



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

IoT Lab2.0 CGI – Indústria

Trabalho Final de curso

Relatório Final

Samir Natvarlal, a22207165, LEI

Ricardo Borges, a22203987, LEI

Orientador: Rui Ribeiro

Co-orientador: José Cascais Brás

Entidade Externa: CGI

Departamento de Engenharia Informática da Universidade Lusófona

Centro Universitário de Lisboa

Data: 27 de junho de 2025
www.ulusofona.pt

Direitos de cópia

IoT Lab2.0 - CGI - Indústria, Copyright de Ricardo Borges e Samir Natvarlal, ULHT. A Escola de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação (ECATI) e a Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (ULHT) têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

O presente trabalho final de curso (TFC) visa o desenvolvimento de uma solução tecnológica inovadora no âmbito da Internet das Coisas (IoT) aplicada ao ambiente industrial, com o objetivo de melhorar a eficiência operacional, otimizar a análise de dados e facilitar a tomada de decisões. A proposta de continuidade de desenvolvimento da solução baseia-se na evolução de um sistema, envolvendo a reformulação da base de dados para um modelo relacional, a melhoria da dashboard com gráficos mais intuitivos e dinâmicos, a implementação de cálculos de indicadores de performance (KPIs), bem como a introdução de funcionalidades preditivas e alertas automáticos para monitorização em tempo real. Adicionalmente, o projeto contempla o reforço da segurança dos dados, a escalabilidade do sistema e alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo inovação, sustentabilidade e impacto positivo no contexto industrial. A solução proposta diferencia-se por incorporar tecnologias atuais e emergentes como a criação de modelos preditivos. O projeto apresenta ainda um plano de viabilidade técnica, económica e ambiental, sustentado em análises detalhadas, alinhadas às necessidades do mercado crescente de IoT. A implementação desta solução não só proporciona melhorias significativas na gestão industrial, mas também fomenta oportunidades de negócio ao explorar zonas emergentes do mercado na área de conectividade e monitorização inteligente.

Palavras-chave: IoT, base de dados relacional, KPIs, dashboard, inteligência artificial, conectividade, vestíveis, sustentabilidade, indústria.

Abstract

This final course work (TFC) aims to develop an innovative technological solution within the scope of the Internet of Things (IoT) applied to the industrial environment, with the aim of improving operational efficiency, improving data analysis and facilitating decision-making. The proposal for the continued development of the solution based on the evolution of a system, involving the reformulation of the database to a relational model, the improvement of the dashboard with more intuitive and dynamic graphics, the implementation of performance indicator calculations (KPIs), as well as the introduction of predictive functionalities and automatic alerts for real-time monitoring. Furthermore, the project includes strengthening data security, system scalability and alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs), promoting innovation, sustainability and positive impact in the industrial context. The solution proposal differentiates itself by incorporating current and emerging technologies such as the creation of predictive models. The project also presents a plan of technical, economic and environmental options, based on analyzes carried out, aligned with the needs of the growing IoT market. The implementation of this solution not only provides significant improvements in industrial management, but also fosters business opportunities to explore emerging market areas around connectivity and intelligent monitoring.

Key-words: IoT, relational data bases, KPIs, dashboard, Artificial Intelligence, connectivity, wearables, sustainability, industry.

Índice

Resumo	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Siglas	viii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Motivação e Identificação do Problema	3
1.3 Objetivos	7
1.4 Estrutura do Documento	8
2 Pertinência e Viabilidade	10
2.1 Pertinência	10
2.2 Viabilidade	11
2.3 Análise Comparativa com Soluções Existentes	13
2.3.1 Soluções Existentes	13
2.3.2 Análise de benchmarking	15
2.4 Proposta de inovação e mais-valias	17
2.5 Identificação de oportunidade de negócio	19
3 Especificação e Modelação	21
3.1 Análise de Requisitos	21
3.1.1 Enumeração de Requisitos	21
3.1.2 Descrição detalhada dos requisitos principais	23
3.1.3 User Stories	25
3.2 Modelação	28
3.3 Protótipos de Interface	29
4 Solução Proposta	31
4.1 Apresentação	31
4.2 Arquitetura	32
4.3 Tecnologias e Ferramentas Utilizadas	33
4.4 Abrangência	34
4.5 Componentes	35
4.6 Interfaces	37
5 Testes e Validação	40

6	Método e Planeamento	42
6.1	Planeamento Inicial	42
6.2	Análise Crítica ao Planeamento	44
6.2.1	Progresso de Trabalho - Dezembro(2024)/Janeiro(2025)	44
6.2.2	Progresso de Trabalho - Fevereiro(2025)/Março(2025)	46
6.2.3	Progresso de Trabalho - Abril(2025)/Junho(2025)	48
7	Resultados	53
7.1	Resultados dos Testes	53
7.2	Cumprimento de requisitos	54
8	Conclusão	60
8.1	Trabalhos Futuros	60
	Bibliografia	62

Lista de Figuras

1.1	Arquitetura da Maquete	1
2.1	Possível Dificuldade Prevista	10
2.2	Funcionalidades mais Importantes	11
2.3	Aplicabilidade da Solução	11
2.4	Siemens - MindSphere	14
2.5	IBM - Watson	14
2.6	Particle	15
2.7	Gráfico de aumento da IoT ao longo dos anos [IoT_Predict]	15
3.1	Modelo Entidade-Relação	29
3.2	Mapa Aplicacional	30
4.1	Arquitetura existente da solução	32
4.2	Linguagens e Ferramentas Utilizadas	33
4.3	Arduino R4 WIFI-UNO	33
4.4	Ecrã de Login	38
4.5	Ecrãs de Visualização da Produção	38
4.6	Ecrãs de Controlo	39
4.7	Página de visualização de dados	39
6.1	Tabela do gráfico de Gantt no Project Libre - Modelo Inicial	43
6.2	Tabela do gráfico de Gantt no Project Libre - Modelo Novo	44
6.3	Classe de conexão à BD	45
6.4	Função de Login	45
6.5	Passos para Conectar à BD	46
6.6	Motor de Passo	47
6.7	Sensores incluídos na maquete - junho (2025)	48
6.8	Maquete de Gráficos - Modo OK	48
6.9	Página de gráficos da aplicação - Graphs	49
6.10	Notificação de Modo Ok ter sido selecionado	50
6.11	QR code para a página de gráficos	50
6.12	Página HTML que devolve ao Fazer Scan do Qr Code	51
7.1	DHT11 - sensor de temperatura e humidade	55
7.2	SBC-DVA - sensor de corrente elétrica e voltagem	56
7.3	BreadBoard	56
7.4	Maquete com todos os componentes	56
7.5	Modelo Regressão Logística	58
7.6	Modelo DecisionTreeClassifier	58
7.7	Modelo LightGBM	59

Lista de Tabelas

2.1	Funcionalidades em comparação com outras soluções	17
3.1	Análise de Requisitos	21
6.1	Relatório de desempenho do modelo excluído	51
7.1	Tabela de Requisitos e seus respectivos estados	55
7.2	Relatório de classificação do modelo LightGBM(modelo escolhido como final)	59

Lista de Siglas

IoT	Internet of Things
CGI	Conseillers en Gestion et Informatique [Consultores em sistemas de gestão e informação], atualmente não usado mas significado original.
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RPA	Robotic Process Automation
IA	Inteligência Artificial
KPI	Key Performance Indicator
ROI	Return on Investment
PME	Pequena e média empresa
SDK	Software Development Kit
API	Application Programming Interface
SaaS	Software as a Service
LPWA	Low Power Wide Area
CAGR	Compound Annual Growth Rate
WPAN	Wireless personal area network
WLAN	Wireless local-area network

1. Introdução

A Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias digitais nos processos produtivos, marca uma nova era de automação, conectividade e inteligência. Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT) desponta como um dos pilares dessa transformação, conectando máquinas, dispositivos e sistemas em uma rede que promove eficiência e inovação. A IoT não apenas automatiza processos, mas também cria um ambiente onde dados podem ser capturados, analisados e utilizados em tempo real para tomadas de decisão mais inteligentes [1].

No projeto inicial IoT Lab2.0 - CGI Indústria, foi desenvolvida uma maquete que simula a produção industrial de chocolates, composta por três blocos principais: análise de ingredientes, mistura e o embrulho do produto. Utilizando microcontroladores, sensores e uma aplicação móvel, o sistema demonstrou como a IoT pode otimizar a comunicação entre máquinas e proporcionar um controle eficiente da linha de produção.

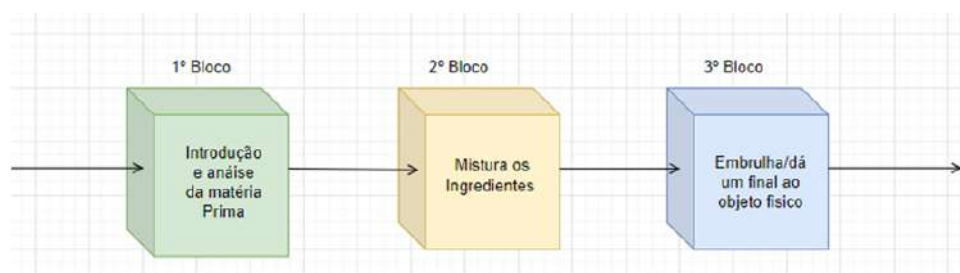


Figura 1.1: Arquitetura da Maquete

Embora o projeto tenha alcançado seus objetivos iniciais, o rápido avanço tecnológico e as demandas crescentes por sistemas mais sofisticados revelaram oportunidades significativas de melhoria.

A proposta de solução que será realizada dá continuidade ao projeto inicial, expandindo o seu alcance para incluir novas funcionalidades e tecnologias emergentes. A evolução do sistema busca alinhar-se às demandas contemporâneas da Indústria 4.0 e o começo da nova Indústria 5.0, indo além do controle básico da produção para integrar análises preditivas, automação de algumas funcionalidades e interfaces mais intuitivas e acessíveis [2]. A proposta é não apenas otimizar os processos industriais simulados, mas também demonstrar como soluções escaláveis podem ser aplicadas em fábricas reais.

Entre os aspectos explorados neste trabalho estão a modernização da infraestrutura de dados, a introdução de modelos para o uso na manutenção preditiva e análise de desempenho, e a implementação de ferramentas avançadas de visualização. Além disso, são propostas inovações como a integração de dispositivos wearables ou móveis para notificações em tempo real, o uso possível de realidade aumentada para facilitar o trabalho dos operadores e a automação de alguns processos administrativos.

Outro ponto de destaque é a inclusão de métricas de eficiência energética e sustentabilidade, que refletem a crescente importância de práticas responsáveis e otimizadas no setor industrial. Por meio da coleta e análise de dados, o sistema será capaz de identificar desperdícios de energia e propor ajustes que contribuem para uma operação mais sustentável [1, 2].

A relevância deste trabalho não se limita a trabalho acadêmico ou à simulação; ele reflete a necessidade crescente de indústrias reais se adaptarem às tendências tecnológicas para manterem a sua competitividade no mercado global. Ao explorar a integração de tecnologias modernas e o design de soluções escaláveis, este projeto pretende estabelecer um modelo que pode ser adaptado a diversas realidades industriais, maximizando a sua aplicabilidade e impacto.

A expansão do IoT Lab2.0 - CGI Indústria representa um esforço não apenas para resolver os desafios identificados no projeto original, mas também para antecipar os futuros pedidos do setor industrial. Com a incorporação de novos módulos e funcionalidades, o sistema não apenas se tornará mais robusto e eficiente, mas também servirá como referência para aplicações práticas e inovadoras, evidenciando o potencial transformador da IoT e das tecnologias associadas.

1.1 Enquadramento

A transformação digital no setor industrial é um fenômeno que vem se intensificando ao longo das últimas décadas, culminando na chamada Indústria 4.0. Esta revolução é marcada pela integração de tecnologias digitais avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), análise de dados em tempo real, robótica avançada, sistemas ciberfísicos, e computação na nuvem [1]. O objetivo central é tornar as operações industriais mais conectadas, inteligentes, e sustentáveis, alinhando-se aos crescentes pedidos por eficiência, personalização e redução de impactos ambientais, apesar de neste momento estar-se a ver um novo avanço com a introdução da Indústria 5.0 que acaba por ser os humanos estarem a trabalhar juntamente com sistemas tecnológicos avançados e com Inteligência Artificial, para aumentar a eficiência e produtividade do trabalho existente [2, 3].

Neste contexto, a IoT emerge como uma das principais forças motrizes dessa transformação. Por meio de sensores, atuadores, redes e plataformas de comunicação, a IoT permite que máquinas, dispositivos e sistemas interajam e compartilhem informações em tempo real. Esta conectividade proporciona uma visão abrangente e integrada dos processos industriais, abrindo caminho para uma tomada de decisão mais precisa e informada. Além disso, a IoT potencializa a automação de tarefas repetitivas e o monitoramento contínuo, reduzindo a necessidade de intervenção humana e aumentando a produtividade.

O projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria foi concebido dentro deste cenário de transformação, com o propósito de demonstrar como os conceitos de IoT podem ser aplicados na simulação de uma linha de produção industrial. A maquete desenvolvida, representando a produção de chocolates, ilustrou de forma prática os benefícios da conectividade e da automação em processos industriais. O sistema inicial permitiu a integração de blocos independentes, como análise de ingredientes, mistura e embrulho do produto, utilizando sensores, microcontroladores e uma aplicação móvel para monitoramento e controle remoto. Apesar dos resultados alcançados, o rápido avanço das tecnologias digitais e as crescentes demandas do setor evidenciam a necessidade de expandir e evoluir o projeto.

A relevância do trabalho se insere no contexto mais amplo da digitalização industrial, onde há uma busca constante por soluções que aumentem a eficiência, reduzam custos e promovam a sustentabilidade. Empresas em diversos setores têm adotado tecnologias como IA, compu-

tação na nuvem e big data para explorar o potencial dos seus dados e otimizar operações. A introdução de sistemas preditivos baseados em IA, por exemplo, tem permitido a manutenção preditiva de equipamentos, minimizando falhas inesperadas e aumentando a vida útil dos ativos. Da mesma forma, a análise de dados energéticos e operacionais tem contribuído para a redução do consumo de recursos e para a implementação de práticas mais sustentáveis.

Este trabalho, portanto, dá continuidade ao projeto inicial com o intuito de alinhar suas funcionalidades, às exigências contemporâneas da nova Indústria 5.0. Entre as propostas, destaca-se a migração de uma base de dados não relacional para uma relacional, uma mudança essencial para suportar consultas complexas, histórico detalhado de produção e análises mais robustas. Também estão previstas melhorias na interface gráfica e nos dashboards, que passarão a oferecer gráficos dinâmicos, filtros avançados e visualizações interativas. Estas mudanças proporcionarão aos operadores uma experiência mais intuitiva e dados mais acessíveis para a gestão operacional.

Além disso, a incorporação de modelos para previsão permitirá a introdução de algoritmos de manutenção e análise de anomalias. Estas tecnologias irão transformar a gestão do sistema, permitindo não apenas reagir a problemas, mas antecipá-los e evitá-los. A integração de dispositivos wearables ou móveis, reforçando o alinhamento do projeto com as tendências atuais de usabilidade e acessibilidade, otimizando a interação entre os operadores e o sistema.

A possível inclusão de novas tecnologias como realidade aumentada, para os operadores tomarem decisões mais informadas a "nível físico", amplia ainda mais o impacto do projeto. Estas ferramentas visam não apenas melhorar a eficiência e a segurança, mas também capacitar os operadores e reduzir a carga de trabalho repetitiva, contribuindo para um ambiente de trabalho mais produtivo e inovador.

Por fim, a integração de métricas de eficiência (KPI) energética e sustentabilidade reflete a preocupação crescente com a gestão responsável de recursos na indústria. A possibilidade de monitorar o consumo energético em tempo real e identificar desperdícios permitirá que o sistema contribua diretamente para a redução do impacto ambiental das operações simuladas, uma abordagem alinhada aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

O Enquadramento deste trabalho vai além da mera atualização tecnológica. Ele reflete uma visão estratégica sobre como a IoT e tecnologias associadas podem ser integradas de maneira eficiente e escalável para resolver problemas reais da indústria. Este relatório se insere na linha de avanços tecnológicos que buscam não apenas atender às demandas atuais, mas também antecipar as tendências futuras, demonstrando como soluções inovadoras podem ser aplicadas de forma prática, eficiente e sustentável.

1.2 Motivação e Identificação do Problema

A transformação digital no setor industrial, impulsionada pela Indústria 5.0, tem despertado uma necessidade urgente de inovação e adaptação nas linhas de produção. Essa revolução tecnológica é motivada pelo desejo de aumentar a eficiência, reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e, ao mesmo tempo, responder às demandas crescentes por sustentabilidade e personalização. O projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria foi concebido dentro deste contexto, com o

objetivo inicial de demonstrar como o IoT pode ser aplicado para conectar dispositivos e otimizar processos industriais. No entanto, a evolução contínua das tecnologias e as expectativas cada vez maiores do setor indicam que há muito mais potencial a ser explorado.

A primeira motivação para a evolução do projeto é a necessidade de lidar com os desafios operacionais enfrentados em ambientes industriais reais. Muitos sistemas de produção ainda são fragmentados, com máquinas e dispositivos operando de forma isolada, o que limita a capacidade de análise integrada e a tomada de decisões rápidas e informadas. O IoT, combinada com ferramentas de análise de dados e modelação, oferece uma solução promissora para conectar estes sistemas e transformar dados brutos em informação acionável. No entanto, para aproveitar todo o potencial dessas tecnologias, é necessário superar barreiras técnicas, como a falta de bases de dados estruturadas, a ausência de análises preditivas, a limitação de interfaces de interação e a falta de uso de atuadores que produzem uma larga quantidade de informação útil para uso destes modelos, para ajudar a filtrar e sintetizar essa informação.

