# ProjetoISIv1 - Documentação Completa

**Monitorização Industrial com ETL & IoT Simulator Platform**

*PEQSPC*

# Table of contents

# 1. Home

## 1.1 ProjetoISIv1 - Monitorização Industrial com ETL e IoT

Bem-vindo à documentação do **ProjetoISIv1**, um sistema de monitorização industrial que evoluiu para uma plataforma de simulação IoT.

### 1.1.1 Sobre o Projeto

Este projeto nasceu como trabalho prático da UC de **Integração de Sistemas de Informação (ISI)** da LESI-IPCA e cresceu para algo maior.

**Fase 1: Trabalho Académico (Out-Dez 2024)**

Sistema de monitorização industrial com recolha automática de dados de estações de produção via MQTT, processamento ETL em Node-RED, e visualização em tempo real.

**Objetivo**: Aplicar conceitos de integração de sistemas e ETL num contexto industrial prático.

**Fase 2: Plataforma IoT Simulator (Jan 2025+)**

Evolução para uma plataforma comercial que permite a programadores testar aplicações IoT sem hardware físico, criando sensores virtuais sob demanda.

**Objetivo**: Validar viabilidade comercial de uma solução SaaS para simulação IoT.

**Lê mais**: Contexto e Evolução do Projeto

### 1.1.2 Stack Tecnológica

**Backend**: Python, Node-RED, SQLite, Mosquitto MQTT
**Frontend**: React, Material-UI
**DevOps**: Docker, FastAPI (Fase 2)

### 1.1.3 Estrutura da Documentação

**Conceito e Arquitetura**

- Contexto do Projeto - Evolução Fase 1 → Fase 2
- Arquitetura Técnica - Componentes e fluxo de dados
- Processos ETL - Pipeline de dados

**Dados e Integrações**

- Base de Dados - Schema e queries principais
- Integração API - Preços de peças em tempo real
- Azure IoT Hub - Telemetria para cloud
- Relatórios e Emails - Automação de relatórios

**Implementação**

- Instalação - Setup do ambiente

- Dashboard - Interface de visualização
- Troubleshooting - Problemas comuns

**Futuro**

- Fase 2 - IoT Simulator Platform - Roadmap comercial

---

## 1.1.4 Quick Start

```
# 1. Clonar repositório
git clone https://github.com/PEQSPC/ProjetoISIv1
cd ProjetoISIv1

# 2. Iniciar broker MQTT
mosquitto -c mosquitto.conf

# 3. Iniciar Node-RED
node-red

# 4. Executar simulador
python simulador/mqtt_publisher.py

# 5. Ver dashboard
cd dashboard && npm start
```

Detalhes completos em Instalação.

---

## 1.1.5 O Problema Resolvido

**Antes**: Recolha manual de dados, sem visão integrada, dificuldade em identificar problemas.

**Depois**: Monitorização automática em tempo real, alertas automáticos, relatórios por email, dashboard interativo.

**Métricas**: Produção, paragens, stock, defeitos, eficiência (OEE).

---

## 1.1.6 Navegação Recomendada

**Novo no projeto?** 1. Contexto do Projeto - Entende a visão 2. Instalação - Configura o ambiente 3. Dashboard - Vê os dados ao vivo

**Implementador técnico?** 1. Arquitetura - Compreende o sistema 2. ETL - Fluxos de processamento 3. Base de Dados - Modelo de dados

**Interessado no futuro?** 1. Fase 2 Roadmap - Plataforma comercial

---

## 1.1.7 Informação do Projeto

**Instituição**: IPCA - Instituto Politécnico do Cávado e do Ave
**Curso**: Licenciatura em Engenharia de Sistemas Informáticos (LESI)
**UC**: Integração de Sistemas de Informação (ISI)
**Ano Letivo**: 2024/25
**Equipa**: PEQSPC
**Repositório**: github.com/PEQSPC/ProjetoISIv1

---

**Nota**: Esta documentação cobre ambas as fases do projeto. Para detalhes da Fase 2 (plataforma comercial), consulta o roadmap específico.

# 1.2 Contexto e Evolução do Projeto

Esta página explica a jornada do ProjetoISIv1 desde um trabalho académico até uma potencial plataforma comercial.

## 1.2.1 Fase 1: Trabalho Académico ISI (Out-Dez 2024)

**Objetivo Original**

Aplicar conceitos de **Integração de Sistemas de Informação** num cenário prático de monitorização industrial, focando em processos ETL e comunicação IoT.

**Cenário Implementado**

Sistema de monitorização de linha de produção com 3 estações que reportam: - Produção (peças fabricadas) - Stock (inventário atual) - Paragens (tempo de inatividade) - Defeitos (peças com problemas)

**Arquitetura Fase 1**

```
Sensores Simulados (Python MQTT)
         ↓
  Broker MQTT (Mosquitto)
         ↓
  Node-RED (ETL Pipeline)
         ↓
    SQLite Database
         ↓
  Dashboard React + Relatórios Email
```

**Componentes Desenvolvidos**

1. **Simulador IoT** - Gera dados sintéticos de sensores via MQTT
2. **Node-RED Flows** - Processa dados (adiciona timestamps, acumula métricas)
3. **Integração API** - Enriquece dados com preços de peças externas
4. **Base de Dados** - Armazena histórico de produção
5. **Relatórios Automáticos** - Python scripts enviam emails com KPIs
6. **Dashboard Web** - Visualização em tempo real (React + Material-UI)

**Aprendizagens Chave**

**Técnicas**: - Comunicação MQTT em ambiente industrial - Padrão publish-subscribe para desacoplamento - ETL com Node-RED (Extract-Transform-Load) - Sidecar pattern para isolamento de simulações - Persistência de dados em SQLite

**Conceituais**: - IoT testing requer simuladores robustos - Existe gap no mercado de simulação IoT acessível - Arquitetura local funciona mas não escala para produção - Necessidade de multi-tenancy e isolamento

**Limitações Identificadas**

- SQLite não adequado para produção multi-utilizador
- Docker local não permite acesso remoto/partilhado
- Falta de autenticação e gestão de utilizadores
- Impossível escalar para múltiplos clientes simultâneos
- Sem API REST para gestão programática

## 1.2.2 Transição: Da Monitorização à Simulação

**Insight Crítico**

Durante o desenvolvimento, percebemos:

> "Se conseguimos **simular sensores** para testar nosso sistema de monitorização, outros programadores também precisam dessa capacidade. Mas pagar €500+/mês por IoTIFY ou Bevywise não faz sentido para startups."

**Oportunidade de Mercado**

**Problema Real**: Programadores precisam testar apps IoT sem comprar hardware.
**Soluções Existentes**: Caras (€500+/mês) ou complexas (AWS IoT Device Simulator).
**Nossa Proposta**: Simulação IoT simples e acessível, pay-as-you-go.

**Mercado**: €714B de IoT em 2025, startups e consultoras são target inicial.

---

## 1.2.3 Fase 2: IoT Simulator Platform (Jan 2025+)

**Visão**

Plataforma SaaS que permite criar sensores IoT virtuais via API REST, eliminando necessidade de hardware para testes e desenvolvimento.

**Transformações Necessárias**

| Aspecto | Fase 1 (Académico) | Fase 2 (Comercial) |
|---|---|---|
| **Deploy** | Docker local | Kubernetes cloud |
| **DB** | SQLite | PostgreSQL |
| **API** | Inexistente | FastAPI REST |
| **Auth** | Nenhuma | JWT tokens |
| **Preço** | Gratuito | Pay-as-you-go |
| **Multi-tenant** | Não | Sim (pods isolados) |
| **Escala** | 1 utilizador | Centenas |

**Nova Arquitetura (Fase 2)**

```
User Request → FastAPI
                ↓
          PostgreSQL (metadata)
                ↓
     Kubernetes Orchestrator
                ↓
    [Pod 1]  [Pod 2]  [Pod N]
    MQTT+Sim MQTT+Sim MQTT+Sim
                ↓
     User Application (test)
```

**Conceito-chave**: Cada simulação corre num pod isolado com MQTT broker + simulador próprios.

**Funcionalidades Planeadas**

**MVP (3 meses)**: - Criar/parar simulações via API - Configurar sensores (tipo, frequência, dados) - MQTT isolado por simulação - Monitorização básica de recursos - Pay-as-you-go €0.10/hora

**Pós-MVP**: - Templates de sensores pré-configurados - Webhooks para eventos - Simulação de cenários complexos - Dashboard de gestão de simulações - Integrações (Azure IoT Hub, AWS IoT Core)

**Roadmap Técnico**

Ver detalhes completos em Fase 2 Roadmap.

**Q1 2025**: MVP funcional, validação de clientes (10 early adopters)
**Q2 2025**: Beta pública, landing page, primeiros clientes pagantes
**Q3 2025**: Produção estável, features avançadas
**Q4 2025**: Escala para 100+ utilizadores

---

## 1.2.4 Como a Fase 1 Informou a Fase 2

**Validações Técnicas**

1. **Sidecar pattern funciona** - Cada simulação isolada num container
2. **MQTT é protocolo certo** - Amplamente adotado em IoT
3. **Simplicidade vende** - Configuração JSON simples é suficiente
4. **Cleanup automático é crítico** - Simulações devem expirar automaticamente

**Decisões Arquiteturais**

Da experiência Fase 1, decidimos:

- **Kubernetes em vez de Docker Compose** - Melhor orquestração
- **PostgreSQL em vez de SQLite** - Suporta concorrência
- **FastAPI em vez de Node-RED** - Mais controlo programático
- **Redis para rate limiting** - Evitar abuso da API
- **Prometheus/Grafana** - Monitorização desde o início

**Lições de Produto**

**O que funcionou**: - Configuração via JSON é intuitiva - Dados sintéticos realistas são valiosos - Visualização em tempo real é esperada

**O que faltou**: - Gestão de múltiplas simulações - Autenticação e billing - API para automação - Templates reutilizáveis

---

## 1.2.5 Estado Atual (Dez 2024)

**Fase 1: ✅ Completa**

- Código funcional e documentado
- Apresentação académica aprovada
- Repositório público disponível

**Fase 2: 🚧 Em Desenvolvimento**

**Completado**: - Pesquisa de mercado (€714B TAM, gap identificado) - Arquitetura técnica definida - MVP com FastAPI + Docker funcionando - Error handling robusto implementado

**Em Progresso**: - Transição para Kubernetes - Sistema de billing - Landing page para validação

**Próximos Passos**: - Entrevistas com potenciais clientes - Load testing e isolamento - Deploy em cloud provider - Beta privada com early adopters

---

## 1.2.6 Recursos Relacionados

**Fase 1**: - Arquitetura Técnica - Node-RED Flows - Dashboard

**Fase 2**: - IoT Simulator Platform Roadmap - Repositório API (em construção) - Landing Page (em construção)

---

## 1.2.7 Conclusão

O ProjetoISIv1 começou como exploração académica de ETL e IoT, mas revelou uma oportunidade real de mercado. A experiência técnica da Fase 1 validou conceitos fundamentais que agora evoluem para uma plataforma comercial viável.

