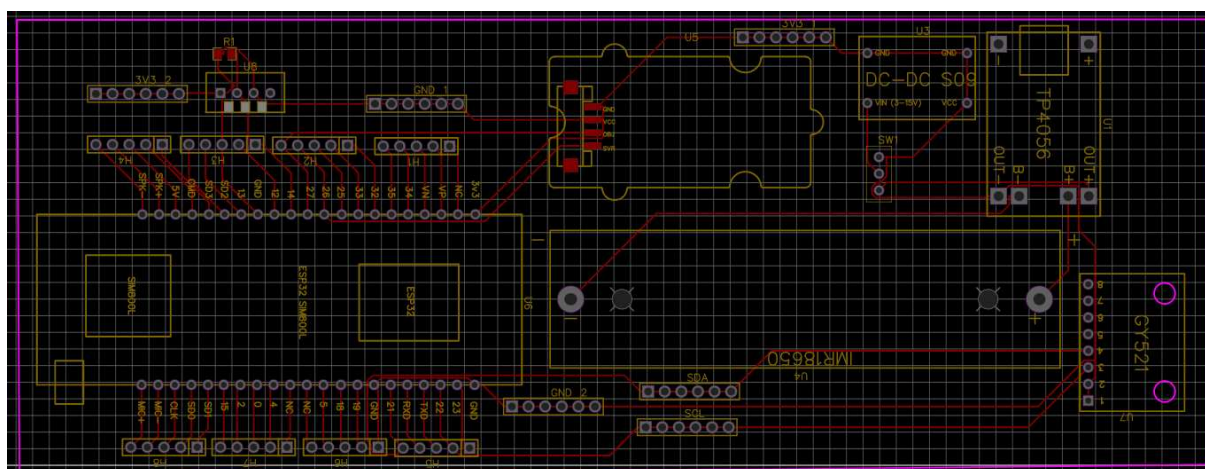


Figura 23 – PCB Layers
Fonte: Elaboração própria.

Ao projetar a placa de circuito impresso (PCB) no software EasyEDA conforme a figura 23, segui uma série de boas práticas fundamentais para garantir a eficácia e a confiabilidade do design. Essas práticas foram meticulosamente aplicadas para assegurar que a PCB atendesse aos requisitos de qualidade e funcionalidade necessários.

Primeiramente, foquei em manter um layout organizado, garantindo que os caminhos dos sinais fossem tão diretos e curtos quanto possível. Isso minimiza interferências e perdas de sinal, essenciais para o desempenho confiável do circuito. A organização dos componentes também foi pensada para facilitar tanto a montagem quanto futuras manutenções ou diagnósticos.

A escolha de colocar todos os componentes em uma única camada(*single layer*) foi estratégica para simplificar o design e a fabricação da PCB. Isso não apenas torna o processo de montagem mais acessível, mas também contribui para a redução de custos.

Na concepção do design da placa de circuito impresso (PCB), a espessura das camadas condutoras foi cuidadosamente avaliada, sobretudo na seção que transporta a carga elétrica oriunda da bateria antes de alcançar o regulador de tensão. Essa área do circuito, responsável por conduzir corrente diretamente da fonte de alimentação, requer uma capacidade de condução acentuada para manejar correntes mais elevadas com eficiência e para minimizar quaisquer perdas associadas.

Para assegurar que esta seção específica do circuito conseguisse gerenciar eficazmente a corrente proveniente da bateria, decidiu-se pelo aumento da espessura da trilha nesta área particular. Uma trilha condutora mais espessa nesta seção contribui significativamente para a redução da resistência elétrica total, o que, por sua vez, diminui a geração de calor e aprimora a eficiência energética do sistema.

Essa decisão de design é fundamental para sustentar a estabilidade e confiabilidade do circuito, principalmente em aplicações que demandam uma distribuição de energia consistente e eficaz. O incremento na espessura da trilha assegura que a seção tolere a corrente máxima esperada sem incidência de superaquecimento, prevenindo falhas prematuras e otimizando o desempenho operacional do dispositivo.