Outro ponto crucial que motiva este trabalho é a crescente importância da sustentabilidade. Em um mundo cada vez mais preocupado com o impacto ambiental, as indústrias estão sob pressão para reduzir desperdícios, minimizar o consumo de energia e implementar práticas mais responsáveis. A integração de métricas de eficiência energética e ferramentas de análise detalhada no projeto visa não apenas a otimizar os processos produtivos simulados, mas também fornecer um modelo que inspire aplicações reais na indústria, promovendo operações mais sustentáveis [2].

Além disso, a evolução do projeto é motivada pela necessidade de tornar os sistemas mais acessíveis e centrados no operador. As interfaces modernas devem ser intuitivas e capazes de oferecer uma experiência rica, mesmo para operadores sem conhecimentos técnicos avançados. A inclusão de dispositivos vestíveis ou móveis representa um avanço importante neste sentido, permitindo uma interação mais natural e eficiente com o sistema. Estas melhorias refletem a tendência global de usar tecnologia para simplificar a interação entre humanos e máquinas, aumentando a produtividade e reduzindo erros operacionais.

A motivação económica também desempenha um papel central. Indústrias em todo o mundo enfrentam o desafio de manter a sua competitividade em um mercado global altamente dinâmico e exigente. Tecnologias como IoT, IA e RPA têm se mostrado cada vez mais eficazes para aumentar a produtividade e reduzir custos, seja por meio de manutenção preditiva, otimização de processos ou automação de tarefas. Este trabalho busca demonstrar como tais tecnologias podem ser implementadas de forma prática e eficiente, mesmo em sistemas simulados, criando uma base sólida para aplicações reais.

Por fim, este projeto é impulsionado pelo desejo de explorar e antecipar as tendências futuras da Indústria 5.0. À medida que novas tecnologias emergem e amadurecem, é crucial entender como integrá-las de forma coesa para resolver problemas existentes e atender os pedidos emergentes. Este trabalho não apenas responde às necessidades atuais, mas também abre caminho para inovações futuras, oferecendo um modelo escalável que pode ser adaptado a diferentes contextos industriais.

Assim, a motivação para este trabalho é multifacetada, abrangendo desde a solução de problemas técnicos e operacionais até a busca por maior sustentabilidade, acessibilidade e compe-

tividade, ao expandir e melhorar o projeto IoT Lab2.0.

Apesar do avanço significativo no uso de tecnologias digitais no setor industrial, ainda existem desafios fundamentais que limitam a eficiência, a conectividade e a automação dos processos produtivos. Esses desafios tornam-se ainda mais evidentes quando se analisam os sistemas existentes, como o projeto atual, que, embora tenha demonstrado soluções práticas e viáveis para a integração IoT, expôs lacunas importantes que precisam de ser resolvidas para que a tecnologia alcance todo o seu potencial.

Problemas Identificados no Projeto Original:

1. Falta de Estruturação de Dados:

O uso de uma base de dados não relacional (Firebase) no projeto inicial mostrou-se eficiente para sincronização em tempo real, mas apresentou limitações na organização e análise de dados históricos (quase não existentes). A ausência de uma estrutura relacional dificulta consultas complexas, como a busca por padrões de falhas ou desempenho em períodos específicos. Além disso, a expansão do sistema para lidar com dados de maior escala e complexidade torna-se inviável sem uma infraestrutura mais robusta.

2. Limitações na Visualização e Interação com Dados:

Os dashboards e gráficos atuais do sistema não oferecem recursos avançados de análise ou personalização. Falta a capacidade de aplicar filtros detalhados, gerar gráficos dinâmicos e exibir alertas visuais para anomalias ou desvios de performance. Isso dificulta a identificação de problemas e reduz a eficiência na tomada de decisões operacionais.

3. Ausência de Predição e Automação Baseada em Dados:

O sistema original foi projetado para monitorar e controlar os processos em tempo real, mas não inclui funcionalidades preditivas. A ausência de algoritmos de modelação para manutenção preditiva e análise de anomalias limita a capacidade do sistema de antecipar falhas e otimizar os processos de forma autônoma.

4. Isolamento de Sistemas:

Embora os blocos da maquete estejam conectados por IoT, o sistema ainda reflete características de uma configuração M2M (Machine-to-Machine) tradicional. Os blocos operam de forma relativamente independente, sem uma integração mais profunda que permita consolidar informações em uma única visão do sistema, apesar disso este isolamento aumenta a possibilidade de escalabilidade, facilitando a sua implementação de uma visão modelar e de um propósito de comercialização de toda a linha de produção, neste caso de venda modular. Decidindo apesar de poder ser um problema manter para fazer uso desta característica.

5. Interação Limitada com os Operadores:

A interface do sistema original atende ao propósito básico de controle e monitoramento, mas não considera uma interação mais moderna e acessível. Faltam recursos como notificações em dispositivos móveis, que poderiam facilitar a usabilidade e a resposta a eventos críticos, especialmente em ambientes industriais dinâmicos.

6. Ausência de Métricas de Sustentabilidade e Eficiência Energética:

O projeto inicial não contempla a análise de consumo de energia ou práticas sustentáveis, uma área de crescente relevância na indústria. Sem essas métricas, é difícil avaliar e

reduzir o impacto ambiental das operações, uma demanda cada vez mais frequente em fábricas modernas.

Novos Desafios e Problemas a Resolver:

Com base nas novas ideias propostas e nas limitações identificadas no relatório inicial, os seguintes problemas adicionais devem ser abordados:

1. **Falta de Ferramentas de Visualização do Estado da Máquina:**
A falta de ferramentas para visualizar a máquina oferece uma perda grande no trabalho remoto e o seu uso poderia facilitar um pouco mais no processo de análise deste, como o uso de realidade aumentada para visualizar este, ou ainda também um QR code na máquina que ao fazer scan deste indicaria alguns indicadores da máquina para o aumento da eficiência.
2. **Automação de Processos Administrativos:**
Tarefas administrativas, como geração de relatórios de produção e análise de KPIs, ainda dependem de intervenções manuais no sistema. Isso consome tempo e aumenta o risco de erros humanos. A falta de automações simples, pequenas e adicionáveis há aplicação atual, impedem que estes processos sejam realizados de forma ágil e precisa.
3. **Notificações e Alertas Ineficientes**
O sistema atual não oferece uma integração eficiente com dispositivos móveis e para envio de notificações ou alertas em tempo real. Isso limita a capacidade dos operadores de reagir rapidamente a eventos críticos, como falhas ou quedas de desempenho.
4. **Falta de Ferramentas Avançadas de Visualização de Dados**
O painel de controle carece de visualizações mais sofisticadas que permitam uma análise detalhada e comparativa e na aplicação a página (All) não foi desenvolvida, tendo uma falta de gráficos de tendências, projeções futuras e tabelas dinâmicas. Isso reduz a capacidade de identificar padrões e otimizar os processos com base em dados históricos.

Impactos dos Problemas:

Esses problemas têm implicações diretas no desempenho do sistema e na sua aplicabilidade em ambientes industriais reais:

1. **Baixa Eficiência Operacional:** A falta de predição e automação resulta em tempos de inatividade maiores e desperdício de recursos.
2. **Dificuldade de Escalabilidade:** O sistema atual enfrenta barreiras para se adaptar a cenários industriais mais complexos ou a linhas de produção maiores.
3. **Experiência do Operador Limitada:** Interfaces pouco acessíveis e a ausência de recursos modernos, como notificações, reduzem a adoção e a eficiência do sistema.
4. **Falta de Sustentabilidade:** Sem ferramentas para medir e otimizar o consumo energético, o sistema não atende às crescentes exigências por práticas mais sustentáveis.

A identificação destes problemas evidencia a necessidade de expandir e evoluir o projeto IoT Lab2.0 para atender às exigências da Indústria 5.0. Ao solucionar estas lacunas, o sistema poderá alcançar maior eficiência, escalabilidade e relevância no contexto industrial moderno, tornando-se uma referência prática para aplicações de IoT no setor.

1.3 Objetivos

A evolução do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria exige a definição de objetivos claros e estratégicos que guiem a sua ampliação e adaptação aos pedidos contemporâneos da Indústria 4.0. Esses objetivos visam resolver as limitações identificadas no projeto original e incorporar tecnologias emergentes para criar um sistema mais robusto, eficiente e escalável.

Ampliar e melhorar o projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria, implementando novas funcionalidades e tecnologias inovadoras que alinhem o sistema aos pedidos da Indústria 4.0, com foco em eficiência operacional, sustentabilidade e integração inteligente de processos.

Modernização da infraestrutura de Dados:

- Migrar para uma base de dados relacional:
 - Substituir o Firebase por sistemas como MySQL para estruturar e organizar dados guardados num container Docker.
 - Criar tabelas relacionais que conectem informações de cada bloco da linha de produção, como históricos de produção, dados operacionais e métricas de desempenho.
- Benefícios esperados:
 - Suporte a consultas complexas, como a análise de padrões e desempenho em períodos específicos.
 - Escalabilidade para armazenar e gerenciar grandes volumes de dados em futuras expansões.

Relatórios de Manutenção Automatizados com Histórico de Ativos:

- Criar um histórico:
 - Gerar um histórico completo de manutenção para cada máquina e criar alertas automáticos de manutenção baseada em uso e tempo.
- Benefícios esperados:
 - Simplifica o controle de manutenção e fornece uma base para planejamento preditivo e preventivo.

Desenvolvimento da Dashboards e Ferramentas de Visualização:

- Criar dashboards interativos:
 - Incorporar gráficos dinâmicos para análise detalhada.
 - Adicionar filtros avançados que permitam a seleção de intervalos de tempo, máquinas específicas ou métricas personalizadas.
- Implementar alertas visuais:
 - Notificações automáticas para indicar falhas ou desvios de performance.
 - Exibição de indicadores de status em tempo real.

- Benefícios esperados:
 - Maior clareza e facilidade de interpretação dos dados.
 - Redução do tempo necessário para identificar e corrigir problemas.

Introdução de modelação preditivo:

- Implementar manutenção preditiva:
 - Desenvolver algoritmos que utilizem dados das máquinas para prever falhas com base em dados históricos e operacionais.
 - Alertar operadores antes que ocorra uma falha, reduzindo o tempo de inatividade.
- Análise de anomalias:
 - Detetar padrões incomuns nos dados que indiquem possíveis problemas operacionais.
- Benefícios esperados:
 - Redução de custos com manutenção corretiva.
 - Aumento da vida útil dos equipamentos e melhoria da eficiência geral.

Automação de Processos Administrativos:

- Implementar pequenas automações:
 - Automatizar tarefas como geração de relatórios de produção, cálculo de métricas (KPI) e envio de alertas.
- Benefícios esperados:
 - Redução de carga administrativa e maior agilidade na execução de processos repetitivos.
 - Libertação de recursos humanos para atividades mais estratégicas.

A expansão do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria busca transformar o sistema em uma solução avançada, conectada e sustentável. Cada objetivo contribui diretamente para resolver os problemas identificados e alinhar o sistema com as melhores práticas e tendências da Indústria, atendendo aos pedidos técnicos e operacionais.

1.4 Estrutura do Documento

Este relatório está organizado da seguinte forma:

- Na **Secção 1** é apresentada a introdução ao tema do trabalho, com um enquadramento do problema, objetivos e motivação do projeto.
- Na **Secção 2** é abordada a pertinência e a viabilidade do projeto, incluindo uma análise comparativa com soluções existentes no mercado.

- Na **Secção 3** é feita a especificação e modelação da solução, detalhando os requisitos, casos de uso e protótipos propostos.
- Na **Secção 4** são descritos os detalhes da solução proposta, incluindo a sua arquitetura, tecnologias utilizadas e abrangência funcional.
- Na **Secção 5** são descritos os planos e casos de teste da solução proposta, com verificação dos recursos utilizados.
- Na **Secção 6** é descrito o método e planeamento do trabalho, com uma análise crítica sobre as etapas cumpridas.
- Na **Secção 7** é descrito os resultados dos testes, quais requisitos foram feitos e o grau de realização e algumas informações mais detalhadas.
- Na **Secção 8** é descrito os problemas encontrados e a reflexão do trabalho e o que se pode realizar como continuação do projeto.

2. Pertinência e Viabilidade

A Pertinência do projeto é analisada com base no feedback dado pela empresa CGI no questionário. A viabilidade do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria é analisada sob quatro dimensões principais: técnica, econômica, social e ambiental. Esses critérios avaliam a capacidade do projeto de ser implementado, mantido e sustentado além do contexto acadêmico, destacando o seu potencial de contribuição prática para o setor industrial e sua continuidade após o TFC estar concluído.

2.1 Pertinência

[Link do formulário TFC](#)

[Link do formulário rápido do TFC](#)

O projeto em si foi medido em termos de pertinência com base em reuniões e propostas de ideias que foram colocadas sendo feito no seu decorrer dois inquéritos que avaliam estas propostas. Destes dois formulários os resultados obtidos foram:

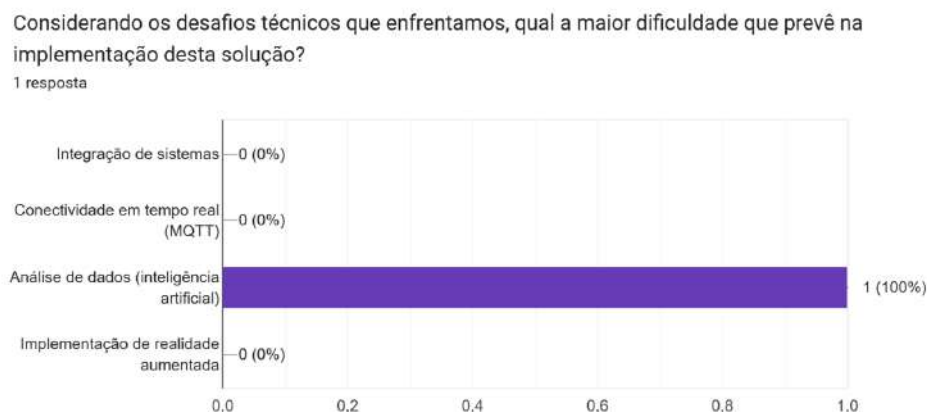


Figura 2.1: Possível Dificuldade Prevista

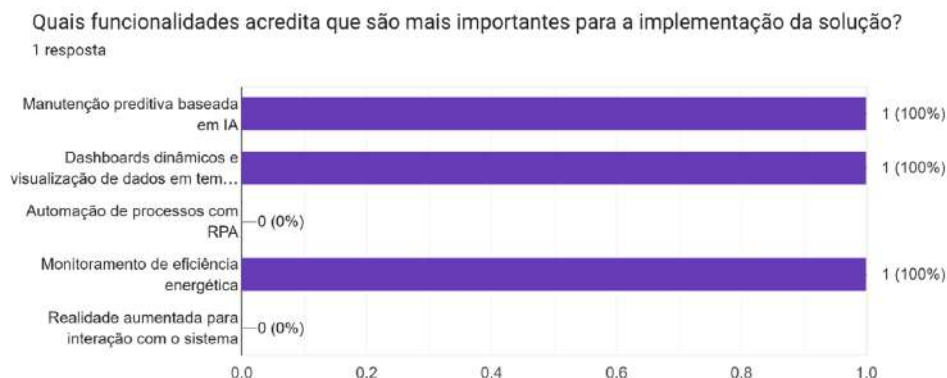


Figura 2.2: Funcionalidades mais Importantes



Figura 2.3: Aplicabilidade da Solução

Pergunta: Quais as funcionalidades que considera que poderiam ser descartadas ou simplificadas sem comprometer a proposta geral do projeto? Resposta: As funcionalidades relacionadas com RPA. Estes gráficos e pergunta de relevância da proposta de ideias iniciais acabam por resumir da parte da parte da Entidade Externa quais das ideias todas as que podem ser descartadas por excesso ou complicação do trabalho mantendo aquelas que são úteis e relevantes nesta fase de melhoria e expansão da solução.

2.2 Viabilidade

Viabilidade é a medida em que uma solução pode ser implementada e sustentada com O projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria está alinhado com vários ODS, refletindo um compromisso com a sustentabilidade e a inovação responsável. Os principais ODS abordados incluem:

1. ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura:

- Alinhamento: O projeto promove a modernização tecnológica na indústria ao introduzir ferramentas como IoT, inteligência artificial, e manutenção preditiva. Ele contribui diretamente para metas como a construção de infraestruturas resilientes e o fomento à inovação.

- Impacto esperado: Melhoria na eficiência das operações industriais, redução de desperdícios e o aumento da competitividade.

2. ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis:

- Alinhamento: A inclusão de métricas de eficiência energética e redução de desperdícios no sistema incentiva práticas mais responsáveis e sustentáveis na produção.
- Impacto esperado: Otimização do uso de recursos naturais e energéticos, promovendo um consumo mais eficiente.

3. ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima:

- Alinhamento: Ao monitorar e reduzir o consumo de energia, o projeto contribui para mitigar o impacto ambiental das operações industriais.
- Impacto esperado: Diminuição das emissões de gases de efeito estufa e maior consciência ambiental no setor produtivo.