**Fase 1 ensinou-nos** como construir sistemas IoT integrados.
**Fase 2 aplica esse conhecimento** para resolver um problema real de mercado.

Esta documentação serve ambas as fases, mantendo o histórico académico enquanto suporta o desenvolvimento comercial.

# 2. Arquitetura

## 2.1 Arquitetura Técnica do Projeto

A arquitetura do **ProjetoISIv1** implementa um sistema distribuído que suporta todo o ciclo de vida dos dados industriais: **recolha**, **processamento**, **armazenamento** e **visualização**.

### 2.1.1 Visão Geral da Arquitetura

O sistema segue uma arquitetura orientada a eventos (Event-Driven Architecture) baseada no protocolo MQTT, permitindo comunicação assíncrona e em tempo real entre os componentes.

**Princípios Arquiteturais**

- **Desacoplamento**: Componentes comunicam através de mensagens MQTT
- **Escalabilidade**: Arquitetura permite adicionar novos sensores sem alterações
- **Modularidade**: Cada componente tem responsabilidades bem definidas
- **Persistência**: Dados armazenados de forma estruturada e auditável
- **Extensibilidade**: Fácil integração com novos sistemas e APIs

### 2.1.2 Componentes do Sistema

**1. Camada de Recolha de Dados**

##### 1.1 PUBLISHER - SIMULADOR MQTT (PYTHON)

**Responsabilidade**: Simular sensores IoT em ambiente industrial

**Funcionalidades**:

- Geração de dados sintéticos de produção, stock, paragens e defeitos
- Publicação de mensagens JSON em tópicos MQTT específicos por estação
- Configuração flexível através de ficheiros JSON
- Suporte para múltiplos dispositivos e cenários de simulação

**Tecnologias**: Python 3.10+, biblioteca `paho-mqtt`

**Tópicos MQTT**:

```
fabrica/estacao/{id}/producao
fabrica/estacao/{id}/stock
fabrica/estacao/{id}/paragem
fabrica/estacao/{id}/defeitos
```

##### 1.2 INTEGRAÇÃO AZURE IOT (FASE 2)

**Funcionalidades**:

- Conexão com Azure IoT Hub
- Envio de telemetria para a cloud
- Sincronização device-to-cloud

**2. Camada de Mensagens**

#### 2.1 BROKER MQTT - ECLIPSE MOSQUITTO

**Responsabilidade**: Intermediário de mensagens entre publishers e subscribers

**Características**:

- Protocolo MQTT v3.1.1 / v5.0
- Porta padrão: `1883` (não encriptado) / `8883` (TLS)
- Suporte para QoS (Quality of Service) níveis 0, 1 e 2
- Persistência de mensagens opcional

**Configuração**:

```
listener 1883
allow_anonymous true
persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/
```

---

**3. Camada de Processamento (ETL)**

#### 3.1 NODE-RED - MOTOR ETL

**Responsabilidade**: Orquestração de fluxos de dados e transformações

**Pipeline de Processamento**:

1. **Extract (Extração)**
2. Subscrição a tópicos MQTT
3. Receção de payloads JSON
4. Parsing e validação de dados
5. **Transform (Transformação)**
6. Normalização de valores
7. Cálculo de acumulados e agregações
8. Filtragem de outliers
9. Aplicação de regras de negócio
10. Enriquecimento com dados da API
11. **Load (Carregamento)**
12. Inserção em SQLite3
13. Atualização de registos existentes
14. Trigger de jobs de relatório

**Nós Principais**:

- `mqtt in`: Receção de mensagens
- `function`: Lógica JavaScript para transformações
- `sqlite`: Operações de base de dados
- `exec`: Execução de scripts Python
- `email`: Envio de relatórios

---

### 4. Camada de Persistência

#### 4.1 BASE DE DADOS SQLITE3

**Responsabilidade**: Armazenamento estruturado de dados processados

**Estrutura de Tabelas**:

```
-- Tabela de Estações
CREATE TABLE estacoes (
    id INTEGER PRIMARY KEY,
    nome TEXT NOT NULL,
    localizacao TEXT,
    tipo_producao TEXT
);

-- Tabela de Dados Acumulados
CREATE TABLE dados_acumulados (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    estacao_id INTEGER,
    timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    producao_total INTEGER,
    stock_atual INTEGER,
    tempo_paragem_segundos INTEGER,
    defeitos_total INTEGER,
    FOREIGN KEY (estacao_id) REFERENCES estacoes(id)
);

-- Tabela de Produtos
CREATE TABLE produtos (
    id INTEGER PRIMARY KEY,
    nome TEXT NOT NULL,
    preco_unitario REAL,
    categoria TEXT
);

-- Tabela de Relatórios
CREATE TABLE relatorios (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    data_geracao DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    tipo TEXT,
    conteudo TEXT,
    enviado BOOLEAN DEFAULT 0
);
```

**Características**:

- Transações ACID
- Índices para otimização de queries
- Triggers para auditoria automática

---

### 5. Camada de Integração

#### 5.1 API EXTERNA - PREÇOS DE PRODUTOS

**Responsabilidade**: Enriquecimento de dados com informação externa

**Funcionalidades**:

- Obtenção de preços unitários de peças/produtos
- Cálculo de margens e custos de produção
- Cruzamento com dados de produção
- Utilização de regex para matching de produtos

**Fluxo de Integração**:

1. Node-RED deteta nova produção
2. Extrai nome/código do produto via regex
3. Consulta API para obter preço
4. Calcula valor total da produção
5. Armazena dados enriquecidos

**6. Camada de Relatórios**

6.1 PYTHON REPORTING ENGINE

**Responsabilidade**: Geração e envio de relatórios automáticos

**Funcionalidades**:

- Consulta de dados agregados da base de dados
- Geração de relatórios em formato HTML/PDF
- Cálculo de KPIs: OEE, produtividade, tempo médio de paragem
- Envio automático por email via SMTP

**Bibliotecas Utilizadas**:

- `sqlite3` : Conexão à base de dados
- `smtplib` : Envio de emails
- `jinja2` : Templates de relatórios (opcional)
- `matplotlib` : Gráficos e visualizações (opcional)

**7. Camada de Apresentação**

7.1 DASHBOARD WEB (REACT + MATERIAL-UI)

**Responsabilidade**: Visualização interativa de dados em tempo real

**Funcionalidades**:

- Monitorização em tempo real de estações de produção
- Gráficos de produção, paragens e eficiência
- Indicadores de performance (KPIs)
- Histórico de produção e tendências
- Interface responsiva e moderna

**Tecnologias**:

- React 18+
- Material-UI v5
- Axios para chamadas API
- Chart.js / Recharts para gráficos

7.2 GRAFANA (OPCIONAL)

**Funcionalidades**:

- Dashboards configuráveis
- Alertas personalizados
- Visualizações avançadas

**8. API REST - Gestão de Simulações (Fase 2)**

**Responsabilidade**: Orquestração de simuladores via API

**Endpoints**:

```
POST   /simulations             # Criar nova simulação
GET    /simulations             # Listar simulações
GET    /simulations/{id}        # Detalhes de simulação
DELETE /simulations/{id}        # Parar simulação
GET    /simulations/{id}/logs   # Logs de simulação
```

**Funcionalidades**:

- Gestão de simuladores em containers Docker
- Configuração dinâmica de sensores
- Monitorização de estado
- Persistência em SQLite

**Tecnologia**: FastAPI + Uvicorn

---

## 2.1.3 Fluxo Global de Dados

```
graph TB
    subgraph "Camada de Recolha"
        A[Simulador IoT Python]
        A2[Azure IoT Device]
    end

    subgraph "Camada de Mensagens"
        B[Broker MQTT Mosquitto]
    end

    subgraph "Camada de Processamento"
        C[Node-RED ETL]
    end

    subgraph "Camada de Persistência"
        D[SQLite3]
    end

    subgraph "Camada de Integração"
        E[API Preços]
    end

    subgraph "Camada de Relatórios"
        F[Python Reports]
        G[SMTP Email]
    end

    subgraph "Camada de Apresentação"
        H[Dashboard React]
        I[Grafana]
    end

    A -->|Publish| B
    A2 -->|Publish| B
    B -->|Subscribe| C
    C -->|Insert/Update| D
    C -.->|Request| E
    E -.->|Response| C
    D -->|Query| F
    F -->|Send| G
    D -->|API/Query| H
    D -.->|Data Source| I
```

---

## 2.1.4 Padrões Arquiteturais Implementados

**1. Publish-Subscribe Pattern**

- Desacoplamento entre produtores e consumidores de dados
- Comunicação assíncrona via MQTT

**2. ETL Pipeline Pattern**

- Separação clara entre extração, transformação e carregamento

- Processamento sequencial com validação em cada etapa

**3. Repository Pattern**

- Abstração de acesso a dados via SQLite
- Centralização de queries e lógica de persistência

---

## 2.1.5 Características Não-Funcionais

**Performance**

- Processamento em tempo real com latência < 100ms
- Suporte para 100+ mensagens/segundo