Essa abordagem no design da PCB visa não somente cumprir os requisitos técnicos necessários mas também promover uma operação segura e eficiente, potencializando a durabilidade e a confiabilidade do produto final. Este cuidado no design demonstra um comprometimento com a qualidade e a sustentabilidade do projeto desenvolvido.

Também foi considerada a importância do espaçamento adequado entre as trilhas e componentes para evitar curtos-circuitos e interferência eletromagnética. O posicionamento dos componentes seguiu uma lógica que considera tanto a funcionalidade quanto a eficiência do espaço, visando um produto final compacto e eficiente.

Ao final, verifiquei minuciosamente o design para identificar e corrigir possíveis erros antes de proceder com a fabricação. Essa revisão incluiu a utilização de ferramentas de verificação disponíveis no EasyEDA, garantindo que o projeto estivesse livre de problemas comuns de design.

Implementando essas boas práticas, consegui desenvolver uma PCB no EasyEDA que não só atende aos requisitos técnicos, mas também é econômica e eficiente em termos de espaço e recursos utilizados.

Através do software conseguimos ver a visualização de como ficaria a placa em 3D conforme a figura 24. Conseguimos ter uma noção de como ficaria o produto final após montada a PCB.

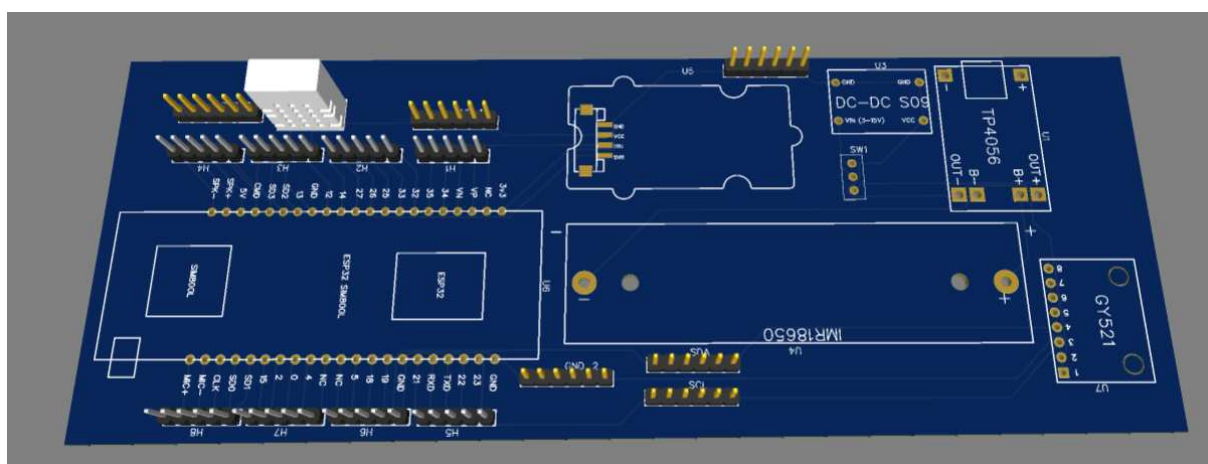


Figura 24 – Esquemático eletrônico 3D
Fonte: Elaboração própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado foi conforme o esperado devido ao desenvolvimento de um sistema integrado e de baixo custo, abrangendo desde o monitoramento do transporte de alimentos até o armazenamento e processamento de dados. A implementação deste sistema permite a geração de gráficos em tempo real, os quais facilitam o monitoramento contínuo do transporte de produtos. Pode ser usado como uma ferramenta valiosa para gestores no processo de tomada de decisões. Através da análise de dados detalhada, o sistema proporciona o monitoramento eficiente da carga, possibilitando decisões mais precisas e embasadas. Essas funcionalidades demonstram a importância do sistema desenvolvido como um recurso estratégico para aprimoramento da logística e eficácia operacional no transporte de alimentos.

O sistema demonstrou ser notavelmente adaptativo, permitindo a alteração dos valores considerados sensíveis pela parte interessada no monitoramento, que requerem alerta específicos. Essa funcionalidade pode ser configurada com facilidade nas plataformas integradas ao projeto: Arduino IDE, InfluxDB 2.0, Grafana e, agora incluindo, Node-RED. Notando que todas essas ferramentas são *open source* melhorando o custo final do projeto.