Esses alinhamentos reforçam que o projeto não apenas atende às necessidades da indústria moderna, mas também contribui para metas globais de sustentabilidade.

A viabilidade técnica do projeto foi avaliada com base na disponibilidade e adequação das ferramentas propostas, bem como na capacidade de implementação. Os principais pontos incluem:

Ferramentas Disponíveis:

- Sensores IoT e microcontroladores, como Arduino, para coleta de dados e automação.
- Plataformas de bases de dados relacionais e armazenamento desta (MySQL e Docker) para estruturação e análise de dados históricos.
- Ferramentas de inteligência artificial, para desenvolvimento de algoritmos preditivos.

Testes Realizados:

- O protótipo interativo inicial demonstrou a capacidade de conectar os blocos da linha de produção e monitorar dados em tempo real.
- A expansão planejada incluirá integração de novas funcionalidades, como dashboards avançados e manutenção preditiva.

Conclusão Técnica:

- O projeto é tecnicamente viável devido à ampla disponibilidade de ferramentas e tecnologias acessíveis. A estrutura modular do sistema permite a integração progressiva de novos recursos sem a necessidade de reconstrução total do sistema existente, mas parcial devido as trocas no funcionamento principal.

A análise de viabilidade econômica baseia-se em uma avaliação de custo-benefício e na sustentabilidade financeira do projeto após o TFC. Os principais pontos incluem:

Custos Existentes:

- Investimentos em hardware (sensores DHTT11 e SBC-DVA)

Conclusão Econômica:

- O projeto é economicamente viável, especialmente para pequenas e médias indústrias que buscam modernizar suas operações. O custo inicial pode ser amortizado com os benefícios financeiros gerados ao longo do tempo e o uso de software OpenSource.

Viabilidade Social:

- Impacto no Trabalho: O sistema oferece uma interface moderna e amigável, reduzindo a carga de trabalho dos operadores e melhorando as condições de operação. Além disso, a realidade aumentada capacita os trabalhadores de forma segura e eficaz.
- Aceitação Social: O uso de tecnologia para facilitar a interação humano-máquina é uma tendência bem recebida pelos profissionais do setor, especialmente devido à sua capacidade de aumentar a produtividade e reduzir erros.

Viabilidade Ambiental:

- Eficiência Energética: O monitoramento e a análise de consumo permitem a redução de desperdícios e o uso mais eficiente de energia.
- Redução de Impacto Ambiental: A implementação de práticas sustentáveis, como a medição de emissões e a identificação de ineficiências, contribui diretamente para a mitigação dos impactos ambientais da produção industrial.

2.3 Análise Comparativa com Soluções Existentes

2.3.1 Soluções Existentes

A Siemens é uma das grandes empresas tecnológicas a nível mundial, com diversas áreas de atuação, tais como indústria, energia, mobilidade, tecnologia médica, infraestruturas e construção. Esta empresa começou a fornecer soluções de IoT para monitorização e controlo de máquinas industriais, através do Mindsphere, uma plataforma aberta de IoT que facilita a recolha e análise de dados de máquinas em tempo real. As principais funcionalidades do sistema Mindsphere incluem[4]:

- Conectividade de dispositivos;
- Armazenamento de dados;
- Análise avançada de dados;
- Visualização de dados em tempo real;
- Integração com sistemas existentes.



Figura 2.4: Siemens - MindSphere

A IBM, uma empresa dos Estados Unidos especializada em tecnologia da informação, oferece sistemas e soluções para diversas áreas, tais como computação em Nuvem, inteligência artificial e análise de dados, tecnologia blockchain e segurança da informação. Para além destas, uma das suas ofertas inclui também soluções de IoT através da plataforma Watson IoT, que possibilita a monitorização e controlo de dispositivos conectados. Estas soluções são particularmente direcionadas para setores industriais, como a manufatura e automação. As funcionalidades disponibilizadas pela plataforma da IBM englobam[5]:

- Desenvolvimento de aplicações personalizadas;
- Integração com outros serviços IBM;
- Análise de dados em tempo real;
- Conectividade de dispositivos;
- Gestão de dispositivos.



Figura 2.5: IBM - Watson

A Particle é uma empresa inovadora no setor de tecnologia, especializada no fornecimento de soluções integradas de hardware e software destinadas ao desenvolvimento de sistemas baseados em IoT. Esta empresa distingue-se pela sua forte plataforma de Nuvem, que suporta o protocolo MQTT, facilitando a comunicação segura e eficaz entre dispositivos. A Particle atua em áreas como Inteligência Artificial, IoT, Big Data e Machine Learning. As principais funcionalidades oferecidas pela Particle incluem[6]:

- Hardware e conjuntos de desenvolvimento para IoT;
- Plataforma na Nuvem para conectar e gerir dispositivos;
- Desenvolvimento de aplicações com SDKs e APIs;
- Integração com serviços de terceiros;
- Gestão remota de dispositivos.

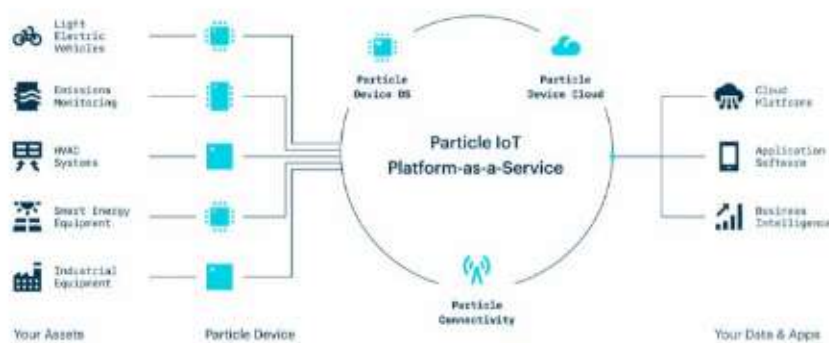


Figura 2.6: Particle

2.3.2 Análise de benchmarking

O mercado de IoT continua a crescer de forma acelerada, conforme destacado em estudos recentes. De acordo com o relatório da IoT Analytics de setembro de 2024(atualização do estudo anterior), o número de conexões IoT globais deverá aumentar de 21,5 mil milhões em 2025 para 41,1 mil milhões em 2030, representando um crescimento anual composto (CAGR) de 14% no período de 2023 a 2030. Este crescimento reflete o papel crescente da IoT como tecnologia fundamental para a transformação digital em diversos setores [7].

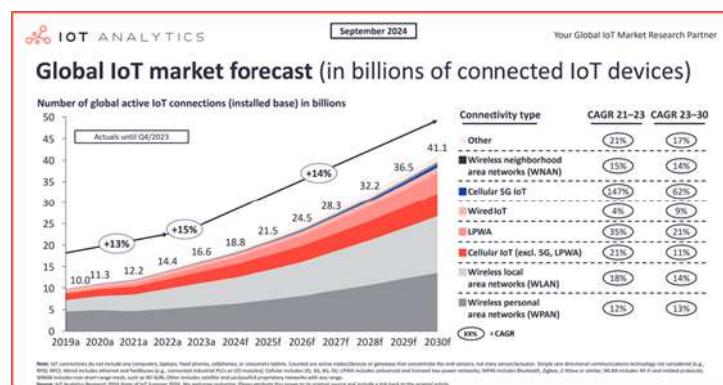


Figura 2.7: Gráfico de aumento da IoT ao longo dos anos [IoT_Predict]

Entre os tipos de conectividade, destacam-se:

- **LPWA (Low Power Wide Area):** Com um CAGR de 21%, essas redes são ideais para dispositivos que requerem baixo consumo de energia e cobertura de longo alcance, tornando-se uma escolha popular para soluções IoT industriais e agrícolas.
- **IoT 5G:** A conectividade 5G IoT lidera o crescimento com um impressionante CAGR de 62%, impulsionada pela necessidade de conexões de alta velocidade e baixa latência em aplicações críticas.
- **Redes de área local sem fio (WLAN) e redes de área pessoal sem fio (WPAN):** Estas continuam a desempenhar um papel importante devido à sua versatilidade e acessibilidade, com CAGRs de 14% e 13%, respectivamente.

A análise também enfatiza a diversificação das soluções IoT, com maior integração de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e machine learning, para otimizar a gestão e análise de dados.

Essa evolução demonstra o potencial de mercado para novas soluções IoT que atendam a necessidades específicas de setores industriais, como a solução proposta neste projeto. O crescimento das categorias mencionadas, combinado com a crescente necessidade por eficiência operacional e sustentabilidade, destaca a relevância e a oportunidade de inserção de soluções inovadoras como a desenvolvida neste trabalho.

1. **Siemens MindSphere** – [4]:

- o A Siemens oferece uma solução robusta e amplamente utilizada no setor industrial, com funcionalidades avançadas de análise e integração com sistemas existentes. Contudo, o custo elevado e a dependência de nuvem tornam-na menos acessível para pequenas e médias empresas (PMEs).

2. **IBM Watson IoT** – [5]:

- o A IBM foca em personalização e integração com outras soluções do seu portfólio, como inteligência artificial e blockchain. É ideal para grandes indústrias que já utilizam serviços da IBM, mas a sua implementação exige um nível técnico avançado e maior investimento financeiro.

3. **Particle** – [6]:

- o A Particle destaca-se por oferecer um ecossistema integrado de hardware e software, ideal para desenvolvimento de sistemas IoT escaláveis. O seu custo mais acessível e simplicidade de implementação fazem dela uma boa escolha para startups e PMEs. No entanto, não inclui funcionalidades específicas como análise visual avançada ou foco em sustentabilidade.

Embora as soluções existentes sejam robustas e amplamente reconhecidas, a solução IoT Lab2.0 - CGI Indústria oferece um diferencial importante ao combinar funcionalidades avançadas com acessibilidade, sustentabilidade e foco em PMEs. Isso a torna particularmente competitiva em mercados onde custos elevados e complexidade técnica são barreiras significativas.

Funcionalidade	Siemens MindSphere	IBM Watson IoT	Particle	IoT Lab2.0 - CGI Indústria
Conectividade de dispositivos	✓	✓	✓	✓
Armazenamento de dados	✓	✓	✓	✓
Análise de dados em tempo real	✓	✓	✓	✓
Visualização de dados	✓	✓	✗	✓
Integração com sistemas existentes	✓	✓	✓	✓
Desenvolvimento de aplicações	✗	✓	✓	✓
Hardware para IoT	✗	✗	✓	✓
Gestão remota de dispositivos	✓	✓	✓	✓
Inteligência artificial integrada	✓	✓	✓	✓
Custo acessível para PMEs	✗	✗	✓	✓
Sustentabilidade e eficiência	✗	✗	✗	✓
Modularidade e escalabilidade	✓	✓	✓	✓
Preço	Subscrição (não-público)	500\$/mês	0-299\$/mês	17€ - varia por sensor e posteriormente uma subscrição

Tabela 2.1: Funcionalidades em comparação com outras soluções

2.4 Proposta de inovação e mais-valias

A solução IoT Lab2.0 - CGI Indústria distingue-se pela sua abordagem única, integrando funcionalidades avançadas, acessibilidade econômica e um forte compromisso com a sustentabilidade. Essas características a tornam inovadora e altamente competitiva em relação às soluções existentes no mercado.

1. Elementos de Inovação

(a) Foco em Sustentabilidade e Eficiência Energética:

- A solução incorpora métricas específicas de sustentabilidade, como monitoramento de consumo energético e análise de desperdícios. Este compromisso com práticas responsáveis reflete a crescente importância da sustentabilidade na indústria e é pouco abordado por concorrentes como Siemens MindSphere ou IBM Watson IoT.

(b) Acessibilidade Econômica e Modularidade:

- A proposta é adaptável às necessidades de pequenas e médias empresas (PMEs), com custos iniciais mais baixos e escalabilidade modular. Isto a torna acessível para negócios que não possuem os recursos necessários para implementar soluções mais complexas e caras.

(c) Scan de QR code para visualização:

- A solução oferece funcionalidades modernas, como a integração com QR codes em cada máquina fazendo o scan desta e vendo o estado da máquina, facilitando alguns processos rotineiros que se tenha que fazer obrigatoriamente, e tornando o sistema mais intuitivo e acessível.

(d) Parceria com a CGI:

- A colaboração com a CGI agrega valor à solução, aproveitando a maestria da empresa em desenvolvimento de software e integração de sistemas para criar uma plataforma robusta e inovadora.

2. Vantagens e Benefícios da Solução

(a) Melhoria na Eficiência Operacional:

- A manutenção preditiva reduz falhas e tempo de inatividade das máquinas.
- Dashboards interativos e notificações permitem respostas rápidas a anomalias.
- Automação de tarefas administrativas com RPA liberta tempo para atividades estratégicas.

(b) Acessibilidade e Inclusividade:

- Custo reduzido e flexibilidade na implementação tornam a solução viável para empresas com orçamentos limitados.

(c) Sustentabilidade e Impacto Ambiental:

- Monitoramento do consumo de energia ajuda a identificar desperdícios e promove práticas responsáveis.
- Alinhamento com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) incentiva empresas a se comprometerem com metas globais de sustentabilidade.

3. Mais-Valias para a CGI na Parceria

(a) Valorização da experiência da CGI:

- A CGI, conhecida por sua atuação em tecnologia e desenvolvimento de sistemas empresariais, pode incorporar o IoT Lab2.0 como parte de seu portfólio de soluções inovadoras para indústrias.

(b) Expansão do Mercado:

- O projeto permite à CGI atender a uma nova fatia de mercado – PMEs interessadas em soluções IoT acessíveis e escaláveis, criando oportunidades de negócio.

(c) Alinhamento com Tendências Tecnológicas:

- A parceria fortalece a posição da CGI como líder em inovação tecnológica, ao apoiar um projeto que combina IoT, inteligência artificial e sustentabilidade.

(d) Criação de Valor Sustentável:

- A inclusão de métricas de sustentabilidade reflete um compromisso da CGI com responsabilidade ambiental, algo valorizado por seus clientes e parceiros.
- (e) Prova de Conceito para Novas Soluções:
- O IoT Lab2.0 pode servir como uma prova de conceito para soluções maiores ou personalizadas, baseadas nas necessidades de indústrias específicas.

2.5 Identificação de oportunidade de negócio

A solução IoT Lab2.0 - CGI Indústria apresenta um grande potencial para exploração comercial devido ao seu alinhamento com os pedidos da indústria, com foco em acessibilidade, sustentabilidade e inovação tecnológica. Abaixo, são destacados os elementos-chave que tornam o projeto uma oportunidade viável para empreender no mercado de soluções industriais baseadas em IoT.

1. Segmento de Mercado Alvo

- **Pequenas e Médias Empresas (PMEs):**
 - o Empresas industriais com orçamento limitado que buscam soluções acessíveis e escaláveis para modernizar suas operações.
 - o Setores industriais que não possuem infraestrutura robusta para adotar plataformas caras como Siemens MindSphere.
- **Grandes Empresas em Expansão Tecnológica:**
 - o Organizações que desejam adotar tecnologias emergentes de forma modular, como realidade aumentada ou dispositivos vertíveis e móveis para monitoramento em tempo real.

2. Proposta de Valor

- **Acessibilidade Econômica:** Custo inicial reduzido e possibilidade de expansão modular tornam a solução financeiramente viável para PMEs.
- **Sustentabilidade:** A integração de métricas de eficiência energética promove práticas responsáveis, valorizadas por indústrias comprometidas com metas ambientais.
- **Capacitação Operacional:** Uso de realidade aumentada e dashboards intuitivos aumentam a produtividade e reduzem o tempo de adaptação de operadores.
- **Inovação Tecnológica:** Funcionalidades avançadas, como manutenção preditiva, colocam a solução em destaque frente às alternativas no mercado.

3. Modelo de Negócio

Um modelo de negócios para explorar comercialmente o projeto poderia seguir um **formato de SaaS (Software as a Service)**, com variações adaptadas ao cliente:

- **Assinatura Modelar**
 - o Clientes pagam por módulos específicos, como monitoramento IoT, manutenção preditiva ou QR code Scan de cada máquina.
 - o Permite flexibilidade para indústrias de diferentes tamanhos e necessidades.
- **Customização Sob Demanda:**

- o Oferecer serviços de personalização para clientes maiores, adaptando funcionalidades ao cenário operacional da empresa.

- **Parceria Estratégica:**

- o Parceria com integradores de sistemas, como a CGI, para oferecer a solução como parte de um pacote maior de transformação digital.

4. Potenciais Fontes de Receita

- **Licenciamento do Software IoT:** Assinaturas anuais para acesso ao sistema.
- **Serviços de Treinamento:** Implementação de programas de capacitação usando realidade aumentada.
- **Consultoria para Sustentabilidade:** Auxílio na análise e otimização do consumo energético das empresas clientes.
- **Venda de Hardware Integrado:** Oferta de pacotes completos com sensores IoT e dispositivos wearable para novos clientes.

5. Análise de Concorrência e Posição de Mercado

Diferentemente de concorrentes como Siemens MindSphere e IBM Watson IoT, que são focados em grandes corporações, a solução IoT Lab2.0 se destaca pela combinação de **acessibilidade econômica, sustentabilidade e modularidade**, tornando-a altamente competitiva no mercado de PMEs e empresas emergentes. A falta de soluções acessíveis para esse segmento representa uma lacuna no mercado, que pode ser preenchida pelo projeto proposto.