**Escalabilidade**

- Arquitetura horizontal para múltiplas estações
- Possibilidade de federação de brokers MQTT

**Disponibilidade**

- Persistência de mensagens no broker
- Reconexão automática de clientes

**Segurança**

- Autenticação MQTT (futuro)
- Encriptação TLS para comunicações (futuro)
- Validação de inputs em todas as camadas

**Manutenibilidade**

- Código modular e documentado
- Configuração externa (JSON/YAML)
- Logs estruturados

---

## 2.1.6 Tecnologias Utilizadas

| Componente | Tecnologia | Versão | Licença |
|---|---|---|---|
| Simulador IoT | Python | 3.10+ | PSF |
| Broker MQTT | Mosquitto | 2.0+ | EPL/EDL |
| Motor ETL | Node-RED | 3.0+ | Apache 2.0 |
| Base de Dados | SQLite | 3.40+ | Public Domain |
| Frontend | React | 18+ | MIT |
| UI Components | Material-UI | 5+ | MIT |
| API Framework | FastAPI | 0.100+ | MIT |
| Documentação | MkDocs | 1.5+ | BSD |

## 2.1.7 Próximos Passos

Ver Fase 2 - Roadmap para melhorias planeadas:

- Migração para SQL Server
- Containerização completa com Docker Compose
- Implementação de Machine Learning para predições
- Sistema de alertas em tempo real (SMS/Telegram)

# 2.2 ETL PROCESSOS

```markdown

# 2.3 Processos ETL e Transformações

O **Node-RED** atua como o motor central de **ETL** (Extract, Transform, Load).

---

## 2.3.1 Estratégia

1. **Extração (Extract)**
2. Dados recolhidos de sensores MQTT.
3. Publicação periódica dos valores de produção, stock e paragem.
4. **Transformação (Transform)**
5. Normalização dos dados.
6. Cálculo de acumulados.
7. Validação e filtragem de outliers.
8. **Carregamento (Load)**
9. Inserção e atualização dos dados em **SQLite3**.
10. Geração de logs e relatórios.

---

## 2.3.2 Exemplos de Transformações

| Tipo | Operação | Descrição |
|---|---|---|
| Limpeza | Eliminar valores nulos | Ignorar mensagens sem payload válido |
| Normalização | Converter tipos | Garantir que todos os valores são `float` |
| Agregação | Somar produção acumulada | `acumulado += msg.payload.producao` |
| Regex | Extrair ID do produto | `/produto-(\d+)/` |
| Filtro | Ignorar paragens < 2s | `if (msg.payload.paragem >= 2)` |

---

## 2.3.3 Jobs Node-RED

Os fluxos Node-RED incluem:

1. **MQTT In → Function → SQLite Out**
2. **Function → Python Exec → Email Out**

Esses fluxos são documentados visualmente no ficheiro `flows.json` e explicados no relatório final.
```

# 2.4 Base de Dados

O **ProjetoISIv1** utiliza **SQLite3** como sistema de gestao de base de dados para armazenar dados de monitorizacao industrial processados pelo sistema ETL.

## 2.4.1 Visao Geral

**Tecnologia**

**SQLite 3.40+** - Base de dados relacional embutida, serverless e self-contained

**Vantagens da Escolha**

- **Simplicidade**: Nao requer servidor dedicado
- **Portabilidade**: Ficheiro unico `.db` facilmente transferivel
- **Performance**: Rapida para operacoes de leitura/escrita locais
- **Zero Configuracao**: Pronta a usar sem setup complexo
- **ACID Compliant**: Garante integridade transacional
- **Adequada para Prototipos**: Ideal para desenvolvimento e demonstracao

**Limitacoes**

- Nao adequada para alta concorrencia (multiplas escritas simultaneas)
- Sem controlo de acessos granular
- Para producao enterprise, considerar migracao para SQL Server/PostgreSQL (ver Fase 2)

## 2.4.2 Estrutura da Base de Dados

**Diagrama Entidade-Relacionamento**

## 2.4.3 Tabelas

**1. estacoes**

Armazena informacoes sobre as estacoes de producao monitorizadas.

```
CREATE TABLE estacoes (
    id INTEGER PRIMARY KEY,
    nome TEXT NOT NULL,
    localizacao TEXT,
    tipo_producao TEXT,
    capacidade_maxima INTEGER,
    status TEXT DEFAULT 'ativa',
    data_instalacao DATE,
    ultima_manutencao DATE
);
```

CAMPOS (ESTACOES)

| Campo | Tipo | Descricao |
|---|---|---|
| `id` | INTEGER (PK) | Identificador unico da estacao |
| `nome` | TEXT (NOT NULL) | Nome descritivo da estacao |
| `localizacao` | TEXT | Localizacao fisica (ex: "Nave A - Setor 2") |
| `tipo_producao` | TEXT | Tipo de produto fabricado |
| `capacidade_maxima` | INTEGER | Capacidade maxima de producao (pecas/hora) |
| `status` | TEXT | Status operacional: 'ativa', 'inativa', 'manutencao' |
| `data_instalacao` | DATE | Data de instalacao da estacao |
| `ultima_manutencao` | DATE | Data da ultima manutencao |

EXEMPLO DE DADOS (ESTACOES)

```
INSERT INTO estacoes (id, nome, localizacao, tipo_producao, capacidade_maxima) VALUES
(1, 'Estacao de Montagem A1', 'Nave A - Setor 1', 'Montagem de Componentes', 100),
(2, 'Estacao de Soldadura B2', 'Nave B - Setor 2', 'Soldadura de Pecas', 80),
(3, 'Estacao de Inspecao C1', 'Nave C - Controlo Qualidade', 'Inspecao Visual', 120);
```

---

### 2. dados_acumulados

Regista metricas de producao acumuladas de cada estacao ao longo do tempo.

```
CREATE TABLE dados_acumulados (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    estacao_id INTEGER NOT NULL,
    timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    producao_total INTEGER DEFAULT 0,
    stock_atual INTEGER DEFAULT 0,
    tempo_paragem_segundos INTEGER DEFAULT 0,
    defeitos_total INTEGER DEFAULT 0,
    eficiencia_percentual REAL,
    observacoes TEXT,
    FOREIGN KEY (estacao_id) REFERENCES estacoes(id)
);
```

CAMPOS (DADOS_ACUMULADOS)

| Campo | Tipo | Descricao |
|---|---|---|
| `id` | INTEGER (PK) | Identificador unico do registo |
| `estacao_id` | INTEGER (FK) | Referencia a estacao |
| `timestamp` | DATETIME | Data e hora do registo |
| `producao_total` | INTEGER | Total de pecas produzidas (acumulado) |
| `stock_atual` | INTEGER | Nivel de stock atual (pecas) |
| `tempo_paragem_segundos` | INTEGER | Tempo total de paragem em segundos |
| `defeitos_total` | INTEGER | Total de pecas defeituosas |
| `eficiencia_percentual` | REAL | Taxa de eficiencia calculada (OEE) |
| `observacoes` | TEXT | Notas adicionais |

INDICES

```
CREATE INDEX idx_estacao_timestamp ON dados_acumulados(estacao_id, timestamp);
CREATE INDEX idx_timestamp ON dados_acumulados(timestamp DESC);
```

EXEMPLO DE DADOS (DADOS_ACUMULADOS)

```
INSERT INTO dados_acumulados (estacao_id, producao_total, stock_atual, tempo_paragem_segundos, defeitos_total, eficiencia_percentual) VALUES
(1, 450, 120, 180, 5, 94.5),
(2, 380, 95, 240, 8, 91.2),
(3, 520, 150, 120, 2, 97.8);
```

---

### 3. produtos

Catalogo de produtos/pecas fabricadas com informacao de precos.

```
CREATE TABLE produtos (
    id INTEGER PRIMARY KEY,
    codigo TEXT UNIQUE NOT NULL,
    nome TEXT NOT NULL,
    descricao TEXT,
    preco_unitario REAL NOT NULL,
    custo_producao REAL,
    categoria TEXT,
    unidade TEXT DEFAULT 'unidade',
    ativo BOOLEAN DEFAULT 1,
    data_criacao DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
);
```

CAMPOS (PRODUTOS)

| Campo | Tipo | Descricao |
|---|---|---|
| `id` | INTEGER (PK) | Identificador unico do produto |
| `codigo` | TEXT (UNIQUE) | Codigo do produto (SKU) |
| `nome` | TEXT (NOT NULL) | Nome do produto |
| `descricao` | TEXT | Descricao detalhada |
| `preco_unitario` | REAL | Preco de venda unitario (EUR) |
| `custo_producao` | REAL | Custo de producao unitario (EUR) |
| `categoria` | TEXT | Categoria do produto |
| `unidade` | TEXT | Unidade de medida |
| `ativo` | BOOLEAN | Se o produto esta ativo no catalogo |
| `data_criacao` | DATETIME | Data de criacao do registo |

EXEMPLO DE DADOS (PRODUTOS)

```
INSERT INTO produtos (codigo, nome, preco_unitario, custo_producao, categoria) VALUES
('PCB-001', 'Placa de Circuito Impresso Tipo A', 15.50, 8.20, 'Eletronica'),
('MTL-045', 'Suporte Metalico de Fixacao', 3.80, 1.90, 'Mecanica'),
('PLT-112', 'Tampa Plastica de Protecao', 2.10, 0.95, 'Plasticos');
```

---

### 4. relatorios

Registo de relatorios gerados automaticamente pelo sistema.

```
CREATE TABLE relatorios (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    data_geracao DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    tipo TEXT NOT NULL,
    periodo_inicio DATE,
    periodo_fim DATE,
    conteudo TEXT,
    formato TEXT DEFAULT 'HTML',
    enviado BOOLEAN DEFAULT 0,
    destinatarios TEXT,
    caminho_ficheiro TEXT
);
```