A utilização do Arduino IDE facilita o desenvolvimento e a implementação de software em dispositivos embarcados, essencial para a coleta eficiente de dados em tempo real. O InfluxDB 2.0, especializado em gerenciar séries temporais, desempenha um papel crucial no armazenamento dos dados, enquanto o Grafana proporciona uma interface avançada para a visualização desses dados, oferecendo amplas possibilidades de ajuste e personalização.

A integração do Node-RED como uma ferramenta de programação visual para conectar dispositivos de hardware, APIs e serviços online é uma adição valiosa, facilitando a criação de fluxos para processar e analisar os dados. Essa inclusão amplia a adaptabilidade e a funcionalidade do sistema, permitindo a interação entre os componentes de forma mais dinâmica e flexível.

Juntas, essas tecnologias de código aberto e baixo custo aumentam significativamente a eficiência e a acessibilidade do sistema, realçando sua capacidade de adaptação sem comprometer a eficácia operacional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As potenciais melhorias para o projeto incluem incorporar elementos de inteligência artificial (IA) para aprimorar a tomada de decisões, especialmente na otimização de rotas e no gerenciamento da bateria do dispositivo. Embora já existam estratégias implementadas para melhorar a gestão da bateria, a integração de algoritmos de IA pode elevar significativamente a eficiência do sistema.

A aplicação de técnicas de aprendizado de máquina pode permitir ao sistema não apenas reagir a dados em tempo real, mas também antecipar necessidades e ajustar-se proativamente. No contexto da otimização de rotas, a IA poderia analisar padrões de tráfego, condições meteorológicas e outros fatores relevantes para sugerir trajetos mais eficientes, reduzindo o tempo de transporte e o consumo de energia.

Para o gerenciamento da bateria, algoritmos inteligentes poderiam prever o consumo de energia com base no comportamento histórico e nas condições operacionais previstas, otimizando a utilização da carga e prolongando a vida útil do dispositivo. Essa abordagem proativa não só melhoraria a autonomia do sistema como também contribuiria para a manutenção preventiva, reduzindo a necessidade de intervenções corretivas e garantindo maior continuidade e confiabilidade no monitoramento.

REFERÊNCIAS

- ALIEXPRESS. **DHT22 - Temperature and Humidity Sensor**. 2024. <<https://pt.aliexpress.com/item/1005005975347238.html>>. Último acesso em: 6 abr. 2024.
- BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia manufacturing**, Elsevier, v. 13, p. 1245–1252, 2017.
- BRASIL, I. **Sobre a ISOC Brasil**. 2024. <<https://isoc.org.br/post/sobre-a-isoc-brasil>>. Último acesso em: 13 jan. 2024.
- CISCO. **Internet Adoption and Network Performance**. 2024. <<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/executive-perspectives/annual-internet-report/index.html>>. Last accessed on: 13 Jan. 2024.
- COMPETE. **Indústria 4.0**. 2024. <https://www.compete2020.gov.pt/noticias/detalhe/Industria_4ponto0>. Último acesso em: 13 jan. 2024.
- ELECTRONICWINGS. **MPU6050 Gyroscope Accelerometer Temperature Interface with PIC18F4550**. 2024. <<https://www.electronicwings.com/pic/mpu6050-gyroscope-accelerometer-temperature-interface-with-pic18f4550>>. Último acesso em: 21 jan. 2024.
- EMPRESARIAL, V. **ESG: esclarecimentos, dicas, reflexões e a relação com RSC e voluntariado**. 2021. <<https://voluntariadoempresarial.com.br/esg-esclarecimentos-dicas-reflexoes-e-a-relacao-com-rsc-e-voluntariado/>>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- FARAHANI, H.; WAGIRAN, R.; HAMIDON, M. N. Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: A comprehensive review. **Sensors**, v. 14, n. 5, p. 7881–7939, 2014. Último acesso em: 2 jun. 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/14/5/7881>>.
- GARBELOTTO, V. **TCC2024: Repositório de Projeto de Graduação**. 2024. <<https://github.com/vinillotto12/TCC2024>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.
- GUARDIAN, T. **How Can Privacy Survive the Internet of Things**. 2015. <<https://www.theguardian.com/technology/2015/apr/07/how-can-privacy-survive-the-internet-of-things>>. Last accessed on: 27 Nov. 2022.
- GUPTA, R.; QUAMARA, M. An overview of internet of things (iot): Architectural aspects, challenges, and protocols. **IEEE Access**, IEEE, v. 8, p. 177925–177953, 2020.
- HAREENDRAN, T. **Portable Power- 18650 Battery Shield for Raspberry Pi Arduino**. 2019. <<https://www.electroschematics.com/battery-shield/>>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- HUANG, D. Environmental, social and governance (esg) activity and firm performance: A review and consolidation. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 2021. Último acesso em: 2 jun. 2024.
- HUAWEI. **Shaping the New Normal with Intelligent Connectivity**. 2024. <<https://www.huawei.com/minisite/gci/en/index.html>>. Last accessed on: 13 Jan. 2024.