6. Escalabilidade do Negócio

- **Expansão Regional:** Inicialmente focada em mercados locais, a solução pode ser expandida para outros países, começando por regiões onde a adoção de IoT está em crescimento, como América Latina e Sudeste Asiático.
- **Adaptação Setorial:** A solução pode ser ajustada para diferentes setores industriais, como manufatura, agricultura de precisão, logística e energia.
- **Evolução Tecnológica:** Novos módulos podem ser adicionados conforme os pedidos do mercado evoluem, como integrações mais robustas de inteligência artificial e automação avançada.

7. Benefícios para Parceiros como a CGI

- **Acesso a Novos Mercados:** O projeto pode ampliar o portfólio da CGI, oferecendo soluções personalizadas para indústrias de menor porte.
- **Fortalecimento de Marca:** Ao colaborar em um projeto alinhado com sustentabilidade e inovação, a CGI reforça sua posição como líder em transformação digital.
- **Possibilidade de Licenciamento Internacional:** A CGI pode licenciar a solução como um produto exclusivo para regiões específicas, gerando novas fontes de receita.

3. Especificação e Modelação

3.1 Análise de Requisitos

3.1.1 Enumeração de Requisitos

Lista geral de requisitos identificados para o problema em análise. Deve indicar-se a prioridade e o impacto, bem como a classificação de tipo – e.g. funcional, não-funcional, sistema.

Com o evoluir do trabalho, particularmente na entrega final, dever-se à indicar ajustes efetuados aos requisitos ao longo do desenvolvimento do TFC e indicação de concretização – p.e. implementação integral, parcial, substituição, cancelamento ou não realização. Estes requisitos deverão indicar critérios de aceitação, a validar em testes e que servirão de base para determinar o nível de concretização: mudança feita por questões de progresso de trabalho e lógica no contexto atual, o antigo R7 e R8 que referiam-se à dashboard e à página de gráficos foram consolidadas num novo requisito R4, visto que o intuito original era só ter uma página gráficos, e não se sabia se faria sentido ter mais do que um local com estes, e foram trocados o nível de prioridade e impacto de alguns requisitos por termos mais conhecimentos destes.

Tabela 3.1: Análise de Requisitos

ID	Requisito	Tipo	Prioridade	Impacto	Detalhes
R1	Migração para uma Base de Dados Relacional (MySQL) com container Docker para armazenamento eficiente.	Sistema	Alta	Elevado	A base deve armazenar métricas em tempo real, históricos detalhados, KPIs e registos associados às máquinas.
R2	Adição de Modelos de Previsão para análise avançada de dados e sugestões automáticas.	Funcional	Alta	Elevado	Os algoritmos devem ser treinados com dados históricos e operar em tempo real, fornecendo alertas para operadores e recomendações de otimização.
R3	Implementação de um sistema para cálculo e visualização de KPIs (Indicadores de Desempenho).	Funcional	Alta	Elevado	Deve ser possível configurar KPIs específicos, com gráficos intuitivos mostrando métricas-chave, como produtividade ou consumo energético.

R4	Desenvolvimento da nova Página "All" para consolidar todos os gráficos e análises estatísticas.	Funcional	Média	Moderado	A página deve apresentar métricas agregadas, tendências e gráficos estatísticos de forma clara e navegável para análises detalhadas, em tempo real.
R5	Integração de Atuadores de Sustentabilidade para monitorizar fatores energéticos e ambientais.	Funcional	Alta	Elevado	Atuadores devem registar dados continuamente e reportar consumo energético, desperdícios e impactos ambientais para o sistema.
R6	Criação de um Sistema de Feedback e Avaliação para recolher opiniões e monitorizar a satisfação dos utilizadores.	Funcional	Média	Moderado	Deve ser possível submeter avaliações pelo sistema, com os dados sendo processados para relatórios de desempenho e sugestões de melhoria.
R7	Adição de um Histórico de Ativos para registar operações, estados e intervenções realizadas em cada máquina.	Funcional	Média	Moderado	Deve ser possível consultar o histórico completo de cada ativo, incluindo data, operador e status das operações realizadas.
R8	Registar histórico de falhas das máquinas separadamente do histórico de ativos.	Funcional	Baixa	Moderado	Cada operação ou falha deve ser registada com detalhes como timestamp, operador e descrição. O histórico deve ser acessível por filtros ou relatórios.
R9	Gerar relatórios automáticos e exportáveis (PDF e CSV) baseados em KPIs.	Funcional	Média	Moderado	Os relatórios devem incluir gráficos, tabelas e estatísticas consolidadas. O utilizador pode selecionar períodos e métricas específicas.

R10	Automação de Processos Administrativos , incluindo a geração automática de relatórios com base no histórico.	Funcional	Média	Elevado	O sistema deve gerar relatórios periódicos para decisões gerenciais, incluindo gráficos e análises com dados históricos e em tempo real.
R11	Criação de um Sistema de Notificações , abrangendo alertas de emergência, início de operações críticas e conclusões.	Funcional	Alta	Elevado	O sistema deve detetar eventos (falhas, início de operações críticas, etc.) e notificar operadores e gestores via dispositivos configurados.
R12	Configurar critérios personalizados para notificações	Funcional	Baixa	Moderado	Gestores devem definir parâmetros específicos, como tipos de evento ou criticidade, para notificações que atendam a necessidades individuais.
R13	Implementação de um sistema de QR Code Scan para cada máquina.	Funcional	Média	Elevado	O QR code deve ser gerado e associado a cada máquina no sistema. Após o scan, exibir métricas, status em tempo real e histórico básico.
R14	Integração de Realidade Aumentada para visualização remota das máquinas na linha de produção.	Funcional	Média	Moderado	A interface deve apresentar a posição das máquinas, status e métricas de forma interativa. Atualizações devem ocorrer em tempo real com dados do sistema.
R15	Otimização de Operações , de tarefas e redução de tempo de inatividade.	Funcional	Baixa	Baixo	O sistema deve identificar obstáculos operacionais e recomendar ações para melhorar a eficiência do fluxo de trabalho.

3.1.2 Descrição detalhada dos requisitos principais

R1 – Base de Dados Relacional (MySQL com Docker)

- **Objetivo:** Garantir o armazenamento eficiente e estruturado de dados, suportando consultas complexas e operações em tempo real.
- **Dependências:**
 - o Infraestrutura técnica para execução de containers Docker.
 - o Integração com os demais módulos do sistema (ex.: QR code, Modelos, Dashboard).
- **Critérios de Aceitação:**
 - o A interface de realidade aumentada deve mostrar a localização, status e métricas das máquinas de forma clara e interativa.
 - o A funcionalidade deve estar disponível em pelo menos 80% dos dispositivos móveis mais utilizados.
 - o Deve permitir zoom e interações simples, como cliques para detalhes de componentes específicos.

R2 – Modelos de Predição

- **Objetivo:** Utilizar algoritmos de análise preditiva e aprendizagem de máquinas para sugerir ações e prever falhas, melhorando a eficiência operacional.
- **Dependências:**
 - o Dados estruturados e históricos disponíveis na base de dados relacional.
 - o Processamento suficiente para treinar e executar modelos de aprendizagem da máquina (Arduino).
- **Critérios de Aceitação:**
 - o O modelo deve fornecer sugestões para otimização de processos com uma precisão elevada.

R3 – Sistema de KPIs

- **Objetivo:** Monitorizar e exibir indicadores-chave de desempenho (KPIs) em tempo real para facilitar a análise e decisão estratégica.
- **Dependências:**
 - o Dados consolidados da base relacional.
 - o Gráficos dinâmicos na página All (novo nome da página - Graphs).
- **Critérios de Aceitação:**
 - o Pelo menos 5 KPIs configuráveis devem ser suportados inicialmente, como eficiência energética e tempo de atividade das máquinas.
 - o Gráficos devem ser atualizados automaticamente.
 - o Exportação dos KPIs deve ser possível em formatos padrões (ex.: PDF, CSV).

R5 – Atuadores de Sustentabilidade

- **Objetivo:** Monitorizar a sustentabilidade das operações, com foco em eficiência energética e impacto ambiental.
- **Dependências:**

- o Sensores e atuadores instalados em cada máquina.
- o Dashboard e sistema de notificações para reportar desvios ou alertas.
- **CrITÉrios de Aceitação:**
 - o O sistema deve identificar desperdício energético com precisão acima de 90%.
 - o Cada atuador deve reportar o status ao sistema em intervalos regulares.
 - o A interface deve exibir “ideias” relacionados à sustentabilidade, como consumo de energia e emissões.

R13 – QR Code Scan

- **Objetivo:** Permitir o acesso rápido às métricas e estado das máquinas através da leitura de um QR code, eliminando a necessidade de interfaces complexas ou múltiplos passos para consulta de informações.
- **Dependências:**
 - o Base de dados relacional para armazenar e recuperar os dados relacionados às máquinas.
 - o Dispositivos móveis ou leitores de QR code compatíveis.
- **CrITÉrios de Aceitação:**
 - o Cada máquina deve ter um QR code único associado, gerado e armazenado no sistema.
 - o O QR code, quando lido, deve exibir métricas em tempo real, status da máquina e histórico básico de operações.
 - o Tempo de resposta inferior a 5 segundos para carregar os dados após a leitura.

3.1.3 User Stories

User Stories e os respetivos cenários de aplicabilidade:

- Base de Dados Relacional

- Como desenvolvedor do sistema, quero que os dados das máquinas sejam armazenados em uma base de dados relacional com suporte a containers Docker, para garantir eficiência no armazenamento e facilitar a escalabilidade.
- **Cenário:** Armazenamento eficiente e estruturado.
 - o **Dado:** Que a base de dados relacional esteja configurada corretamente com suporte a Docker.
 - o **E:** Que os dados das máquinas estejam sendo enviados regularmente ao sistema.
 - o **Quando:** Novos dados forem inseridos no sistema.
 - o **Então:** Eles são armazenados na estrutura relacional e podem ser recuperados por consultas SQL em menos de 5 segundos.
 - o **E:** A base deve suportar mais de 1 milhão de registos sem degradação perceptível no desempenho.

- Modelos de Previsão

- Como supervisor de operações, quero que o sistema me sugira ações para otimizar a produção e prever falhas, para melhorar a eficiência das máquinas e reduzir tempos de inatividade.
- **Cenário:** Sugestão de ações pela modelo.
 - o **Dado:** Que o modelo esteja configurado com dados históricos e padrões pré-definidos.
 - o **E:** Que o sistema esteja recebendo dados atualizados das máquinas.
 - o **Quando:** O modelo detectar padrões indicando falhas ou ineficiências.
 - o **Então:** O sistema envia notificações ao supervisor com sugestões claras para otimização de produção.
- Como operador de manutenção, quero receber notificações sobre falhas previstas nas máquinas com base no histórico de uso, para planejar intervenções antes que ocorram problemas críticos.
- **Cenário:** Previsão de falhas.
 - o **Dado:** Que o modelo tenha acesso ao histórico completo de uso das máquinas.
 - o **E:** Que padrões indicando possíveis falhas sejam detectados.
 - o **Quando:** Uma falha prevista for identificada.
 - o **Então:** O sistema notifica o operador de manutenção, especificando a máquina e a causa provável.

- Sistema de KPIs

- Como gestor de operações, quero monitorar as KPIs de desempenho das máquinas em tempo real na dashboard, para tomar decisões estratégicas com base em dados atualizados.
- **Cenário:** Monitorização de KPIs.
 - o **Dado:** Que os KPIs estejam configurados no sistema e vinculados aos dados em tempo real.
 - o **E:** Que o dashboard esteja operacional.
 - o **Quando:** O gestor acede ao dashboard.
 - o **Então:** O sistema exibe os KPIs configurados em gráficos dinâmicos atualizados.
- Como analista de desempenho, quero exportar os relatórios de KPIs em formato PDF ou CSV, para compartilhar os resultados com a equipa de planeamento.
- **Cenário:** Exportação de relatórios.
 - o **Dado:** Que os KPIs estejam calculados e atualizados no sistema.
 - o **E:** Que a funcionalidade de exportação esteja habilitada.
 - o **Quando:** O analista selecionar a opção de exportar.
 - o **Então:** O sistema gera o relatório no formato escolhido e disponibiliza para download.

- Gráficos da Página All

- Como operador, quero visualizar gráficos interativos sobre o desempenho da minha máquina na dashboard, para compreender melhor o comportamento em tempo real.

- **Cenário:** Visualização de gráficos interativos na dashboard.
 - o **Dado:** Que os dados em tempo real estejam sendo coletados e atualizados no sistema.
 - o **E:** Que os gráficos estejam configurados na dashboard.
 - o **Quando:** O operador aceder à página da dashboard.
 - o **Então:** O sistema exibe gráficos interativos que mostram métricas de desempenho da máquina, como tempo de atividade e consumo energético.
 - o **E:** Permite interações, como filtrar dados por período ou componente.
- Como analista de dados, quero aceder a uma página dedicada a todos os gráficos (página "All"), para analisar informações estatísticas detalhadas.
- **Cenário:** Acesso à página consolidada de gráficos.
 - o **Dado:** Que a página "All" esteja configurada e atualizada com dados agregados.
 - o **E:** Que gráficos detalhados estejam disponíveis.
 - o **Quando:** O analista aceder à página "All".
 - o **Então:** O sistema exibe todos os gráficos consolidados e informações estatísticas detalhadas, com opções de exportação em formatos padrão.

- Atuadores de Sustentabilidade

- Como engenheiro de sustentabilidade, quero que os atuadores me informem sobre o consumo energético e outros fatores de sustentabilidade das máquinas, para identificar oportunidades de redução de impacto ambiental.
- **Cenário:** Monitorização de fatores de sustentabilidade.
 - o **Dado:** Que os atuadores estejam instalados nas máquinas e enviando dados de consumo energético ao sistema.
 - o **E:** Que os dados estejam acessíveis na dashboard.
 - o **Quando:** O engenheiro consultar as informações de sustentabilidade.
 - o **Então:** O sistema exibe métricas detalhadas sobre consumo energético, emissões e outras variáveis ambientais.

- Sistema de Notificações

- Como operador, quero receber notificações em tempo real sobre eventos críticos, como início de operações ou falhas, para agir rapidamente em emergências.
- **Cenário:** Recebimento de notificações automáticas.
 - o **Dado:** Que o sistema tenha critérios configurados para eventos críticos.
 - o **E:** Que o operador esteja registado com um dispositivo para receber notificações.
 - o **Quando:** Um evento crítico for detetado.
 - o **Então:** O sistema envia uma notificação detalhada ao operador.

- QR Code Scan

- Como operador, quero ter um QR code em cada máquina para visualizar rapidamente as suas métricas e o estado atual do sistema, para tomar decisões rápidas sobre ações corretivas ou ajustes.

- **Cenário:** Visualização rápida de métricas da máquina.
 - o **Dado:** Que a máquina tenha um QR code gerado e registrado no sistema.
 - o **E:** Que o operador tenha acesso a um dispositivo com leitor de QR code.
 - o **Quando:** O operador scanear o QR code da máquina.
 - o **Então:** O sistema exibe as métricas em tempo real e o estado atual da máquina.
 - o **E:** Permite visualizar o histórico recente de operações realizadas.

3.2 Modelação

O diagrama de entidade-relação apresentado representa a estrutura lógica de dados para o sistema proposto, garantindo organização e integridade na base de dados.

No núcleo do modelo, a entidade **Máquina** conecta-se a diversos componentes que monitoram e gerenciam a sua operação. Os **Sensores** e **Atuadores** capturam e controlam dados da máquina, enquanto a entidade **Energia-Consumida** regista informações sobre consumo energético. Os **Dados-Sensor** detalham as medições captadas pelos sensores.

A manutenção é registada na tabela **Manutenção**, permitindo acompanhar intervenções e técnicos responsáveis. As **KPIs** fornecem métricas de desempenho, enquanto **Alertas** são gerados para notificar sobre eventos críticos.

Os **Utilizadores** interagem com o sistema, podendo configurar as suas preferências nas Configurações da Dashboard e fornecer **Feedback** ou **Avaliações**, importantes para o aperfeiçoamento do sistema. Todas as tabelas estão normalizadas, garantindo integridade, escalabilidade e fácil manutenção.