CAMPOS (RELATORIOS)

| Campo | Tipo | Descricao |
|---|---|---|
| `id` | INTEGER (PK) | Identificador unico do relatorio |
| `data_geracao` | DATETIME | Data e hora de geracao |
| `tipo` | TEXT | Tipo: 'diario', 'semanal', 'mensal', 'alerta' |
| `periodo_inicio` | DATE | Data de inicio do periodo analisado |
| `periodo_fim` | DATE | Data de fim do periodo analisado |
| `conteudo` | TEXT | Conteudo do relatorio (HTML/texto) |
| `formato` | TEXT | Formato: 'HTML', 'PDF', 'JSON' |
| `enviado` | BOOLEAN | Se foi enviado por email |
| `destinatarios` | TEXT | Emails dos destinatarios (CSV) |
| `caminho_ficheiro` | TEXT | Caminho do ficheiro gerado |

EXEMPLO DE DADOS (RELATORIOS)

```
INSERT INTO relatorios (tipo, periodo_inicio, periodo_fim, formato, enviado) VALUES
('diario', '2025-12-25', '2025-12-25', 'HTML', 1),
('semanal', '2025-12-19', '2025-12-25', 'PDF', 0);
```

## 2.4.4 Views e Consultas uteis

**View: Resumo de Producao Diaria**

```
CREATE VIEW v_resumo_diario AS
SELECT
    e.nome AS estacao,
    DATE(d.timestamp) AS data,
    SUM(d.producao_total) AS total_producao,
    SUM(d.defeitos_total) AS total_defeitos,
    SUM(d.tempo_paragem_segundos) AS total_paragem,
    AVG(d.eficiencia_percentual) AS eficiencia_media
FROM dados_acumulados d
JOIN estacoes e ON d.estacao_id = e.id
GROUP BY e.nome, DATE(d.timestamp);
```

**View: Top Produtos por Margem**

```
CREATE VIEW v_margem_produtos AS
SELECT
    codigo,
    nome,
    preco_unitario,
    custo_producao,
    (preco_unitario - custo_producao) AS margem,
    ROUND(((preco_unitario - custo_producao) / preco_unitario * 100), 2) AS margem_percentual
FROM produtos
WHERE ativo = 1
ORDER BY margem DESC;
```

**Consulta: Performance de Estacoes (ultima Semana)**

```
SELECT
    e.nome,
    COUNT(d.id) AS registos,
    SUM(d.producao_total) AS producao_total,
    SUM(d.defeitos_total) AS defeitos_total,
    ROUND(AVG(d.eficiencia_percentual), 2) AS eficiencia_media,
    SUM(d.tempo_paragem_segundos) / 3600.0 AS horas_paragem
FROM dados_acumulados d
JOIN estacoes e ON d.estacao_id = e.id
WHERE d.timestamp >= datetime('now', '-7 days')
```

```
GROUP BY e.nome
ORDER BY producao_total DESC;
```

#### Consulta: Alertas de Baixa Eficiencia

```
SELECT
    e.nome,
    d.timestamp,
    d.eficiencia_percentual,
    d.defeitos_total,
    d.tempo_paragem_segundos
FROM dados_acumulados d
JOIN estacoes e ON d.estacao_id = e.id
WHERE d.eficiencia_percentual < 85
ORDER BY d.timestamp DESC
LIMIT 10;
```

---

## 2.4.5 Triggers

#### Trigger: Atualizar Eficiencia Automaticamente

```
CREATE TRIGGER calcular_eficiencia
AFTER INSERT ON dados_acumulados
BEGIN
    UPDATE dados_acumulados
    SET eficiencia_percentual =
        CASE
            WHEN NEW.producao_total > 0 THEN
                ((NEW.producao_total - NEW.defeitos_total) * 100.0 / NEW.producao_total)
            ELSE 0
        END
    WHERE id = NEW.id;
END;
```

#### Trigger: Log de Auditoria

```
CREATE TABLE audit_log (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    tabela TEXT,
    operacao TEXT,
    timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    dados_anteriores TEXT,
    dados_novos TEXT
);

CREATE TRIGGER audit_producao
AFTER UPDATE ON dados_acumulados
BEGIN
    INSERT INTO audit_log (tabela, operacao, dados_anteriores, dados_novos)
    VALUES ('dados_acumulados', 'UPDATE',
            json_object('producao', OLD.producao_total),
            json_object('producao', NEW.producao_total));
END;
```

---

## 2.4.6 Operacoes Comuns

#### Inserir Novo Registo de Producao

```
INSERT INTO dados_acumulados (estacao_id, producao_total, stock_atual, tempo_paragem_segundos, defeitos_total)
VALUES (1, 458, 125, 190, 6);
```

#### Atualizar Status de Estacao

```
UPDATE estacoes
SET status = 'manutencao', ultima_manutencao = CURRENT_DATE
WHERE id = 2;
```

#### Consultar Producao de Hoje

```sql
SELECT * FROM dados_acumulados
WHERE DATE(timestamp) = DATE('now')
ORDER BY timestamp DESC;
```

#### Eliminar Dados Antigos (Mais de 1 Ano)

```sql
DELETE FROM dados_acumulados
WHERE timestamp < datetime('now', '-1 year');
```

---

## 2.4.7 Backup e Manutencao

#### Criar Backup

```bash
# Backup completo
sqlite3 industrial_monitoring.db ".backup backup_$(date +%Y%m%d).db"

# Backup em SQL
sqlite3 industrial_monitoring.db ".dump" > backup.sql
```

#### Restaurar Backup

```bash
# Restaurar de ficheiro .db
sqlite3 industrial_monitoring.db ".restore backup_20251226.db"

# Restaurar de SQL
sqlite3 new_database.db < backup.sql
```

#### Otimizar Base de Dados

```sql
-- Reindexar
REINDEX;

-- Vacuum (compactar e otimizar)
VACUUM;

-- Analisar estatisticas para optimizacao de queries
ANALYZE;
```

#### Verificar Integridade

```sql
PRAGMA integrity_check;
PRAGMA foreign_key_check;
```

---

## 2.4.8 Conexao e Acesso

#### Python

```python
import sqlite3

conn = sqlite3.connect('industrial_monitoring.db')
cursor = conn.cursor()

cursor.execute("SELECT * FROM estacoes")
estacoes = cursor.fetchall()

conn.close()
```

#### Node-RED

Utiliza o no `sqlite` configurado com o caminho da base de dados.

**CLI**

```
sqlite3 industrial_monitoring.db
```

---

## 2.4.9 Migracao Futura

Para ambientes de producao, planeia-se migrar para **SQL Server** ou **PostgreSQL** (ver Fase 2).

**Vantagens da Migracao**

- Melhor suporte para concorrencia
- Replicacao e alta disponibilidade
- Controlo de acessos granular
- Performance em grandes volumes
- Ferramentas empresariais de gestao

---

## 2.4.10 Referencias

- SQLite Documentation
- SQLite Tutorial
- DB Browser for SQLite - GUI para explorar a base de dados

# 3. Integrações

## 3.1 Integração com API de Preços

Sistema de enriquecimento de dados de produção com preços de peças através de API externa.

### 3.1.1 Objetivo

Calcular o **valor monetário da produção** em tempo real, combinando: - Dados de produção (quantas peças foram produzidas) - Preços unitários obtidos via API externa

**Resultado**: Métricas financeiras automáticas (receita estimada, margem, custo de defeitos).

### 3.1.2 Arquitetura

```
MQTT Sensor → Node-RED → Extrai Código Produto (regex)
                              ↓
                         HTTP Request → API Externa
                              ↓
                      Recebe Preço Unitário
                              ↓
                  Calcula: Preço × Produção
                              ↓
                     Armazena em SQLite
```

### 3.1.3 API Externa

**Endpoint Utilizado**

Assumindo uma API REST que retorna preços de produtos:

```
GET https://api.empresa.com/produtos/{codigo}/preco
```

**Resposta**:

```
{
  "codigo": "PCB-001",
  "nome": "Placa de Circuito Tipo A",
  "preco_unitario": 15.50,
  "moeda": "EUR",
  "ultima_atualizacao": "2024-12-28T10:00:00Z"
}
```

**Alternativa: API Pública Mockada**

Para testes, pode-se usar: - JSONPlaceholder - Mocky.io - API própria com Express/FastAPI

### 3.1.4 Implementação no Node-RED

**Flow Completo**

```
[MQTT In] → [Extrair Código] → [HTTP Request] → [Calcular Valor] → [SQLite]
                                                                      ↓
                                                                [Debug Output]
```

#### 1. Extrair Código do Produto

**Node**: `function` - "Extrair Código Produto"

```
// Entrada: msg.payload = {codigo_produto: "PCB-001", dados: {...}}
// Saída: msg.codigo_produto = "PCB-001"

if (msg.payload.codigo_produto) {
    msg.codigo_produto = msg.payload.codigo_produto;

    // Guardar dados originais para uso posterior
    flow.set('ultimo_payload', msg.payload);

    return msg;
} else {
    node.warn("Código de produto não encontrado");
    return null;
}
```

**Configuração**: - Nome: "Extrair Código Produto" - Outputs: 1

#### 2. Consultar API de Preços

**Node**: `http request` - "Buscar Preço API"

**Configuração**: - Method: GET - URL: `https://api.empresa.com/produtos/{{codigo_produto}}/preco` - Return: parsed JSON object - Headers: - `Authorization` : `Bearer {{env.API_TOKEN}}` - `Content-Type` : `application/json`

**Alternativa com Template URL**:

Se a API requerer formato diferente:

```
// Node function antes do HTTP request
msg.url = `https://api.empresa.com/produtos/${msg.codigo_produto}/preco`;
return msg;
```