INDUSTRIES, A. **Adafruit Product**. 2024. <<https://www.adafruit.com/product/>>. Último acesso em: 27 jan. 2024.

JOHNSTON, R.; GREEN, K. Environmental, social, and governance (esg) factors and green innovation. **SpringerLink**, 2021. Último acesso em: 2 jun. 2024.

LIPÍŃSKA, M.; TOMASZEWSKA, M.; KOŁOŻYN-KRAJEWSKA, D. Identifying factors associated with food losses during transportation: Potentials for social purposes. **Sustainability**, MDPI, v. 11, n. 7, p. 2046, 2019.

LUCA, D.; PARNICK, J. Sustainable finance. **Review of Finance**, 2021. Último acesso em: 2 jun. 2024.

MRROBOTRICK. **GY-NEO6MV2 GPS Module Repository**. 2018. <https://github.com/MrRobotrick/GY-NEO6MV2_GPS_Module>. Último acesso em 2024.01.21.

Museu do Amanhã. **Perdas e desperdícios de alimentos: um desafio para o desenvolvimento sustentável**. 2024. <<https://museudoamanha.org.br/pt-br/perdas-e-desperdicios-de-alimentos-um-desafio-para-o-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em: 13 jan. 2024.

OASIS. **MQTT: The Standard for IoT Messaging**. 2022. <<https://mqtt.org/>>. Acesso em: 21 jan. 2024.

PISCHING, M. A. **Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na indústria 4.0**. 2018.

REGISTER, T. **Hacker Jailed for Revenge Sewage Attacks**. 2001. <https://www.theregister.com/2001/10/31/hacker_jailed_for_revenge_sewage/>. Último acesso em: 14 jan. 2024.

SMITH, J.; DOE, J. Data transmission technologies and networks: A review. **Journal of Namibian Studies: History, Politics, Culture**, v. 33, 2023.

STROSCHON, G. R. **Multiplexador I2C com BMP280: Controle até 64 Sensores através do ESP32**. 2023. <<https://www.usinainfo.com.br/blog/multiplexador-i2c-com-bmp280-controle-ate-64-sensores-atraves-do-esp32/>>. Acesso em: 1 jun. 2024.

SULLIVAN, F. . **Sustainability and Technology-Driven Transformation Critical to Success of Asia-Pacific Logistics Industry**. 2021. <<https://www.frost.com/frost-perspectives/sustainability-and-technology-driven-transformation-critical-to-success-of-asia-pacific-logistics-industry/>>. Acesso em: 1 jun. 2024.

SYSTEMS, E. **ESP32 - SoCs**. 2024. <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>>. Último acesso em: 13 jan. 2024.

TECHIESCIENCE. Vibration and temperature sensor: A comprehensive guide for beginners. **TechieScience**, 2021. Último acesso em: 2 jun. 2024. Disponível em: <<https://www.techiescience.com/vibration-and-temperature-sensor-guide>>.

WAVGAT. **MPU6050 - Sensor Module**. 2024. <<https://pt.aliexpress.com/item/1005006579363624.html>>. Último acesso em: 6 abr. 2024.

XINYUAN-LILYGO. **T-Call V1.4**. 2024. <<https://www.lilygo.cc/products/t-call-v1-4>>. Último acesso em: 13 jan. 2024.