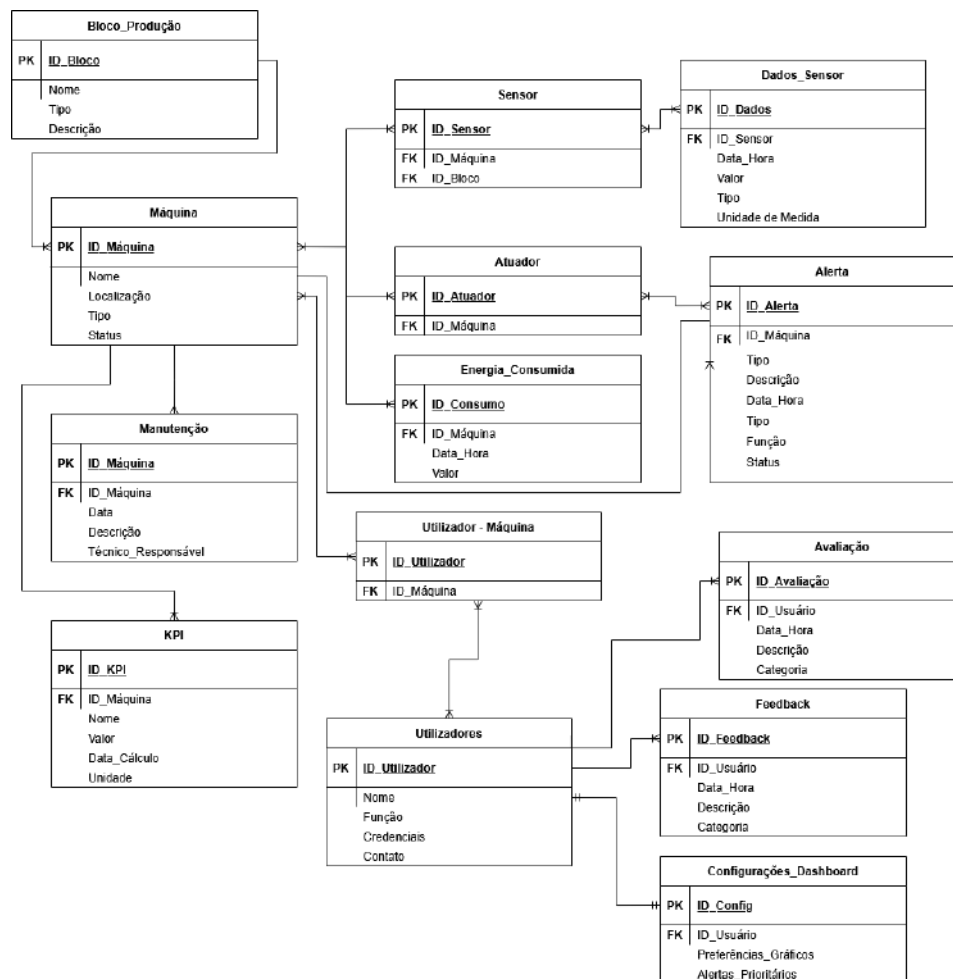


Figura 3.1: Modelo Entidade-Relação

3.3 Protótipos de Interface

Tendo em conta que o projeto envolve o desenvolvimento de uma aplicação móvel que já foi feita e iremos dar continuidade decidindo manter a anterior e adicionar as funcionalidades que propomos nesta, visto que a estrutura já se encontra como se espera; o mapa, e os ecrãs são a versão atual da aplicação.

Este mapa aplicacional permitirá que os operadores tenham uma perceção prévia da estrutura da aplicação antes de começarem a utilizá-lo. Como se pode ver na Figura abaixo, a Figura 10 apresenta três níveis de navegação. No primeiro nível, encontramos o "Ecrã Inicial", que serve como página de autenticação para os utilizadores específicos. No segundo nível, está o "Ecrã Home", considerado a página principal(dashboard) onde são disponibilizadas diversas informações sobre a produção de cada bloco e a zona de avaliação e feedback. No terceiro nível, é possível aceder ao "Ecrã Base", que permite o acesso a todos os dados de base, ao "Ecrã Controller", destinado ao controlo operacional das máquinas, e ao "Ecrã Graphs"(antigo All), que oferece uma visão dos gráficos e métricas das máquinas.

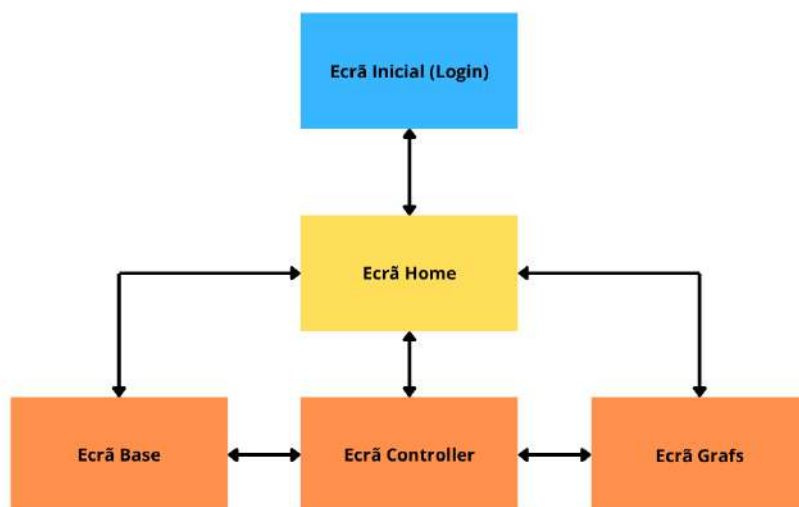


Figura 3.2: Mapa Aplicacional

4. Solução Proposta

4.1 Apresentação

A solução desenvolvida no âmbito do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria tem como objetivo central superar as limitações de sistemas tradicionais baseados em modelos de comunicação M2M, promovendo uma integração IoT robusta e escalável. A proposta é representada por uma maquete funcional que simula a produção industrial, composta por três blocos principais que realizam análise de ingredientes, mistura e o embalamento do produto.

Diferente das soluções genéricas de mercado como Mindsphere (Siemens) ou Watson IoT (IBM), esta solução foi projetada para oferecer personalização e adaptação específica às necessidades de pequenas e médias indústrias. Isto inclui os valores que decidimos aplicar como o MVP da solução em desenvolvimento, sendo estes aqueles que maioritariamente diferenciam e proporcionam um produto completo:

1. **Infraestrutura de Dados Modernizada:** Utilização de uma base de dados relacional que melhora o acesso a dados históricos e consultas complexas, superando o Firebase utilizado no projeto inicial.
2. **Dashboards Avançados e Visualização Intuitiva:** Desenvolvimento de interfaces dinâmicas e personalizáveis, com notificações em tempo real e métricas visuais, um diferencial competitivo frente às plataformas comerciais que frequentemente priorizam integração corporativa ampla em detrimento de personalização detalhada.
3. **Manutenção Preditiva Baseada em modelos:** Implementação de algoritmos que antecipam falhas e otimizam processos, uma funcionalidade ainda emergente em soluções concorrentes.
4. **Sustentabilidade e Eficiência Energética:** Integração de métricas de eficiência energética diretamente na solução, alinhada aos ODS, indo além das funções de monitorização genéricas.
5. **Sistema de Feedback e Avaliação:** Operadores e técnicos podem fornecer feedback sobre o desempenho das máquinas e registar avaliações após intervenções. Esses dados são armazenados e utilizados para análises de melhoria contínua.

Na comparação com empresas como Siemens e Particle, esta solução destaca-se por oferecer um modelo adaptável, acessível e prático, com forte ênfase em usabilidade, escalabilidade e impacto direto nas operações industriais.

4.2 Arquitetura

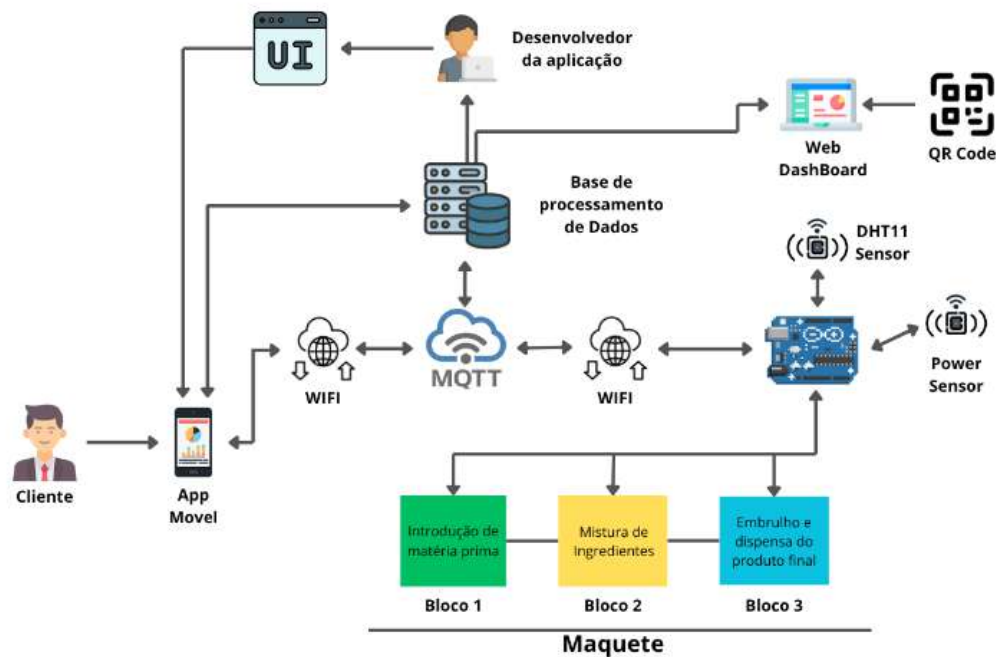


Figura 4.1: Arquitetura existente da solução

A arquitetura proposta para o desenvolvimento do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria foi desenhada para integrar e otimizar a comunicação entre os diferentes componentes da solução, com foco na escalabilidade, eficiência operacional e alinhamento da indústria. A solução combina tecnologias robustas e inovadoras para oferecer uma experiência moderna e funcional ao operador.

As tecnologias foram escolhidas para garantir:

- **Escalabilidade:** Capacidade de adicionar novos dispositivos e funcionalidades sem reconfiguração complexa.
- **Eficiência Operacional:** Comunicação rápida e confiável, redução de downtime e análises preditivas.
- **Acessibilidade:** Interfaces intuitivas e compatibilidade com dispositivos modernos.
- **Sustentabilidade:** Monitoramento e redução de desperdícios energéticos, alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

4.3 Tecnologias e Ferramentas Utilizadas



Figura 4.2: Linguagens e Ferramentas Utilizadas



Figura 4.3: Arduino R4 WIFI-UNO

A seguir, apresentam-se as tecnologias principais:

1. **Base de Dados Relacional (MySQL)**

Substituição do Firebase pela utilização de um sistema relacional que permite consultas complexas e o armazenamento eficiente de grandes volumes de dados históricos, viabilizando análises mais robustas.

2. **Microcontroladores Arduino**

Flexibilidade, custo-benefício e ampla compatibilidade para a integração de sensores e atuadores, garantindo o controle eficiente dos processos simulados.

3. **Sensores e Atuadores** Monitorar métricas das máquinas (temperatura, consumo energético, estado operacional), como (ex.: DHT22 para temperatura, Z-Wave para energia).

4. **Protocolo MQTT**

Comunicação leve e em tempo real entre os dispositivos IoT, ideal para aplicações industriais onde a baixa latência é crucial.

5. Plataforma Docker

Garantia de portabilidade e consistência na execução de serviços, simplificando a escalabilidade e a manutenção da solução.

6. Linguagens de Programação (Python, Dart, C/C++) Python é utilizado para algoritmos modelação e análise de dados, enquanto C/C++ é empregado no desenvolvimento do Arduino. A integração com o front-end, é a continuação do projeto anterior com Flutter que se encontra entregue no Dart.

7. Power BI é uma plataforma de Business Intelligence (BI) da Microsoft que permite transformar dados não relacionados e relacionados em informações coerentes, visualmente envolventes e, para obter uma Dashboard mais personalizada e interativa.

4.4 Abrangência

A interdisciplinaridade do curso foi fundamental para o sucesso do projeto, combinando competências técnicas e práticas. O conhecimento adquirido em bases de dados, programação, inteligência artificial, redes e sustentabilidade permitiu o desenvolvimento de uma solução robusta e alinhada com os pedidos da indústria. Essa integração garante que o projeto não apenas atenda aos requisitos, mas também agregue valor ambiental, econômico e social.

- **Base de Dados**

- o Aplicação de técnicas de modelagem de dados e design de bases de dados relacionais para estruturar o sistema de armazenamento e consulta de informações das máquinas.
- o Utilização de conceitos de normalização e manipulação de dados por meio de consultas SQL para suportar funcionalidades como o histórico de ativos e KPIs.

- **Linguagens de Programação II**

- o Uso de práticas de programação orientada a objetos e desenvolvimento modular para garantir a escalabilidade e eficiência da solução.

- **Ciência de Dados**

- o Implementação de algoritmos para prever falhas e sugerir otimizações operacionais com base na análise de padrões históricos.
- o Utilização de conceitos de aprendizagem supervisionado e não supervisionado para treinar modelos preditivos com dados reais e de simulação para efeitos de análise.

- **Engenharia de Software e Engenharia de Requisitos e Testes**

- o Definição e documentação de requisitos funcionais e não funcionais.
- o Planeamento e execução do desenvolvimento em fases, garantindo a integração dos módulos como dashboard, sistema de notificações e página All.

- **Arquitetura Avançada de Computadores**

- o Configuração de dispositivos IoT para coleta de dados em tempo real e comunicação com a base de dados.

- o Uso de protocolos de comunicação, para conectar sensores, atuadores e o sistema principal.
- **Sistemas de Suporte à Decisão**
 - o Aplicação de técnicas de modelagem de dados e design de bases de dados relacionais.
 - o Uso e criação de dashboards interativos com bases de dados.
- **Interação Humano Máquina**
 - o Aplicação de técnicas de criação e desenvolvimento de aplicações com normas gerais para o seu desenvolvimento e melhoramento.
 - o Técnicas de aplicação de teste com utilizadores e escolha, acertada de grupos-alvos para essa exploração.
- **Computação Móvel**
 - o Melhoria de uma aplicação móvel feita em Flutter.
 - o Melhores práticas de estruturação e modelagem de uma aplicação.

4.5 Componentes

1. QR Code Scan

Este componente permite que operadores façam scan de QR codes associados a máquinas para aceder as suas métricas, status e histórico em tempo real.

Aspetos Técnicos:

- **Geração de QR Codes:** Utilização de bibliotecas de QR Code para gerar identificadores únicos associados a cada máquina.
- **Integração com Base de Dados:** O QR code mapeia diretamente um registo na base de dados relacional, permitindo consultas rápidas e exibição de informações específicas.

2. Base de Dados Relacional

Substituir o Firebase por uma base de dados relacional MySQL, estruturada para suportar as novas funcionalidades do sistema, como históricos detalhados e consultas complexas.

Aspetos Técnicos:

- **Estrutura de Dados:** Tabelas relacionais organizadas para armazenar informações de máquinas, métricas, históricos e KPIs.
- **Container Docker:** Configuração do MySQL dentro de containers Docker para facilitar a escalabilidade e o gerenciamento.

- **Consultas Otimizadas:** Uso de índices, joins e alias para garantir consultas rápidas e eficientes.

3. Modelação de Dados

Algoritmos de aprendizagem de máquinas analisam dados históricos para prever falhas, sugerir otimizações e identificar tendências no desempenho das máquinas.

Aspetos Técnicos:

- **Modelos de Machine Learning:** Treinamento com bibliotecas de ciência de dados, utilizando dados históricos para construir modelos preditivos.
- **Integração com o Sistema:** O modelo processa os dados da base relacional e envia notificações ou sugestões diretamente para os operadores e gestores.
- **Análise em Tempo Real:** Os modelos são continuamente ajustados com base nos dados mais recentes.

4. Sistema de KPIs

Permite monitorar indicadores-chave de desempenho em tempo real, exibindo gráficos dinâmicos e exportando relatórios.

Aspetos Técnicos:

- **Configuração de KPIs:** Sistema permite definir métricas personalizadas, como eficiência, tempo de atividade ou consumo energético.
- **Gráficos Interativos:** Desenvolvimento com bibliotecas de gráficos ou APIs para exibição responsiva.
- **Exportação de Dados:** Implementação de geração de relatórios em formatos PDF e CSV usando bibliotecas ou APIs.

5. Gráficos da Página Graphs(All)

O dashboard exibe gráficos interativos para operadores, enquanto a página Graphs consolida todas as métricas e informações em uma visão unificada para analistas.

Aspetos Técnicos:

- **Dashboard:** Desenvolvida com Power BI e bibliotecas adicionais para criar interfaces dinâmicas e responsivas.
- **Página All:** Organização de gráficos agregados, permitindo visualizações personalizáveis com filtros e opções de comparação.

6. Atuadores de Sustentabilidade

Monitoram consumo energético e outros fatores ambientais, permitindo ajustes automáticos para otimizar a sustentabilidade operacional.

Aspetos Técnicos:

- **Sensores e Atuadores:** Uso de dispositivos IoT conectados via protocolos como MQTT para enviar e receber dados.
- **Automação:** Implementação de regras no sistema para identificar desvios e enviar comandos de ajuste para os atuadores.
- **Integração com Dashboard:** Dados de sustentabilidade são exibidos em gráficos dedicados, permitindo o acompanhamento em tempo real.

7. Sistema de Notificações

Envia notificações em tempo real sobre eventos críticos, como falhas ou início de operações, e permite configurações personalizadas.

Aspetos Técnicos:

- **Sistema de Alerta:** Configuração de gatilhos baseados em eventos monitorados pelo sistema.
- **Plataforma de Notificação:** Integração com serviços de notificações via e-mail/SMS ou notificação padrão.
- **Personalização:** Os gestores podem configurar alertas específicos para diferentes cenários.

4.6 Interfaces

O ecrã inicial que inclui as áreas de arranque e de autenticação. Sendo disponibilizados campos para preenchimento, sendo esta uma medida relevante para assegurar a segurança e personalizar a experiência do utilizador.