#### 3. Calcular Valor da Produção

**Node**: `function` - "Calcular Valor Total"

```
// msg.payload agora tem dados da API (preco_unitario)
// Recuperar dados originais do flow context

let dados_producao = flow.get('ultimo_payload');
let preco_unitario = msg.payload.preco_unitario;

if (!preco_unitario || !dados_producao) {
    node.warn("Dados incompletos para cálculo");
    return null;
}

// Calcular valores
let producao = dados_producao.dados.producao;
let defeitos = dados_producao.dados.defeitos;

let valor_producao = producao * preco_unitario;
let valor_perdido_defeitos = defeitos * preco_unitario;
let valor_liquido = valor_producao - valor_perdido_defeitos;

// Montar payload para BD
msg.payload = {
    estacao: dados_producao.estacao,
    codigo_produto: dados_producao.codigo_produto,
    timestamp: dados_producao.timestamp,
    producao: producao,
    preco_unitario: preco_unitario,
    valor_producao: valor_producao.toFixed(2),
    defeitos: defeitos,
    valor_perdido: valor_perdido_defeitos.toFixed(2),
    valor_liquido: valor_liquido.toFixed(2)
};

// Query SQL para inserção
msg.topic = `
INSERT INTO producao_valores
(estacao_id, codigo_produto, timestamp, producao, preco_unitario,
 valor_producao, defeitos, valor_perdido, valor_liquido)
VALUES
('${msg.payload.estacao}', '${msg.payload.codigo_produto}',
 '${msg.payload.timestamp}', ${msg.payload.producao},
 ${msg.payload.preco_unitario}, ${msg.payload.valor_producao},
```

```
 ${msg.payload.defeitos}, ${msg.payload.valor_perdido},
 ${msg.payload.valor_liquido})
`;

return msg;
```

#### 4. Armazenar em Base de Dados

**Node**: `sqlite` - "Gravar Valores Produção"

**Configuração**: - Database: `/path/to/industrial_monitoring.db` - SQL Query: `msg.topic` (definido na função anterior)

---

## 3.1.5 Regex para Produtos Diversos

Se a API retorna múltiplos produtos e você precisa filtrar:

**Cenário**: API retorna lista de 100 produtos, você quer apenas IDs específicos.

**Node**: `function` - "Filtrar Produtos Relevantes"

```
// msg.payload = [{id: 1, preco: 10}, {id: 2, preco: 20}, ...]
// Produtos que interessam: IDs 5, 12, 23

let produtos_interesse = [5, 12, 23];
let regex_ids = new RegExp(`^(${produtos_interesse.join('|')})$`);

let produtos_filtrados = msg.payload.filter(produto => {
    return regex_ids.test(produto.id.toString());
});

if (produtos_filtrados.length === 0) {
    node.warn("Nenhum produto relevante encontrado");
    return null;
}

// Guardar no contexto para uso posterior
flow.set('produtos_precos', produtos_filtrados);

msg.payload = produtos_filtrados;
return msg;
```

---

## 3.1.6 Tabela de Base de Dados

#### Schema SQL

```
CREATE TABLE producao_valores (
    id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
    estacao_id INTEGER,
    codigo_produto TEXT,
    timestamp DATETIME,
    producao INTEGER,
    preco_unitario REAL,
    valor_producao REAL,
    defeitos INTEGER,
    valor_perdido REAL,
    valor_liquido REAL,
    FOREIGN KEY (estacao_id) REFERENCES estacoes(id)
);

CREATE INDEX idx_producao_valores_timestamp
ON producao_valores(timestamp DESC);
```

#### Consultas Úteis

**Valor total produzido hoje**:

```
SELECT SUM(valor_liquido) as receita_diaria
FROM producao_valores
WHERE DATE(timestamp) = DATE('now');
```

**Top 3 produtos por receita (última semana)**:

```
SELECT
    codigo_produto,
    SUM(valor_producao) as receita_total,
    SUM(valor_perdido) as perdas_defeitos
FROM producao_valores
WHERE timestamp >= datetime('now', '-7 days')
GROUP BY codigo_produto
ORDER BY receita_total DESC
LIMIT 3;
```

**Custo de defeitos por estação**:

```
SELECT
    e.nome,
    SUM(pv.valor_perdido) as custo_defeitos
FROM producao_valores pv
JOIN estacoes e ON pv.estacao_id = e.id
WHERE DATE(pv.timestamp) = DATE('now')
GROUP BY e.nome;
```

## 3.1.7 Gestão de Erros

### Tratamento de Falhas na API

**Node**: `catch` - "Erro API"

Adicionar node catch que captura erros do HTTP request:

```
// Node function conectado ao catch
if (msg.error) {
    node.error(`API falhou: ${msg.error.message}`);

    // Usar preço padrão/último conhecido
    let ultimo_preco = flow.get(`preco_${msg.codigo_produto}`) || 0;

    msg.payload = {
        preco_unitario: ultimo_preco,
        fonte: "cache",
        aviso: "API indisponível - usando último preço conhecido"
    };

    return msg;
}
```

### Cache de Preços

Evitar chamadas repetidas para o mesmo produto:

```
// No início do flow de preços
let codigo = msg.codigo_produto;
let cache_preco = flow.get(`preco_cache_${codigo}`);
let cache_timestamp = flow.get(`preco_cache_ts_${codigo}`);

// Cache válido por 1 hora
if (cache_preco && cache_timestamp) {
    let agora = Date.now();
    let diff_minutos = (agora - cache_timestamp) / 1000 / 60;

    if (diff_minutos < 60) {
        node.warn(`Usando preço em cache para ${codigo}`);
        msg.payload = {preco_unitario: cache_preco};
        return msg;
    }
}

// Se não há cache válido, prosseguir para HTTP request
return msg;
```

**Após receber resposta da API**:

```
// Guardar em cache
flow.set(`preco_cache_${msg.codigo_produto}`, msg.payload.preco_unitario);
flow.set(`preco_cache_ts_${msg.codigo_produto}`, Date.now());
```

## 3.1.8 Rate Limiting

Se a API tem limite de requests:

```
// Antes do HTTP request
let ultima_chamada = flow.get('api_ultima_chamada') || 0;
let agora = Date.now();
let delay_minimo = 1000; // 1 segundo entre chamadas

if (agora - ultima_chamada < delay_minimo) {
    let esperar = delay_minimo - (agora - ultima_chamada);
    node.warn(`Rate limit: aguardar ${esperar}ms`);

    // Agendar retry
    setTimeout(() => {
        node.send(msg);
    }, esperar);

    return null;
}

flow.set('api_ultima_chamada', agora);
return msg;
```

## 3.1.9 Variáveis de Ambiente

Configurar credenciais da API:

**Ficheiro**: `settings.js` (Node-RED)

```
functionGlobalContext: {
    API_BASE_URL: process.env.API_BASE_URL || 'https://api.empresa.com',
    API_TOKEN: process.env.API_TOKEN || '',
}
```

**Uso no flow**:

```
let api_url = global.get('API_BASE_URL');
let token = global.get('API_TOKEN');

msg.url = `${api_url}/produtos/${msg.codigo_produto}/preco`;
msg.headers = {
    'Authorization': `Bearer ${token}`
};

return msg;
```

## 3.1.10 Exemplo de Flow JSON

```
[
    {
        "id": "api_flow_start",
        "type": "mqtt in",
        "topic": "linha_producao/estacao/+",
        "broker": "mqtt_broker",
        "wires": [["extrair_codigo"]]
    },
    {
        "id": "extrair_codigo",
        "type": "function",
        "name": "Extrair Código",
        "func": "msg.codigo_produto = msg.payload.codigo_produto;\nflow.set('ultimo_payload', msg.payload);\nreturn msg;",
        "wires": [["http_get_preco"]]
    },
    {
        "id": "http_get_preco",
        "type": "http request",
        "method": "GET",
        "url": "https://api.empresa.com/produtos/{{codigo_produto}}/preco",
        "wires": [["calcular_valor"]]
    },
    {
        "id": "calcular_valor",
        "type": "function",
        "name": "Calcular Valor",
        "func": "// código da função anterior",
        "wires": [["sqlite_insert"]]
    },
    {
```

```
        "id": "sqlite_insert",
        "type": "sqlite",
        "db": "industrial_monitoring.db",
        "wires": [[]]
    }
]
```

## 3.1.11 Métricas Disponíveis

Após implementação completa, terás acesso a:

1. **Valor de Produção por Estação** (€/dia)
2. **Custo de Defeitos** (€ perdidos)
3. **ROI de Manutenções** (comparar antes/depois)
4. **Produtos Mais Lucrativos**
5. **Tendências de Margem**

Estas métricas podem ser visualizadas no dashboard ou incluídas nos relatórios automáticos.

## 3.1.12 Troubleshooting

**API retorna erro 401**: - Verificar token de autenticação - Confirmar validade do token - Verificar headers da request

**Valores sempre zero**: - Verificar se API está retornando dados - Debug do node HTTP request - Confirmar parsing JSON correto

**Performance lenta**: - Implementar cache de preços - Reduzir frequência de chamadas - Considerar batch requests se API suportar

## 3.1.13 Melhorias Futuras

- Webhook quando preços mudam (em vez de polling)
- Batch requests para múltiplos produtos
- Fallback para múltiplas APIs (redundância)
- Machine learning para prever preços

Esta integração transforma dados operacionais em métricas financeiras, permitindo decisões de negócio baseadas em dados em tempo real.

# 3.2 Integração Azure IoT Hub

Sistema de envio de telemetria para a cloud usando Azure IoT Hub, permitindo monitorização centralizada e análise de dados em escala.

## 3.2.1 Visão Geral

**Objetivo**: Conectar sensores IoT simulados ao Azure IoT Hub para processamento na cloud.

**Biblioteca**: `azure-iot-device` (Python SDK oficial da Microsoft)

**Arquitetura Dual**:

```
Simulador IoT
     ├──> MQTT Local (Mosquitto) → Node-RED → Dashboard/DB Local
     └──> Azure IoT Hub → Stream Analytics → Azure SQL/Storage
```

**Casos de Uso**: - Monitorização multi-site centralizada - Backup de dados na cloud - Análise com Azure Stream Analytics - Dashboards em Azure IoT Central - Integração com Power BI

## 3.2.2 Instalação

```
pip install azure-iot-device
```

**Dependências**:

```
azure-iot-device==2.13.0
paho-mqtt==1.6.1
```

## 3.2.3 Configuração Azure IoT Hub

**1. Criar IoT Hub (Azure Portal)**

1. Aceder ao Azure Portal
2. Criar recurso → Internet of Things → IoT Hub
3. Configurar:
4. **Nome**: `producao-industrial-hub`
5. **Região**: West Europe
6. **Tier**: F1 (gratuito) ou S1 (produção)
7. Criar

**2. Registar Device**

**Via Portal**: 1. IoT Hub → Devices → Add Device 2. Device ID: `estacao-1` 3. Authentication: Symmetric Key (auto-generate) 4. Copiar **Primary Connection String**

**Via Azure CLI**:

```
az iot hub device-identity create \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1

az iot hub device-identity connection-string show \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1
```

**Connection String** (guardar de forma segura):

```
HostName=producao-industrial-hub.azure-devices.net;DeviceId=estacao-1;SharedAccessKey=xxxxxxxxxxx
```

---

## 3.2.4 Implementação Python

### Exemplo Básico: Enviar Telemetria

```python
# azure_iot_sender.py

from azure.iot.device import IoTHubDeviceClient, Message
import json
import time
from datetime import datetime
import os

class AzureIoTSender:
    def __init__(self, connection_string):
        """
        Inicializar cliente Azure IoT

        Args:
            connection_string: Connection string do device no Azure IoT Hub
        """
        self.client = IoTHubDeviceClient.create_from_connection_string(
            connection_string
        )
        self.connected = False

    def connect(self):
        """Conectar ao Azure IoT Hub"""
        try:
            self.client.connect()
            self.connected = True
            print(f"✓ Conectado ao Azure IoT Hub")
        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro ao conectar: {e}")
            self.connected = False

    def send_telemetry(self, data):
        """
        Enviar telemetria para Azure IoT Hub

        Args:
            data: Dicionário com dados do sensor
        """
        if not self.connected:
            print("✗ Não conectado ao Azure IoT Hub")
            return False

        try:
            # Adicionar timestamp se não existir
            if 'timestamp' not in data:
                data['timestamp'] = datetime.now().isoformat()

            # Criar mensagem
            message = Message(json.dumps(data))

            # Definir propriedades da mensagem
            message.content_type = "application/json"
            message.content_encoding = "utf-8"

            # Adicionar propriedades customizadas
            message.custom_properties["estacao_id"] = str(data.get("estacao", "unknown"))
            message.custom_properties["tipo_alerta"] = self._check_alert(data)

            # Enviar
            self.client.send_message(message)
            print(f"✓ Telemetria enviada: Estação {data.get('estacao')}")

            return True

        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro ao enviar telemetria: {e}")
            return False

    def _check_alert(self, data):
        """Verificar se há condições de alerta"""
        dados = data.get('dados', {})

        if dados.get('defeitos', 0) > 10:
            return "defeitos_alto"
        elif dados.get('paragem', 0) > 600:  # 10 min
            return "paragem_longa"
        elif dados.get('stock', 0) < 20:
            return "stock_baixo"
```

```
        return "normal"

    def disconnect(self):
        """Desconectar do Azure IoT Hub"""
        if self.connected:
            self.client.disconnect()
            self.connected = False
            print("✓ Desconectado do Azure IoT Hub")


# Exemplo de uso
if __name__ == "__main__":
    # Connection string do device (usar variável de ambiente)
    CONN_STRING = os.getenv('AZURE_IOT_CONNECTION_STRING')

    if not CONN_STRING:
        print("Erro: Definir AZURE_IOT_CONNECTION_STRING")
        exit(1)

    # Criar cliente
    azure_sender = AzureIoTSender(CONN_STRING)
    azure_sender.connect()

    # Enviar dados de exemplo
    dados_exemplo = {
        "estacao": 1,
        "dados": {
            "producao": 458,
            "stock": 120,
            "paragem": 180,
            "defeitos": 5
        }
    }

    azure_sender.send_telemetry(dados_exemplo)

    # Desconectar
    azure_sender.disconnect()
```

## 3.2.5 Integração com Simulador MQTT Existente

**Simulador Dual: MQTT Local + Azure IoT**

```
# mqtt_publisher_azure.py

import paho.mqtt.client as mqtt
from azure.iot.device import IoTHubDeviceClient, Message
import json
import time
import random
from datetime import datetime
import os

class DualPublisher:
    """Publica para MQTT local E Azure IoT Hub simultaneamente"""

    def __init__(self, mqtt_broker, mqtt_port, azure_conn_string, estacao_id):
        # MQTT Local
        self.mqtt_client = mqtt.Client()
        self.mqtt_broker = mqtt_broker
        self.mqtt_port = mqtt_port

        # Azure IoT
        self.azure_client = IoTHubDeviceClient.create_from_connection_string(
            azure_conn_string
        )

        self.estacao_id = estacao_id
        self.running = False

    def connect(self):
        """Conectar a ambos os endpoints"""
        # Conectar MQTT local
        try:
            self.mqtt_client.connect(self.mqtt_broker, self.mqtt_port, 60)
            self.mqtt_client.loop_start()
            print(f"✓ Conectado ao MQTT local ({self.mqtt_broker}:{self.mqtt_port})")
        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro MQTT local: {e}")

        # Conectar Azure IoT
        try:
            self.azure_client.connect()
            print(f"✓ Conectado ao Azure IoT Hub")
        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro Azure IoT: {e}")

    def publish_data(self, data):
        """Publicar dados para ambos os destinos"""
```

```
        timestamp = datetime.now().isoformat()

        payload = {
            "estacao": self.estacao_id,
            "timestamp": timestamp,
            "dados": data
        }

        # Publicar no MQTT local
        try:
            topic = f"linha_producao/estacao/{self.estacao_id}"
            self.mqtt_client.publish(topic, json.dumps(data), qos=2)
            print(f"→ MQTT: {topic}")
        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro MQTT publish: {e}")

        # Publicar no Azure IoT Hub
        try:
            message = Message(json.dumps(payload))
            message.content_type = "application/json"
            message.content_encoding = "utf-8"
            message.custom_properties["estacao_id"] = str(self.estacao_id)

            self.azure_client.send_message(message)
            print(f"→ Azure: Estação {self.estacao_id}")
        except Exception as e:
            print(f"✗ Erro Azure publish: {e}")

    def simulate_production(self, interval=60):
        """Simular produção continuamente"""
        self.running = True

        print(f"\n▶ Iniciando simulação (Estação {self.estacao_id})")
        print(f"Intervalo: {interval}s | Ctrl+C para parar\n")

        try:
            while self.running:
                # Gerar dados sintéticos
                data = {
                    "producao": random.randint(80, 120),
                    "stock": random.randint(50, 200),
                    "paragem": random.randint(0, 300),
                    "defeitos": random.randint(0, 8)
                }

                # Publicar
                self.publish_data(data)

                # Aguardar
                time.sleep(interval)

        except KeyboardInterrupt:
            print("\n■ Simulação interrompida")
            self.running = False

    def disconnect(self):
        """Desconectar de ambos"""
        self.running = False

        try:
            self.mqtt_client.loop_stop()
            self.mqtt_client.disconnect()
            print("✓ MQTT local desconectado")
        except:
            pass

        try:
            self.azure_client.disconnect()
            print("✓ Azure IoT desconectado")
        except:
            pass


# Executar
if __name__ == "__main__":
    # Configuração
    MQTT_BROKER = os.getenv('MQTT_BROKER', 'localhost')
    MQTT_PORT = int(os.getenv('MQTT_PORT', 1883))
    AZURE_CONN = os.getenv('AZURE_IOT_CONNECTION_STRING')
    ESTACAO_ID = int(os.getenv('ESTACAO_ID', 1))

    if not AZURE_CONN:
        print("Erro: Definir AZURE_IOT_CONNECTION_STRING")
        exit(1)

    # Criar publisher dual
    publisher = DualPublisher(MQTT_BROKER, MQTT_PORT, AZURE_CONN, ESTACAO_ID)

    # Conectar
    publisher.connect()

    # Simular
    try:
        publisher.simulate_production(interval=60)
```

```
    finally:
        publisher.disconnect()
```

#### Variáveis de Ambiente

```
# .env
export MQTT_BROKER="localhost"
export MQTT_PORT="1883"
export AZURE_IOT_CONNECTION_STRING="HostName=....azure-devices.net;DeviceId=estacao-1;SharedAccessKey=..."
export ESTACAO_ID="1"
```

---

## 3.2.6 Device Twin (Propriedades do Device)

#### Ler e Atualizar Propriedades

```
# device_twin_manager.py

from azure.iot.device import IoTHubDeviceClient
import json

class DeviceTwinManager:
    def __init__(self, connection_string):
        self.client = IoTHubDeviceClient.create_from_connection_string(
            connection_string
        )
        self.client.connect()

    def get_desired_properties(self):
        """Obter configurações enviadas pela cloud"""
        twin = self.client.get_twin()
        desired = twin['desired']

        print("Configurações desejadas (cloud → device):")
        print(json.dumps(desired, indent=2))

        return desired

    def update_reported_properties(self, properties):
        """Reportar estado do device para a cloud"""
        self.client.patch_twin_reported_properties(properties)
        print(f"✓ Propriedades reportadas atualizadas: {properties}")

    def get_full_twin(self):
        """Obter twin completo"""
        twin = self.client.get_twin()

        print("\nDevice Twin completo:")
        print(json.dumps(twin, indent=2))

        return twin


# Exemplo de uso
if __name__ == "__main__":
    import os

    conn_string = os.getenv('AZURE_IOT_CONNECTION_STRING')
    manager = DeviceTwinManager(conn_string)

    # Ler configurações da cloud
    desired = manager.get_desired_properties()

    # Reportar estado atual do device
    reported = {
        "firmware_version": "1.2.0",
        "capacidade_maxima": 500,
        "status": "operacional",
        "ultima_manutencao": "2024-12-20",
        "temperatura_sensor": 42.5
    }

    manager.update_reported_properties(reported)

    # Ver twin completo
    manager.get_full_twin()
```

#### Configurar via Azure Portal

1. IoT Hub → Devices → estacao-1 → Device Twin

2. Adicionar desired properties:

```
{
  "desired": {
    "frequencia_envio": 60,
    "modo_producao": "alta_velocidade",
    "threshold_alerta_defeitos": 10,
    "threshold_paragem": 600
  }
}
```