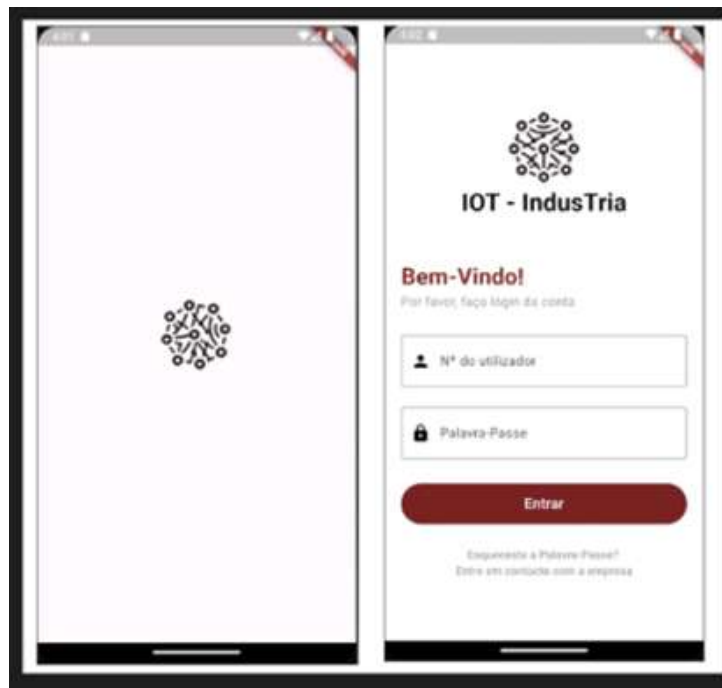


Figura 4.4: Ecrã de Login

De seguida, apresenta-se um ecrã destinado à visualização detalhada dos dados referentes a cada bloco de produção. No primeiro bloco, são disponibilizadas as quantidades de cada ingrediente; para o segundo bloco, são expostas as fases das tarefas a executar e a temperatura atual no interior da máquina; quanto ao terceiro bloco, são apresentados os dados conforme mostrado na imagem.

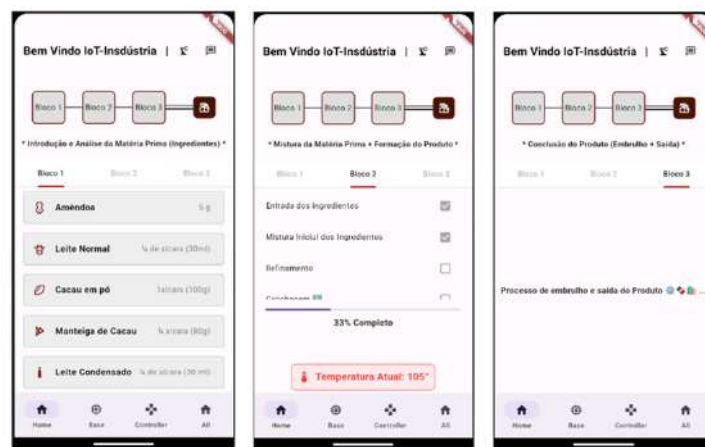


Figura 4.5: Ecrãs de Visualização da Produção

Por fim, existe ecrã de Base de Dados, no qual estão armazenadas todas as informações das produções diárias, organizadas sob a forma de lista. Havendo também um ecrã de Controlo que permite gerir as simulações desejadas, identificando os botões que controlam as simulações. Além disso, foi introduzido um ecrã denominado "All", que exibe uma série de gráficos e tabelas, mostrando uma variedade de informações, como, por exemplo, a produção mensal e diária, vendas diárias, quantidade de chocolates produzida dentro de X horas, entre outros dados pertinentes, sendo a previsão destes valores com o auxílio de inteligência artificial.

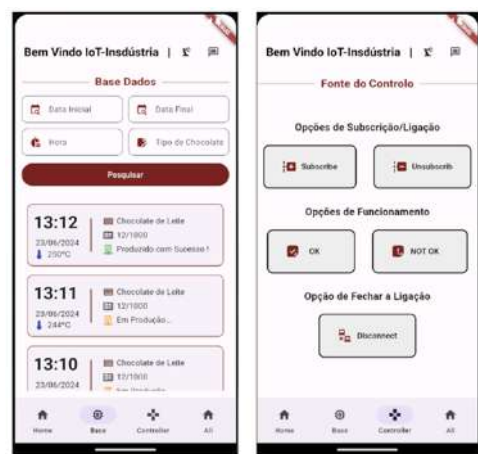


Figura 4.6: Ecrãs de Controlo



Figura 4.7: Página de visualização de dados

5. Testes e Validação

O Caso de teste principal usado foi o modo OK, este consiste em correr a linha de produção toda e verificar o estado na aplicação, na maquete física/Arduino e no protocolo de comunicação MQTT via logs.

Como o trabalho acaba por ser uma simulação de uma fábrica, tem que se estar sempre a testar cada módulo, para garantir o funcionamento deste por questões de possíveis interferências com outros componentes ou o MQTT em si (um exemplo deste foi que houve uma atualização do provedor deste serviço que resultou no congelamento total do MQTT durante uma semana).

Aqui se encontram alguns testes que foram realizados para garantir o funcionamento do projeto.

Teste 1 – R1/R3/R15: Simulação de Elementos da Linha de Produção

- **Tipo de Teste:** Teste Funcional / Teste de Interface com o Utilizador
- **Método Utilizado:** Teste manual através da interface gráfica do Aplicação (Simulador).
- **Critério de Aceitação:** O sistema deve aceitar a conexão ao MQTT, a seleção do Modo Ok e armazenar os dados produzidos sem desvios dos dados "normais".
- **Objetivo:** Validar que a interface aceita as entradas (clicar no botão e realizar a operação) e que os dados são corretamente processados e guardados na BD.

Teste 2 – Indicadores Luminosos

- **Tipo de Teste:** Teste de Integração / Teste de Comunicação com Hardware
- **Método Utilizado:** Simulação de estados via software e observação da resposta do Arduino.
- **Critério de Aceitação:** LEDs devem acender corretamente conforme o estado (OK/NotOK) enviado.
- **Objetivo:** Confirmar que o sinal enviado do sistema ao Arduino ativa corretamente os LEDs esperados.

Teste 3 – Controlo do Motor de Passo

- **Tipo de Teste:** Teste Funcional / Teste de Hardware
- **Método Utilizado:** Envio de comandos via interface para controlar o motor; observação do movimento.
- **Critério de Aceitação:** O motor deve executar a operação completa sem interrupções ou falhas (empurrar o produto).
- **Objetivo:** Verificar a integração entre software e hardware no controlo de atuadores físicos.

Teste 4 – R3/R8: Histórico e Registo de Dados

- **Tipo de Teste:** Teste de Persistência / Teste de Base de Dados
- **Método Utilizado:** Execução de simulações (modo Ok/NotOK) e posterior verificação dos dados armazenados.
- **Critério de Aceitação:** Todos os dados das execuções devem estar corretamente registados e acessíveis.
- **Objetivo:** Validar que o sistema consegue guardar informações de forma fiável.

Teste 5 – R4: App Mobile - Gráficos

- **Tipo de Teste:** Teste de Interface / Teste de Atualização em Tempo Real
- **Método Utilizado:** Análise da exibição sequencial dos estados no gráfico por intervalos de minuto.
- **Critério de Aceitação:** Os estados devem ser exibidos conforme registados, com intervalo de tempo correto.
- **Objetivo:** Validar a cronologia e integridade dos dados apresentados no gráfico.

Teste 6 – R4/R11/R15: App Mobile - Funcionalidade Completa

- **Tipo de Teste:** Teste de Sistema / Teste de Usabilidade
- **Método Utilizado:** Navegação por todas as funcionalidades da aplicação.
- **Critério de Aceitação:** Nenhuma falha encontrada durante o uso de controlo, configuração, monitorização ou de atrasos a carregar informação.
- **Objetivo:** Verificar se a app atende aos requisitos gerais do sistema e se é estável durante uso contínuo e prolongado.

Teste 7 - R13: QR Code Scan para Máquina

- **Tipo de Teste:** Teste Funcional / Teste de Integração com Dispositivos
- **Método Utilizado:** Usar um dispositivo móvel e fazer scan deste.
- **Critério de Aceitação:** O tempo de resposta deve ser rápido (não demorar mais de 2 segundos) e deve apresentar as métricas certas.
- **Objetivo:** Garantir que a leitura ativa a visualização correta e em tempo real dos dados da máquina, melhorando a monitorização destes indicadores, num contexto real.

6. Método e Planeamento

6.1 Planeamento Inicial

O desenvolvimento do projeto IoT Lab2.0 - CGI Indústria seguiu uma abordagem iterativa e incremental, estruturada com base no cronograma detalhado apresentado no **Gantt Chart**. Este método de trabalho combinou elementos de **gestão ágil** e planeamento tradicional para garantir entregas regulares e alinhadas às datas críticas, como as avaliações intercalares e a entrega final.

O projeto foi dividido em **duas fases principais**, cada uma focada em objetivos específicos:

1. Fase de Implementação Inicial (01/12/2024 – 13/04/2025):

- o Desenvolvimento dos componentes essenciais para viabilizar o funcionamento básico do sistema.
- o Implementação de requisitos funcionais fundamentais.
- o Consolidação de tarefas relacionadas à entrega da primeira versão do relatório.

2. Fase de Testes e Otimizações (13/04/2025 – 27/06/2025):

- o Identificação e correção de bugs.
- o Realização de testes unitários, integração e de sistema.
- o Implementação de melhorias baseadas nos testes e no feedback de stakeholders.
- o Revisão e finalização de todos os componentes do projeto.

	Nome	Duração	Início	Fim
	Componentes e Tarefas (I	122 dias	01-12-2024 8:00	20-05-2025 17:00
	Base de Dados Relaciona	24 dias	01-12-2024 8:00	02-01-2025 17:00
	Configuração do ambiente	8 dias	01-12-2024 8:00	11-12-2024 17:00
	Criação do modelo relacion	6 dias	12-12-2024 8:00	19-12-2024 17:00
	Desenvolvimento de APIs c	10 dias	20-12-2024 8:00	02-01-2025 17:00
	Sistema de KPIs	18 dias	03-01-2025 8:00	28-01-2025 17:00
	Definição dos KPIs	4 dias	03-01-2025 8:00	08-01-2025 17:00
	Criação de gráficos interat	8 dias	09-01-2025 8:00	20-01-2025 17:00
	Funcionalidade de exporta	6 dias	21-01-2025 8:00	28-01-2025 17:00
	Gráficos e Página All	10 dias	29-01-2025 8:00	11-02-2025 17:00
	Desenvolvimento da página	10 dias	29-01-2025 8:00	11-02-2025 17:00
	Atuadores de Sustentab	16 dias	12-02-2025 8:00	05-03-2025 17:00
	Monitoramento de consum	8 dias	12-02-2025 8:00	21-02-2025 17:00
	Ajustes automáticos nos p	8 dias	22-02-2025 8:00	05-03-2025 17:00
	QR Code Scan	18 dias	06-03-2025 8:00	31-03-2025 17:00
	Geração de QR codes	4 dias	06-03-2025 8:00	11-03-2025 17:00
	Integração com base de d	6 dias	12-03-2025 8:00	19-03-2025 17:00
	Desenvolvimento da interf	8 dias	20-03-2025 8:00	31-03-2025 17:00
	Histórico de Ativos	6 dias	01-04-2025 8:00	08-04-2025 17:00
	Registro e consulta de hist	6 dias	01-04-2025 8:00	08-04-2025 17:00
	Inteligência Artificial	18 dias	09-04-2025 8:00	02-05-2025 17:00
	Implementação de algoritm	10 dias	09-04-2025 8:00	22-04-2025 17:00
	Integração dos modelos co	8 dias	23-04-2025 8:00	02-05-2025 17:00
	Sistema de Notificações	12 dias	05-05-2025 8:00	20-05-2025 17:00
	Configuração do sistema d	6 dias	05-05-2025 8:00	12-05-2025 17:00
	Personalização de critérios	6 dias	13-05-2025 8:00	20-05-2025 17:00
	Sistema de Feedback e A	10 dias	21-04-2025 8:00	02-05-2025 17:00
	Desenvolvimento de formu	6 dias	21-04-2025 8:00	28-04-2025 17:00
	Relatórios de análise de fe	4 dias	29-04-2025 8:00	02-05-2025 17:00
	Testes e Otimizações (Fas	52 dias	05-05-2025 8:00	15-07-2025 17:00
	Testes unitários de todos os	18 dias	05-05-2025 8:00	28-05-2025 17:00
	Testes integrados	14 dias	29-05-2025 8:00	17-06-2025 17:00
	Correções de bugs identifica	20 dias	18-06-2025 8:00	15-07-2025 17:00
	Otimização do código	12 dias	16-06-2025 8:00	01-07-2025 17:00
	Ajustes baseados em feedba	10 dias	02-06-2025 8:00	13-06-2025 17:00

Figura 6.1: Tabela do gráfico de Gantt no Project Libre - Modelo Inicial

Nome	Duração	Início	Fim
Componentes e Tarefas (Fase de Implementação Inicial)	125 dias	12-12-2024 8:00	04-06-2025 17:00
Base de Dados Relacional	52 dias	12-12-2024 8:00	21-02-2025 17:00
Configuração do ambiente Docker com MySQL	12 dias	12-12-2024 8:00	27-12-2024 17:00
Integração com a Aplicação	10 dias	28-12-2024 8:00	10-01-2025 17:00
Reverter bugs já existentes	30 dias	11-01-2025 8:00	21-02-2025 17:00
MQTT	19 dias	24-02-2025 8:00	20-03-2025 17:00
Reverter bugs já existentes	6 dias	24-02-2025 8:00	03-03-2025 17:00
Comunicação entre Arduino-Aplicação-MySQL	8 dias	04-03-2025 8:00	13-03-2025 17:00
Recolha de dados Sensor Humidade/Temperatura	1 dia	19-03-2025 8:00	19-03-2025 17:00
Recolha de dados Sensor Voltagem/Corrente	1 dia	20-03-2025 8:00	20-03-2025 17:00
Gráficos e Página All	27 dias	21-03-2025 8:00	28-04-2025 17:00
Desenvolvimento da página consolidada em PowerBI	11 dias	21-03-2025 8:00	04-04-2025 17:00
Implementar na aplicação	16 dias	05-04-2025 7:00	28-04-2025 17:00
Sistema de KPIs	8 dias	29-04-2025 8:00	08-05-2025 17:00
Definição dos KPIs	3 dias	29-04-2025 8:00	01-05-2025 17:00
Criação de gráficos interativos	2 dias	02-05-2025 8:00	05-05-2025 17:00
Funcionalidade de exportação de relatórios	3 dias	06-05-2025 8:00	08-05-2025 17:00
QR Code Scan	10 dias	09-05-2025 8:00	22-05-2025 17:00
Geração de QR codes	3 dias	09-05-2025 8:00	13-05-2025 17:00
Integração com base de dados	3 dias	14-05-2025 8:00	16-05-2025 17:00
Desenvolvimento da interface	4 dias	17-05-2025 8:00	22-05-2025 17:00
Modelo Preditivo	19 dias	09-05-2025 8:00	04-06-2025 17:00
Implementação de algoritmos de predição e otimização	6 dias	09-05-2025 8:00	16-05-2025 17:00
Integração dos modelos com a base de dados	13 dias	17-05-2025 8:00	04-06-2025 17:00
Sistema de Notificações	10 dias	22-05-2025 8:00	04-06-2025 17:00
Configuração do sistema de notificações	10 dias	22-05-2025 8:00	04-06-2025 17:00

Figura 6.2: Tabela do gráfico de Gantt no Project Libre - Modelo Novo

6.2 Análise Crítica ao Planeamento

Durante a realização deste projeto, foram-se identificando limitações que existiam no projeto anterior e o calendário definido inicialmente teve de ser adaptado, dando prioridade aos componentes que mais marcavam relevo neste projeto para a conclusão do que seria o MVP definido inicialmente.

6.2.1 Progresso de Trabalho - Dezembro(2024)/Janeiro(2025)

Durante este período de tempo, foi realizada a troca completa de Firebase para MySQL, criou-se uma classe para realizar a conexão à base de dados, esta tendo as configurações necessárias para esta se poder realizar, criou-se um container Docker para poder armazenar a base de dados, e depois usou-se um script MySQL para poder criar a base de dados e a tabela, criando-se um repositório separado para caso trocasse alguma tabela, para poder controlar as versões desta, por ainda ter que se ajustar o modelo desenvolvido inicialmente.

```
import 'package:mysql_client/mysql_client.dart';

class DatabaseConnector {
  static final DatabaseConnector _instance = DatabaseConnector._internal();
  factory DatabaseConnector() => _instance;

  DatabaseConnector._internal();

  MySqlConnection? _conn;

  Future<void> connect() async {
    if (_conn == null) {
      try {
        _conn = await MySqlConnection.createConnection(
          host: "10.0.2.2",
          port: 3306,
          userName: "root",
          password: "secret",
          databaseName: "IoT_Lab2_0",
        );
        await _conn!.connect();
      } catch (e) {
        print("Erro ao conectar à base de dados: $e");
        _conn = null;
        throw Exception("Erro ao conectar à base de dados: $e");
      }
    }
  }
}
```

Figura 6.3: Classe de conexão à BD

A lógica de login (esta originalmente não usava o Firebase, algo que deveria para o contexto; portanto, adicionou-se na base de dados as credenciais de dois utilizadores de teste, e usou-se um SELECT para verificar se este existe ou não nesta).

```
Future<void> _login() async {
  try {
    final db = DatabaseConnector();
    await db.connect();
    final conn = db.connection;

    final result = await conn.execute(
      "SELECT * FROM Utilizadores WHERE username = :username AND password = :password",
      {
        "username": _userController.text.toString(),
        "password": _passwordController.text.toString(),
      },
    );

    if (result.rows.isNotEmpty) {
      Navigator.of(context).pushReplacement(
        MaterialPageRoute(builder: (context) => MainPages()),
      );
    } else {
      _showError('Credenciais inválidas.');
```

Figura 6.4: Função de Login

Por fim, trocaram-se todos os locais onde se usava Firebase pelo MySQL, e por questões da biblioteca em si já não ter suporte, foi necessário criar sempre uma função duplicada que fazia a requisição à BD por ele, não aceitar uma forma genérica que corresse noutra classe por a instância se encontrar fora da classe alvo, impossibilitando uma forma mais eficiente deste, mas como este foi implementado de forma simples a conexão é sempre feita usando a mesma forma.

```
await db.connect();
final conn = db.connection;

final result = await conn.execute(
    'SELECT nome, descricao FROM Ingrediente');
```

Figura 6.5: Passos para Conectar à BD

6.2.2 Progresso de Trabalho - Fevereiro(2025)/Março(2025)

Nesta segunda etapa, inicialmente averiguou-se que existia uma tabela de ingredientes que existia no código, que misturava informação com o Firebase, decidiu-se passar esta para a BD correspondendo à tabela de Ingredientes.