1. No simulador, ler estas configs e ajustar comportamento:

```
desired = manager.get_desired_properties()
frequencia = desired.get('frequencia_envio', 60)
threshold_defeitos = desired.get('threshold_alerta_defeitos', 10)

# Usar nas simulações
publisher.simulate_production(interval=frequencia)
```

---

## 3.2.7 Direct Methods (Comandos Remotos)

**Executar Comandos da Cloud**

```
# direct_methods_handler.py

from azure.iot.device import IoTHubDeviceClient, MethodResponse
import json
import time

class CommandHandler:
    def __init__(self, connection_string):
        self.client = IoTHubDeviceClient.create_from_connection_string(
            connection_string
        )
        self.producao_ativa = True
        self.frequencia = 60

        # Registar handler de métodos
        self.client.on_method_request_received = self.method_request_handler

    def method_request_handler(self, method_request):
        """Handler para processar comandos da cloud"""
        print(f"\n📥 Comando recebido: {method_request.name}")
        print(f"Payload: {method_request.payload}")

        # Processar comando
        if method_request.name == "parar_producao":
            response = self._parar_producao()

        elif method_request.name == "iniciar_producao":
            response = self._iniciar_producao()

        elif method_request.name == "ajustar_frequencia":
            frequencia = method_request.payload.get("frequencia", 60)
            response = self._ajustar_frequencia(frequencia)

        elif method_request.name == "obter_status":
            response = self._obter_status()

        elif method_request.name == "resetar_contadores":
            response = self._resetar_contadores()

        else:
            response = {
                "result": f"Comando desconhecido: {method_request.name}",
                "status": 404
            }

        # Enviar resposta
        method_response = MethodResponse.create_from_method_request(
            method_request,
            status=response["status"],
            payload=response
        )

        self.client.send_method_response(method_response)
        print(f"✓ Resposta enviada: {response['result']}\n")

    def _parar_producao(self):
        self.producao_ativa = False
        return {
            "result": "Produção parada com sucesso",
            "status": 200,
            "producao_ativa": False
```

```
        }

    def _iniciar_producao(self):
        self.producao_ativa = True
        return {
            "result": "Produção iniciada com sucesso",
            "status": 200,
            "producao_ativa": True
        }

    def _ajustar_frequencia(self, nova_freq):
        self.frequencia = nova_freq
        return {
            "result": f"Frequência ajustada para {nova_freq} segundos",
            "status": 200,
            "frequencia": nova_freq
        }

    def _obter_status(self):
        return {
            "result": "Status obtido",
            "status": 200,
            "producao_ativa": self.producao_ativa,
            "frequencia": self.frequencia,
            "timestamp": time.time()
        }

    def _resetar_contadores(self):
        # Lógica para resetar contadores
        return {
            "result": "Contadores resetados",
            "status": 200
        }

    def start_listening(self):
        """Iniciar escuta de comandos"""
        self.client.connect()
        print("✓ Conectado ao Azure IoT Hub")
        print("👂 Aguardando comandos da cloud...\n")

        try:
            while True:
                time.sleep(1)
        except KeyboardInterrupt:
            print("\n■ Parando escuta de comandos")
            self.client.disconnect()


# Executar
if __name__ == "__main__":
    import os

    conn_string = os.getenv('AZURE_IOT_CONNECTION_STRING')
    handler = CommandHandler(conn_string)
    handler.start_listening()
```

#### Invocar Comando via Azure CLI

```
# Parar produção
az iot hub invoke-device-method \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1 \
  --method-name parar_producao

# Ajustar frequência
az iot hub invoke-device-method \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1 \
  --method-name ajustar_frequencia \
  --method-payload '{"frequencia": 30}'

# Obter status
az iot hub invoke-device-method \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1 \
  --method-name obter_status
```

## 3.2.8 Monitorização de Mensagens

#### Ver Telemetria em Tempo Real

```
# Azure CLI - Monitorizar mensagens
az iot hub monitor-events \
  --hub-name producao-industrial-hub \
  --device-id estacao-1
```

```
# Ou para todos os devices
az iot hub monitor-events \
  --hub-name producao-industrial-hub
```

**Azure IoT Explorer (GUI)**

1. Instalar: Azure IoT Explorer
2. Conectar ao IoT Hub
3. Selecionar device
4. Tab "Telemetry" → Start
5. Visualizar mensagens em tempo real

---

## 3.2.9 Processamento na Cloud

**Azure Stream Analytics**

**Input**: Azure IoT Hub
**Output**: Azure SQL Database / Blob Storage / Power BI

**Query SQL**:

```
-- Calcular médias por estação (janela de 5 minutos)
SELECT
    estacao,
    System.Timestamp() AS window_end,
    AVG(dados.producao) AS producao_media,
    AVG(dados.stock) AS stock_medio,
    SUM(dados.defeitos) AS total_defeitos,
    AVG(dados.paragem) AS paragem_media
INTO
    [output-sql]
FROM
    [input-iothub]
TIMESTAMP BY timestamp
GROUP BY
    estacao,
    TumblingWindow(minute, 5)

-- Alertas de defeitos altos
SELECT
    estacao,
    dados.defeitos AS defeitos,
    timestamp
INTO
    [output-alerts]
FROM
    [input-iothub]
WHERE
    dados.defeitos > 10
```

**Armazenar em Azure SQL**

**Tabela**:

```
CREATE TABLE TelemetriaProducao (
    Id INT IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY,
    EstacaoId INT,
    Timestamp DATETIME2,
    Producao INT,
    Stock INT,
    Paragem INT,
    Defeitos INT,
    ReceivedAt DATETIME2 DEFAULT GETUTCDATE()
);

CREATE INDEX idx_estacao_timestamp
ON TelemetriaProducao(EstacaoId, Timestamp DESC);
```

---

## 3.2.10 Segurança

**Boas Práticas**

1. **Não hardcodar connection strings** - Usar variáveis de ambiente
2. **Rotação de chaves** - Regenerar Shared Access Keys periodicamente
3. **Usar X.509 Certificates** em produção (em vez de Symmetric Keys)
4. **Implementar Device Provisioning Service (DPS)** para escala

**Connection String em Variável de Ambiente**

```
import os
from dotenv import load_dotenv

load_dotenv()  # Ler .env

CONN_STRING = os.getenv('AZURE_IOT_CONNECTION_STRING')

if not CONN_STRING:
    raise ValueError("AZURE_IOT_CONNECTION_STRING não definida")
```

**.env** (não commitar no Git):

```
AZURE_IOT_CONNECTION_STRING=HostName=...
```

**.gitignore**:

```
.env
*.pyc
```

---

## 3.2.11 Casos de Uso

**1. Multi-Site Monitoring**

Centralizar dados de múltiplas fábricas:

```
Fábrica Lisboa → Azure IoT Hub
Fábrica Porto → Azure IoT Hub → Análise → Dashboard Power BI
Fábrica Braga → Azure IoT Hub
```

**2. Backup na Cloud**

- Dados locais (SQLite) para operação imediata
- Dados na cloud (Azure SQL) para histórico e análise

**3. Machine Learning**

- Azure Stream Analytics → Azure ML
- Prever falhas de equipamento
- Otimizar schedules de produção

**4. Alertas Avançados**

- Logic Apps triggam emails/SMS em defeitos altos
- Integração com Microsoft Teams
- Webhooks para sistemas externos

---

## 3.2.12 Custos Azure IoT Hub

| Tier | Mensagens/dia | Preço/mês | Casos de Uso |
|---|---|---|---|
| **F1 (Free)** | 8.000 | €0 | Desenvolvimento/Testes |
| **S1 (Standard)** | 400.000 | ~€21 | Produção pequena |
| **S2** | 6M | ~€630 | Produção média |
| **S3** | 300M | ~€6.300 | Enterprise |

**Cálculo**: - 3 estações × 1 msg/min × 60 min × 24h = **4.320 msgs/dia** - Cabe no **F1 gratuito** ou **S1** com folga

---

## 3.2.13 Troubleshooting

**Erro de autenticação**: - Verificar connection string correta - Confirmar device está registado no IoT Hub - Regenerar chave se necessário

**Mensagens não chegam**: - Verificar se device está conectado - Monitorizar com `az iot hub monitor-events` - Verificar quotas do tier F1 (8k msgs/dia)

**Timeout de conexão**: - Verificar firewall/proxy - Porta 8883 (MQTT) ou 443 (HTTPS) aberta - Testar conectividade: `telnet producao-industrial-hub.azure-devices.net 8883`

---

## 3.2.14 Próximos Passos

1. **Implementar retry logic** para reconexões
2. **Batch messages** para otimizar quotas
3. **Migrar para X.509 certificates** (mais seguro)
4. **Implementar Device Provisioning Service** para auto-registro
5. **Criar dashboards no Power BI** conectados ao Azure SQL

---

## 3.2.15 Recursos

- Azure IoT Hub Docs
- Python SDK Reference
- Azure IoT Explorer
- Pricing Calculator

---

Esta integração adiciona capacidades enterprise ao ProjetoISIv1, permitindo escalar de um protótipo local para uma solução cloud-ready com monitorização centralizada e análise avançada.

# 3.3 Relatórios e Emails Automáticos

Sistema de geração e envio automático de relatórios de produção por email.

## 3.3.1 Visão Geral

**Objetivo**: Enviar relatórios diários/semanais com KPIs de produção sem intervenção manual.

**Tecnologia**: Python scripts + SQLite + SMTP

**Trigger**: Agendado via cron ou executado por Node-RED

## 3.3.2 Tipos de Relatórios

**1. Relatório Diário**

Resumo das últimas 24h de produção.

**Conteúdo**: - Total produzido por estação - Tempo de paragens - Taxa de defeitos - Eficiência (OEE)

**Destinatários**: Supervisores de produção

**Frequência**: Todos os dias às 7h00

**2. Relatório Semanal**

Análise agregada da semana anterior.

**Conteúdo**: - Tendências de produção - Comparação entre estações - Top 5 problemas - Recomendações

**Destinatários**: Gestão

**Frequência**: Segundas-feiras às 9h00

**3. Alertas em Tempo Real**

Notificações imediatas de anomalias.