Depois desta fase de troca, realizou-se a adaptação do código do protocolo de comunicação(MQTT) e do Arduino, por ser necessário introduzir dois novos sensores na maquete, este sendo o DHT11 e o SBC-DVA Com a adição destes novos sensores para recolher dados como temperatura e humidade(DHT11), e voltagem(SBC-DVA), estes sendo para usar nas KPIs e nos modelos preditivos.

Durante a realização desta parte, encontrou-se um problema significativo que atrasou a realização do restante trabalho previsto, que foi, por o MQTT possivelmente não estar a funcionar e não saber-se qual a causa deste. Realizaram-se vários testes individuais sem usar a aplicação e só a comunicação entre o arduino e um Proxy. A conclusão a que se chegou foi que o problema existia no trabalho original. Este tinha sido identificado e resolvido para a maquete poder sequer funcionar, mas nunca foi documentado, e nem reportado seja para o orientador ou a entidade externa (CGI).

O problema foi resolvido e era uma questão de conectividade por wifi pela largura de banda. Para um dispositivo como um Arduino poder ter wifi, este tem de ter uma largura de banda de **2.4 GHz** normalmente, e o wifi proveniente da universidade só suporta atualmente por volta de **5 GHz**. A solução encontrada foi utilizar uma rede móvel e diminuir nas configurações a largura de banda para 2.4 GHz para poder ter conectividade no Arduino.

Depois de haver conectividade, foi testada a comunicação via MQTT, e verificou-se que as LEDs fundiram-se, mas o motor ainda funciona bem, estando só um pouco enferrujado. Verificando isto e o funcionamento dos novos sensores introduzidos, realizou-se a identificação e extração das KPIs para uso nos modelos.

- Tempo online (quanto tempo o dispositivo permanece conectado ao Wi-Fi e ao broker

MQTT).

- Número de reconexões Wi-Fi e MQTT (quantas vezes o dispositivo perdeu a conexão e precisou reconectar).
- Latência de comunicação MQTT (tempo de resposta entre o envio e a recepção da mensagem).
- Número total de ativações do motor (quantas vezes ele foi acionado).
- Tempo médio de ativação do motor (quanto tempo o motor permanece ativo a cada ciclo).
- Erros ou interrupções no movimento (exemplo: quando o microswitch é acionado inesperadamente).
- Número de acionamentos do microswitch (quantas vezes o microswitch foi pressionado).
- Ocorrências inesperadas (se o motor parar sem completar um ciclo esperado).
- Número de ativações no modoOK e modoNOTOK (quantas vezes cada modo foi chamado).
- Consumo total do sistema (Watt-hora ou miliamperes-hora - mAh).
- Picos de corrente (pode indicar falhas ou sobrecarga).
- Eficiência energética (relação entre tempo de operação e consumo).

Com esta identificação, prosseguiu-se para o envio destas para a aplicação e depois estas são analisadas e enviadas para a BD.

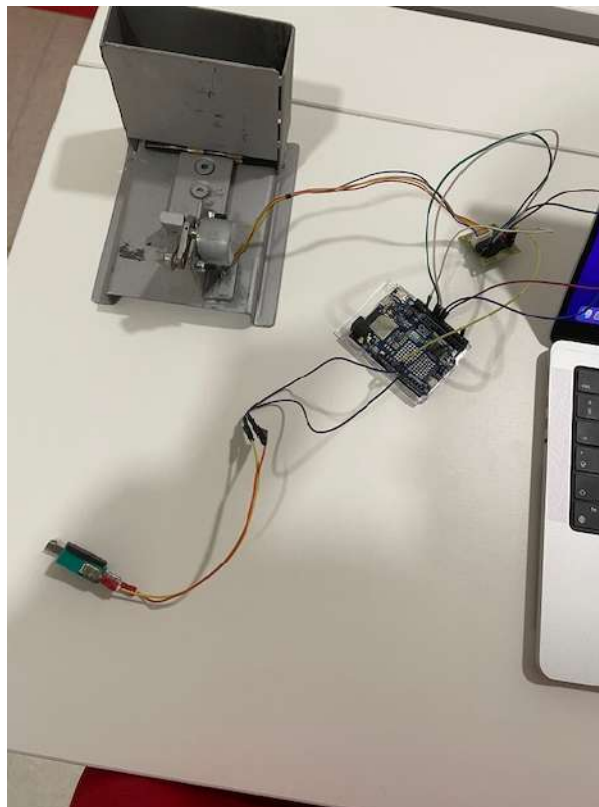


Figura 6.6: Motor de Passo

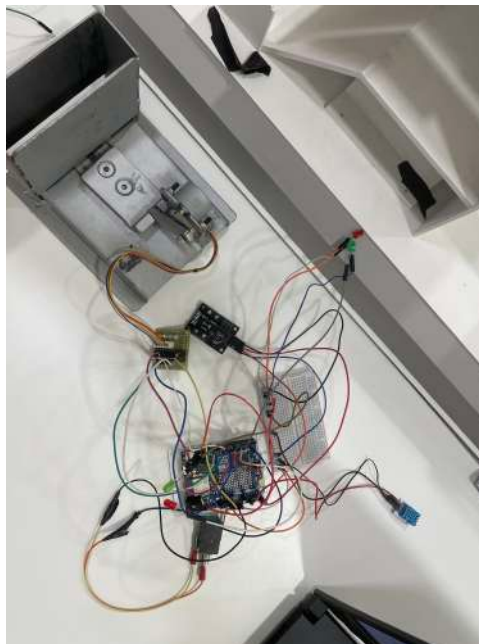


Figura 6.7: Sensores incluídos na maquete - junho (2025)

6.2.3 Progresso de Trabalho - Abril(2025)/Junho(2025)

Foi realizada a parte dos gráficos(este é um protótipo), onde estes foram feitos no Power BI e a comunicação para a aplicação para mostrar estes e para poder filtrar, usando as opções de interação dentro da aplicação.

Para a continuação, depois dos gráficos estarem terminados, vai-se realizar a parte do QR Code scan e dos modelos preditivos em paralelo, por estes serem dois pontos isolados da aplicação que, no fim, podem-se ligar; mais ainda, está-se para ver como o trabalho evolui.

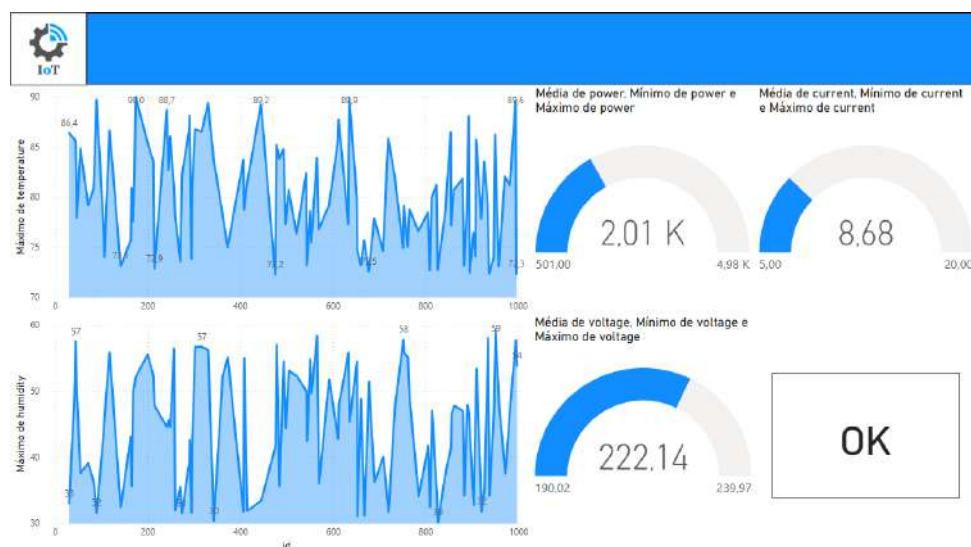


Figura 6.8: Maquete de Gráficos - Modo OK

Mas com a realização desta parte, alguns problemas foram encontrados: o primeiro problema foi fazer a integração do PowerBI na aplicação, acabou por levar um tempo e descobriu-se

que o layout no modo telefone do PowerBI, não pode ser integrado via API para uma aplicação de "terceiros"(neste caso nós), e no Stackoverflow esta pergunta foi colocada múltiplas vezes por outros utilizadores e todas sem uma resposta e solução concreta.

A forma usada para dar a volta neste problema foi simplesmente fazer um layout mobile na interface de Dashboard normal do PowerBI e integrar via API na aplicação, levando ao segundo problema. Depois de integrado, ele demorava muito tempo a carregar a página e era demasiado lento, até ao ponto que não era usável por um utilizador, podendo ser um problema crítico essa demora. A solução encontrada foi, em vez de usar o PowerBI, usar as bibliotecas de gráficos do Flutter, neste caso, o **fl_chart**, fazendo este de forma interativa: a leitura pressionada corresponde ao ponto do gráfico selecionado.



Figura 6.9: Página de gráficos da aplicação - Graphs

Fez-se a realização de um sistema de notificações básico onde apresenta algumas delas que sejam sobre algum estado crítico ou evento que esteja a acontecer na linha de produção: se o serviço de procedimento de erro na linha de produção for lançado, uma notificação é enviada e quando está a correr tudo, também lança (visto isto ser uma simulação numa maquete).



Figura 6.10: Notificação de Modo Ok ter sido selecionado

Depois dos gráficos na aplicação estarem sincronizados com a base de dados, fez-se a parte do QR code, onde primeiro criou-se uma página HTML e depois gerou-se um QR Code para levar para essa página onde tentou-se manter a integridade da interface com os gráficos da aplicação e a forma como apresenta a informação.



Figura 6.11: QR code para a página de gráficos



Figura 6.12: Página HTML que devolve ao Fazer Scan do Qr Code

Por fim, realizou-se a parte dos modelos preditivos, onde usou-se o Google Colab para fazer o estudo inicial.

Os dados usados foram deixar a maquete a correr e selecionar o modo NotOk 25% das vezes para que existam dados suficientes do que seria um caso de falha para treinar o modelo melhor, e tentar atingir 20000 dados para tentar ter uma base melhor.

O estudo foi feito comparando diversos modelos e os que chamaram mais a atenção foram o de regressão logística, sendo que isto é um processo de classificação binária se a máquina está OK ou NotOk, os modelos da família de Random Forest, por usarem árvores de decisão no seu algoritmo e, por fim, o LightGBM da família Boosting, usando árvores sequenciais, onde cada uma aprende com os erros da anterior, sendo rápido a processar e classificar e com o problema de acontecer casos de Overfitting se os dados não se ajustarem, tendo uma tendência para decorar o que, neste caso, não é muito um problema por as anomalias serem semelhantes ou acabarem por produzir valores demasiado grandes que são fáceis de identificar, por este tipo de modelo.

Aqui vai um exemplo de um modelo excluído:

	Precision	Recall	F1-score	Support
0	0.72	0.99	0.84	38,973
1	0.97	0.29	0.45	21,027
Accuracy			0.75	60,000
Macro avg	0.84	0.64	0.64	60,000
Weighted avg	0.81	0.75	0.70	60,000

Tabela 6.1: Relatório de desempenho do modelo excluído

Classe 0 (Modo Ok):

- Precision = 0.72 → Quando o modelo previu "0", ele acertou 72% das vezes.

- Recall = 0.99 → O modelo identificou 99% de todos os verdadeiros "0".
- F1-score = 0.84 → Bom equilíbrio entre precision e recall.

Classe 1 (Modo NotOk)

- Precision = 0.97 → Muito alto: quase todas as vezes que o modelo previu "1", estava certo.
- Recall = 0.29 → Baixíssimo: ele deixou escapar 71% dos verdadeiros "1".
- F1-score = 0.45 → Péssimo: significa que, apesar de precisar detetar "1", ele quase sempre falha em encontra-los.

Concluindo sobre o modelo onde o objetivo é detetar erros, os fatores que levaram à exclusão foram o recall de NotOk e o seu f1, por indicar um baixo balanço e uma baixa taxa de sucesso de classificação para um fator crítico, demasiado baixa para ser aceitável.

7. Resultados

7.1 Resultados dos Testes

Estes são os resultados dos testes realizados à maquete, base de dados, aplicação e "site".

Teste 1 – R1/R3/R15: Simulação de Elementos da Linha de Produção

- **Descrição:** Configurar um elemento individual da linha de produção através do simulador e verificar se todas as variáveis e dados são aceites e armazenados corretamente.
- **Resultado Esperado:** O sistema aceita a conexão, e procede para o modo OK, onde gera os dados e armazena sem estar fora dos padrões de dados habituais.
- **Resultado Obtido:** O sistema tem uma conexão instável, e às vezes a receção da seleção de modo não é recebida, mas quando vai procede sem problemas e realiza todas as operações corretamente, sem desvio nos dados.

Teste 2 – Indicadores Luminosos

- **Descrição:** Enviar diferentes sinais de estado ao Arduino e verificar se ele ativa corretamente os LEDs de cores específicas conforme o estado recebido.
- **Resultado Esperado:** LEDs correspondentes são ativados de acordo com o modo selecionado.
- **Resultado Obtido:** Ao clicar nos modos OK ou NotOK, o Arduino recebe o sinal corretamente e ativa o LED correspondente.

Teste 3 – Controlo do Motor de Passo

- **Descrição:** O Arduino coordena o movimento do motor de passo e empurra para fora o produto.
- **Resultado Esperado:** O motor opera conforme esperado, sem falhas no movimento e na transferência do produto.
- **Resultado Obtido:** O motor tem dificuldade em empurrar o produto por estar um pouco enferrujado necessitando de um pequeno empurrão, mas retrocede corretamente sem ajuda.

Teste 4 – R3/R8: Histórico e Registo de Dados

- **Descrição:** Executar uma série de simulações e verificar se todos os detalhes são corretamente registados e armazenados.
- **Resultado Esperado:** Todos os dados das execuções são registados e podem ser consultados na base de dados.
- **Resultado Obtido:** Os dados são registados corretamente; a base de dados exhibe os estados das simulações sem falhas (incoerências e valores errados por passagem destes via um protocolo e uma conexão).

Teste 5 – R4: App Mobile - Gráficos

- **Descrição:** Visualizar, na aplicação, os dados recolhidos ao longo do tempo de execução em formato de gráfico.
- **Resultado Esperado:** A app apresenta os dados em cartões e gráficos de forma contínua e sem falhas.
- **Resultado Obtido:** Os gráficos mostram corretamente os dados em tempo real com atualização periódicas.

Teste 6 – R4/R11/R15: App Mobile – Funcionalidade Completa

- **Descrição:** Testar todas as funcionalidades da app mobile, incluindo controlo remoto, monitorização e simulação.
- **Resultado Esperado:** A app funciona sem falhas em todas as operações (ecrã Controller: Subscribe, Unsubscribe, OK, NotOK, Disconnect).
- **Resultado Obtido:** A aplicação móvel responde de forma instável em operações que usam a ligação MQTT, mas sem erros, cumprindo todas as funcionalidades esperadas.

Teste 7 – R13: QR Code Scan

- **Descrição:** Fazer o scan do QR Code atribuído a uma máquina e verificar se os dados aparecem corretamente.
- **Resultado Esperado:** O tempo de resposta deve ser rápido (inferior a 2s) e os dados da máquina corretamente apresentados.
- **Resultado Obtido:** Após o scan, a app exibe corretamente as métricas e o estado da máquina, com resposta imediata.

7.2 Cumprimento de requisitos

O R14 foi abandonado, por durante a realização do projeto, pesquisou-se e tentou-se realizar este, mas as funcionalidades permitidas sem pagar eram demasiado rudimentares para propósitos de uso no projeto; o R4 tencionava-se tentar meter mais gráficos; R6, R9 e R10 se tudo corresse de acordo com o planeamento inicial daria para fazer, mas imprevistos e erros demasiado grandes em outras partes não permitiram a realização deste; R7 e R8 estão armazenados na base de dados, mas não foi feita uma forma de consulta e representação na aplicação para os mostrar; R12 faria sentido se os modelos tivessem acabados ou os históricos a mostrar valores na aplicação; R15 foi feito em grande parte a correção de lógica de negócio mal implementada, mas o propósito original era melhorar as outras operações da aplicação só sendo feita a parte de melhoria do MQTT.

Com a realização deste trabalho, obteve-se uma mudança completa na infraestrutura do backend, correção de erros de estrutura e lógica da app, substituição de material de hardware, inclusão de dois novos sensores(DHT11 e SBC-DVA), criação e recolha de KPIs, melhorias na comunicação do MQTT, criação de um QR code com site (para visualização de métricas), um ponto inicial de uma página de gráficos, um sistema de notificações central, e um começo no

ID	Requisito	Estado
R1	Bade de Dados	Realizado
R2	Modelos de Previsão	Realizado Parcialmente
R3	KPIs	Realizado
R4	Página Graphs ("All")	Realizado Parcialmente
R5	Sensores de Sustentabilidade	Realizado
R6	Sistema de Feedback e Avaliação	Não Realizado
R7	Histórico de Ativos	Realizado Parcialmente
R8	Histórico de Falhas	Realizado Parcialmente
R9	Relatórios automáticos e exportáveis	Não Realizado
R10	Processos Administrativos	Não Realizado
R11	Sistema de notificações	Realizado
R12	Crterios de personalização de notificações	Não Realizado
R13	QR Code Scan	Realizado
R14	Realidade Aumentada	Abandonado
R15	Otimização de Operações	Realizado Parcialmente

Tabela 7.1: Tabela de Requisitos e seus respectivos estados

estudo de modelos preditivos com um modelo definitivo, sem contar com o descarte de protótipos de sugestões dadas e implementadas.

A base de dados foi feita em MySQL, sendo esta armazenada num container Docker local, e na aplicação foi feita, uma classe de conexão onde para invocar pedidos à BD, realiza-se um connect() e realiza-se a querie pretendida,

Alguns erros corrigidos foram na parte de login, existia código feito para um pedido ao Firebase com as credenciais, mas não era usado nem funcionaria, e foi feita essa troca pela BD não guardando credenciais de utilizador no código.

Na parte de Hardware foi mudado os cabos que estavam ligados aos LEDS e verificou-se que estes estavam soldados, procedeu-se ao corte e substituição destes usando as entradas que os cabos extras do material deixado do projeto anterior tinha e realizou-se a inclusão dos dois novos sensores (DHT11 e SBC-DVA) e pediu-se uma BreadBoard emprestada à universidade para poder ligar todos estes sensores e LEDS por haver falta de pinos de potência e Ground no Arduino.

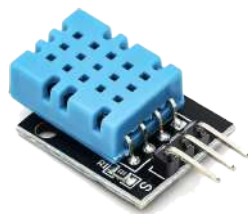


Figura 7.1: DHT11 - sensor de temperatura e humidade

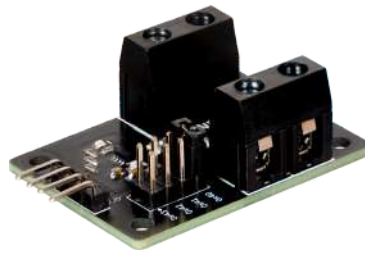


Figura 7.2: SBC-DVA - sensor de corrente elétrica e voltagem

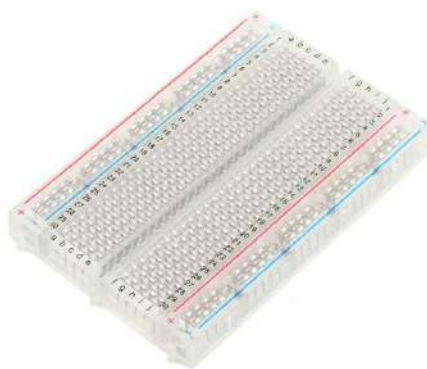


Figura 7.3: BreadBoard

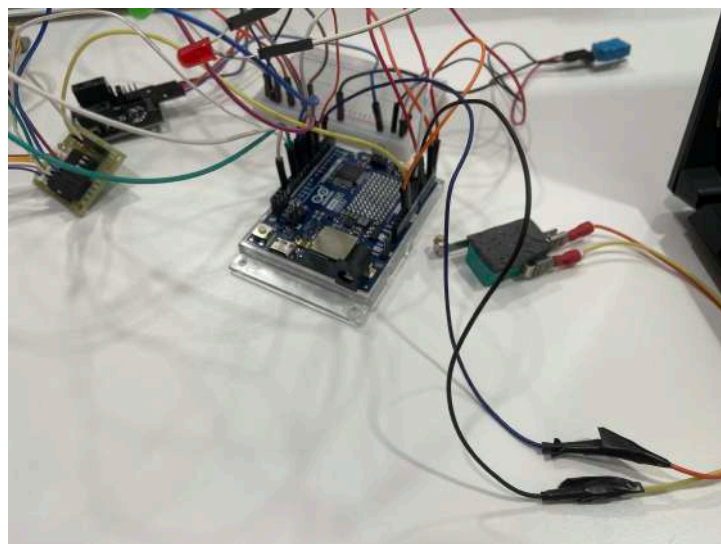


Figura 7.4: Maquete com todos os componentes

Com estes sensores passou-se para a criação das KPIs e os seus pontos de recolha no arduino e a lógica de recolha e passagem de informação dos sensores na parte do arduino, uma

vez testados para verificar que estão a funcionar e recolher, passou-se para a parte da recolha desta informação pela parte da aplicação onde recebe a informação via MQTT (protocolo de transmissão de dados para dispositivos IoT) e uma vez recolhidos e convertidos são enviados para a base de dados onde ficam disponíveis para ser usados posteriormente.

A parte do QR Code usou-se o github pages para dar host do "site", neste caso um ficheiro HTML para um primeiro formato e associar um QR Code a este. Fez-se uma Classe de notificações para ser usado pela aplicação toda neste caso foi só usado para o caso de ser selecionado o modo OK e NotOK, mas este como já está implementado, só é necessário invocar o método e a notificação está pronta a ser emitida.

A parte dos gráficos foi feita e sincronizada com a base de dados para estar sempre atualizada e mostrar as leituras mais recentes, sendo este gráfico interativo podendo clicar nele e mostrar mais informações sobre cada dado em um dado momento do tempo.

A parte final foi a realização do estudo de modelos, onde o objetivo era classificar se a linha de produção(maquete) vai falhar ou não, sendo feitos três modelos e escolheu-se o modelo com melhores resultados, apesar de sabermos que ele tem um caso claro de overfitting o que neste caso é bom, por os dados de treino e os reais serem iguais visto que numa escala como esta ou numa escala maior, os erros são sempre os valores que são demasiado elevados e demasiado baixos e o modelo sabendo que o que corresponde a estar em estado OK, tudo o que não for este, significa que tem um erro (estado NotOK); os dados de treino são 30% dos dados totais de 20000 entradas, neste 6000.

Este primeiro modelo é o de Regressão Logística o mais simples de todos onde apresentava uma taxa de 53% de falsos positivos quando ocorria um erro, o que é um mau sinal deixando praticamente à sorte a decisão, neste modelo específico mudou-se os valores dos pesos para tentar encontrar um equilíbrio entre precisão e recall sendo o valor mais alto possível de obter uma taxa de 55% não havendo mais margem de melhoria para este.

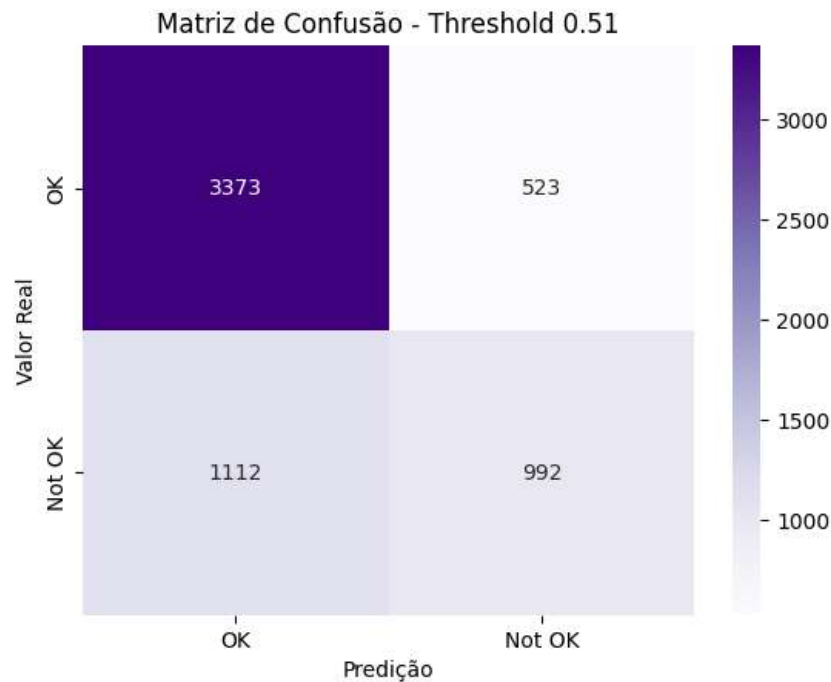


Figura 7.5: Modelo Regressão Logística

O segundo modelo é um classificador por árvore decisão o que neste contexto espera-se que seja melhor por tomar uma decisão binária. Os valores obtidos foram uma taxa de acerto 69% num caso de falha, e um equilíbrio entre precisão e recall de 82%, este sendo melhor, mas para um fator crítico ainda não é aceitável o suficiente preferindo algo que seja de 90% para cima.

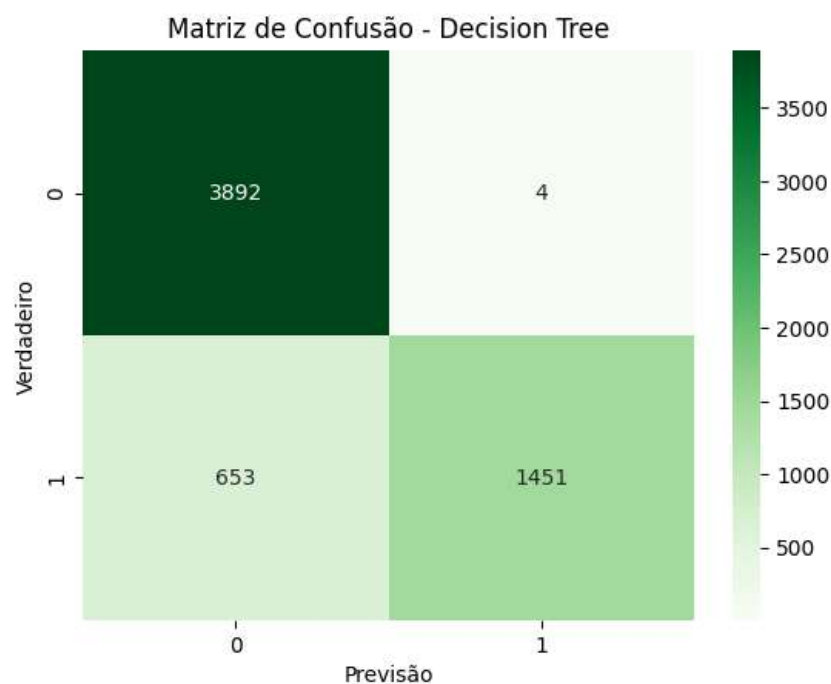


Figura 7.6: Modelo DecisionTreeClassifier

O último modelo é o melhor, sendo este um modelo mais potente que aprende com os erros no seu processo de treino e criação, teve uma taxa de acerto de casos de erro de 99% o que é

uma situação ideal para este tipo de contexto, analisando os outros valores observa-se um caso de overfitting, que significa que os dados de teste e de treino são muito semelhantes, fazendo com que ele decorra e aprenda padrões o que é uma situação positiva, por querermos que ele aprenda padrões e em todos os modelos tentou-se aplicar um pouco de feature engeneering, criando mais dados por onde o modelo usar, com aquilo que tínhamos como $\text{potencia_aparente} = \text{voltagem} \times \text{corrente}$, $\text{power_ratio} = \text{potência} / \text{potencia_aparente}$ e $\text{temp_x_current} = \text{temperatura} \times \text{corrente}$.



Figura 7.7: Modelo LightGBM

	Precision	Recall	F1-score	Support
0	1.00	1.00	1.00	3,896
1	0.99	1.00	1.00	2,104
Accuracy			1.00	6,000
Macro avg	1.00	1.00	1.00	6,000
Weighted avg	1.00	1.00	1.00	6,000

Tabela 7.2: Relatório de classificação do modelo LightGBM(modelo escolhido como final)

Algo que ficou por fazer como isto ainda é uma fase inicial do estudo seria mais modelos: um modelo de Previsão de Gastos de Energia, um de Análise de Anomalias, um de possivelmente de Manutenção Preditiva com base nos outros todos e como resultado disto, algo para Otimização de Processos pra tornar a linha de produção mais eficiente ou algo relacionado a este.

8. Conclusão

Com a realização deste trabalho, foi-se encontrando várias limitações, como foi referindo ao longo deste relatório, alguns causados por um desalinhamento entre a ideia original que tínhamos deste trabalho, e o que foi feito no ano anterior, nomeadamente, nós poderemos escolher quando a maquete tem um erro e é para falhar e quando a maquete está OK e simula a linha de produção. Num contexto real, a máquina estaria sempre a "correr" e só parada ao fim de um dia ou possivelmente sempre ligada, algo que não acontece; e quando um erro ou falha acontece na máquina não deveria sermos nós, a escolher isso, imprevistos acontecem, isto acaba por ser a natureza de um erro, algo que numa simulação como esta seria difícil de demonstrar se não houvesse uma opção de "NotOK", daí poder esta parte até ser compreensível, mas em termos de autonomia e veracidade dos dados produzidos, permanece uma dúvida na relação desta coerência, visto que cada máquina IoT apresenta os seus parâmetros sejam eles únicos ou produzidos em massa, referindo às inconsistências deste tipo de dispositivo, seja a nível de hardware (para poupar materiais ou tentar tornar algo mais acessível em termos de preço) ou em software (falta de segurança por credenciais padrões e esquecimento deste para troca ou por problemas e inconsistências nos protocolos de comunicação dificultando a confiança destes nos usos do dia a dia).

Em termos de concretização, trabalho esperava-se ter feito mais umas coisas, nomeadamente a integração do site com a BD, o estudo de mais dois tipos de modelo (Previsão de Gastos de Energia, Análise de Anomalias, e Otimização de Processos que não é um modelo mas seria com base nas informações provenientes de todos) e a sua integração com a aplicação, e a realização de mais testes para testar as capacidades neste nível, para poderem aguentar numa escala maior.

Ao longo da realização deste trabalho acabamos por adquirir, algumas competências em áreas que não se exploraram muito nesta licenciatura, como a interação com hardware e os problemas que estes trazem, muito diferentes dos problemas de software e os seus desafios, a melhoria de software de algo que já foi realizado, como problemas de incompatibilidade e de versões antigas de bibliotecas que já não funcionam, e o processo de comunicação de dispositivos usando protocolos que não nos eram conhecidos.

Por fim, um ponto muito importante de mudança que podia-se ter feito é tentar começar este trabalho o mais cedo possível por haver falta de tempo, mesmo com uma boa gestão deste, e por os requisitos e pontos importantes do trabalho só se terem descoberto quase no fim da primeira entrega, por falta de disponibilidade da empresa para tentar marcar uma reunião onde ficaria decidido o que fazer neste projeto, andando um pouco às cegas do que se haveria de fazer neste projeto por falta de informação dada, do que se poderia melhorar neste.

8.1 Trabalhos Futuros

Para melhoria deste trabalho, que pontos é que se poderia fazer e melhorar, a resposta seria tudo, mais especificamente tudo o que foi referido e está inacabado, mas existem alguns detalhes importantes de se fazer antes disso, um deles seria passar o container docker local para o servidor da universidade e fazer pedidos via REST a este, algo que de início foi ponderado, mas por falta de conhecimento e experiência foi deixado de lado, sendo o que começamos um modelo local escalável para passar a um remoto, mas um esboço de como fazer existe nos primeiros

commits do projeto. Os outros pontos são mais acabar o que não deu: colocar mais gráficos para apresentar dados que foram recolhidos e não foram usados, seja na página de "Graphs" e no site, melhorar o site e passar ele para uma framework como Django ou Spring Boot ou outro equivalente, acabar os modelos e integrar na aplicação, e quem sabe no site para manter a consistência, por fim com tudo isto feito colocar mais notificações com base nos modelos.

Bibliografia

- [1] SAP, *Indústria 4.0: O Futuro da Produção*, <https://www.sap.com/brazil/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>, Consultado em Dezembro 2024.
- [2] MIT Technology Review, *Indústria 5.0: Um Novo Paradigma de Produção*, <https://www.mittechreview.pt/2023/it-for-business-innovation/industria-5-0-um-novo-paradigma-de-producao/>, Consultado em Dezembro 2024, Autor: João Martins
- [3] Revista Ibero-Americana, *Indústria 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA*, https://periodicorease.pro.br/rease/article/download/5591/2155/8191&ved=2ahUKEwi4w9fVo5GOAxW9UaQEhDKDMAQFnoECBgQAQ&usg=A0vVaw3eaJgHAC_ZBxIX3t5nYXCu, Consultado em Dezembro 2024, Autores: Alessandro Takayama, Andre Marcelo Panhan
- [4] SIEMENS, *MindSphere*, <https://www.siemens.com/pt/pt/produtos-e-servicos/software/mindsphere.html>, Consultado em Dezembro 2024.
- [5] IBM Watson IoT, *Integrações com Glartek*, <https://glartek.com/integrations/ibm-watson-iot/>, Consultado em Dezembro 2024.
- [6] Particle, *Informações da empresa*, <https://www.particle.io/about-particle/>, Consultado em Dezembro 2024.
- [7] IoT_Predict *State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing*, <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>, Consultado em Dezembro 2024.