**Triggers**: - Paragem > 10 minutos - Defeitos > 5% da produção - Eficiência < 80% - Stock crítico (< 20 unidades)

**Método**: Email ou SMS (futuro)

## 3.3.3 Estrutura do Relatório

**Template HTML**

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <style>
        body { font-family: Arial, sans-serif; }
        .kpi { display: inline-block; padding: 20px; margin: 10px; background: #f0f0f0; border-radius: 8px; }
        .kpi-value { font-size: 32px; font-weight: bold; color: #1976d2; }
        .kpi-label { font-size: 14px; color: #666; }
        .alert { background: #ffebee; border-left: 4px solid #f44336; padding: 10px; margin: 10px 0; }
        table { width: 100%; border-collapse: collapse; }
        th, td { padding: 12px; text-align: left; border-bottom: 1px solid #ddd; }
        th { background: #1976d2; color: white; }
    </style>
</head>
<body>
    <h1>Relatório de Produção - {data}</h1>
```

```
    <div class="kpis">
        <div class="kpi">
            <div class="kpi-value">{producao_total}</div>
            <div class="kpi-label">Peças Produzidas</div>
        </div>
        <div class="kpi">
            <div class="kpi-value">{oee}%</div>
            <div class="kpi-label">OEE</div>
        </div>
        <div class="kpi">
            <div class="kpi-value">{defeitos}%</div>
            <div class="kpi-label">Taxa de Defeitos</div>
        </div>
    </div>

    {alertas_html}

    <h2>Produção por Estação</h2>
    <table>
        <tr>
            <th>Estação</th>
            <th>Produção</th>
            <th>Paragens (min)</th>
            <th>Defeitos</th>
            <th>Eficiência</th>
        </tr>
        {tabela_estacoes}
    </table>
</body>
</html>
```

---

## 3.3.4 Implementação Python

**Script Principal:** `report_generator.py`

```
import sqlite3
import smtplib
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from datetime import datetime, timedelta
import os

class ReportGenerator:
    def __init__(self, db_path='industrial_monitoring.db'):
        self.db_path = db_path
        self.smtp_server = os.getenv('SMTP_SERVER', 'smtp.gmail.com')
        self.smtp_port = int(os.getenv('SMTP_PORT', '587'))
        self.email_from = os.getenv('EMAIL_FROM')
        self.email_password = os.getenv('EMAIL_PASSWORD')

    def get_daily_data(self):
        """Busca dados das últimas 24h"""
        conn = sqlite3.connect(self.db_path)
        cursor = conn.cursor()

        query = """
        SELECT
            e.nome,
            SUM(d.producao_total) as total_producao,
            SUM(d.tempo_paragem_segundos)/60 as paragens_min,
            SUM(d.defeitos_total) as total_defeitos,
            AVG(d.eficiencia_percentual) as eficiencia
        FROM dados_acumulados d
        JOIN estacoes e ON d.estacao_id = e.id
        WHERE d.timestamp >= datetime('now', '-1 day')
        GROUP BY e.nome
        """

        cursor.execute(query)
        results = cursor.fetchall()
        conn.close()

        return results

    def calculate_kpis(self, data):
        """Calcula KPIs agregados"""
        total_producao = sum(row[1] for row in data)
        total_defeitos = sum(row[3] for row in data)
        avg_eficiencia = sum(row[4] for row in data) / len(data) if data else 0
        taxa_defeitos = (total_defeitos / total_producao * 100) if total_producao > 0 else 0

        return {
            'producao_total': total_producao,
            'oee': round(avg_eficiencia, 1),
            'defeitos': round(taxa_defeitos, 2)
        }

    def generate_html_report(self, data, kpis):
```

```
        """Gera relatório HTML"""
        # Template HTML (simplificado para exemplo)
        template = """
        <html>
        <body>
            <h1>Relatório Diário - {data}</h1>
            <p>Produção Total: {producao_total} peças</p>
            <p>OEE: {oee}%</p>
            <p>Taxa Defeitos: {defeitos}%</p>

            <h2>Detalhes por Estação</h2>
            <table border="1">
                <tr><th>Estação</th><th>Produção</th><th>Paragens</th><th>Defeitos</th></tr>
                {rows}
            </table>
        </body>
        </html>
        """

        rows = ""
        for row in data:
            rows += f"<tr><td>{row[0]}</td><td>{row[1]}</td><td>{row[2]:.0f}min</td><td>{row[3]}</td></tr>"

        return template.format(
            data=datetime.now().strftime('%Y-%m-%d'),
            producao_total=kpis['producao_total'],
            oee=kpis['oee'],
            defeitos=kpis['defeitos'],
            rows=rows
        )

    def send_email(self, html_content, recipients):
        """Envia email com relatório"""
        msg = MIMEMultipart('alternative')
        msg['Subject'] = f"Relatório de Produção - {datetime.now().strftime('%Y-%m-%d')}"
        msg['From'] = self.email_from
        msg['To'] = ', '.join(recipients)

        html_part = MIMEText(html_content, 'html')
        msg.attach(html_part)

        with smtplib.SMTP(self.smtp_server, self.smtp_port) as server:
            server.starttls()
            server.login(self.email_from, self.email_password)
            server.send_message(msg)

    def run_daily_report(self):
        """Executa relatório diário completo"""
        data = self.get_daily_data()
        kpis = self.calculate_kpis(data)
        html = self.generate_html_report(data, kpis)

        recipients = os.getenv('REPORT_RECIPIENTS', '').split(',')
        self.send_email(html, recipients)

        print(f"Relatório enviado para {len(recipients)} destinatários")

# Uso
if __name__ == '__main__':
    generator = ReportGenerator()
    generator.run_daily_report()
```

## 3.3.5 Configuração SMTP

**Gmail (Recomendado)**

1. Criar App Password: Google Account Security
2. Configurar variáveis de ambiente:

```
export SMTP_SERVER="smtp.gmail.com"
export SMTP_PORT="587"
export EMAIL_FROM="producao@empresa.com"
export EMAIL_PASSWORD="xxxx xxxx xxxx xxxx"  # App Password
export REPORT_RECIPIENTS="supervisor@empresa.com,gestor@empresa.com"
```

**Outlook**

```
export SMTP_SERVER="smtp-mail.outlook.com"
export SMTP_PORT="587"
```

#### Gmail Empresarial (Google Workspace)

Mesmo que Gmail pessoal, mas usar email empresarial.

---

## 3.3.6 Agendamento Automático

#### Cron (Linux/Mac)

Editar crontab:

```
crontab -e
```

Adicionar:

```
# Relatório diário às 7h
0 7 * * * cd /path/to/project && python report_generator.py

# Relatório semanal às segundas 9h
0 9 * * 1 cd /path/to/project && python weekly_report.py
```

#### Windows Task Scheduler

1. Abrir Task Scheduler
2. Create Basic Task
3. Trigger: Daily, 7:00 AM
4. Action: Start a program
5. Program: `python.exe`
6. Arguments: `C:\path\to\report_generator.py`

#### Node-RED (Recomendado)

Usar node `inject` com cron:

```
{
    "id": "schedule_daily_report",
    "type": "inject",
    "cron": "0 7 * * *",
    "name": "Trigger Daily Report",
    "wires": [["exec_python_report"]]
}
```

---

## 3.3.7 Alertas em Tempo Real

#### Integração Node-RED

Flow para detectar anomalias:

```
// Node: function "Detect Anomalies"
if (msg.payload.dados.paragem > 600) { // 10 min
    msg.alert = {
        tipo: "PARAGEM_LONGA",
        estacao: msg.payload.estacao,
        duracao: msg.payload.dados.paragem,
        severidade: "alta"
    };
    return msg;
}

if (msg.payload.dados.defeitos / msg.payload.dados.producao > 0.05) {
    msg.alert = {
        tipo: "DEFEITOS_ELEVADOS",
        estacao: msg.payload.estacao,
        taxa: (msg.payload.dados.defeitos / msg.payload.dados.producao * 100).toFixed(2),
        severidade: "média"
    };
    return msg;
```

```
}

return null; // Sem alerta
```

Conectar a node `exec` que executa:

```
python send_alert_email.py --tipo "${alert.tipo}" --estacao "${alert.estacao}"
```

## 3.3.8 Exemplo de Email Recebido

```
Assunto: Relatório de Produção - 2024-12-28

Relatório Diário de Produção
-----------------------------

KPIs Gerais:
✓ Produção Total: 1,358 peças
✓ OEE: 94.5%
⚠ Taxa de Defeitos: 1.2%

Produção por Estação:
┌──────────────┬──────────┬──────────┬──────────┬─────────────┐
│ Estação      │ Produção │ Paragens │ Defeitos │ Eficiência  │
├──────────────┼──────────┼──────────┼──────────┼─────────────┤
│ Estação A1   │ 458      │ 3 min    │ 5        │ 95.2%       │
│ Estação B2   │ 420      │ 8 min    │ 8        │ 92.1%       │
│ Estação C1   │ 480      │ 2 min    │ 3        │ 96.8%       │
└──────────────┴──────────┴──────────┴──────────┴─────────────┘

Alertas:
⚠ Estação B2: Tempo de paragem acima do normal
```

## 3.3.9 Melhorias Futuras

- Gráficos embutidos (matplotlib → imagem inline)
- Comparação com dia/semana anterior
- Previsões baseadas em tendências
- Anexar PDF do relatório
- Integração Telegram/Slack para alertas
- Dashboard web para histórico de relatórios

## 3.3.10 Troubleshooting

**Emails não enviados**: - Verificar App Password do Gmail - Testar SMTP manualmente: `telnet smtp.gmail.com 587` - Verificar firewall/antivírus

**Dados vazios no relatório**: - Confirmar que há dados nas últimas 24h no SQLite - Verificar query SQL no script

**Cron não executa**: - Verificar logs: `grep CRON /var/log/syslog` - Testar script manualmente primeiro - Usar caminhos absolutos no cron

## 3.3.11 Referências

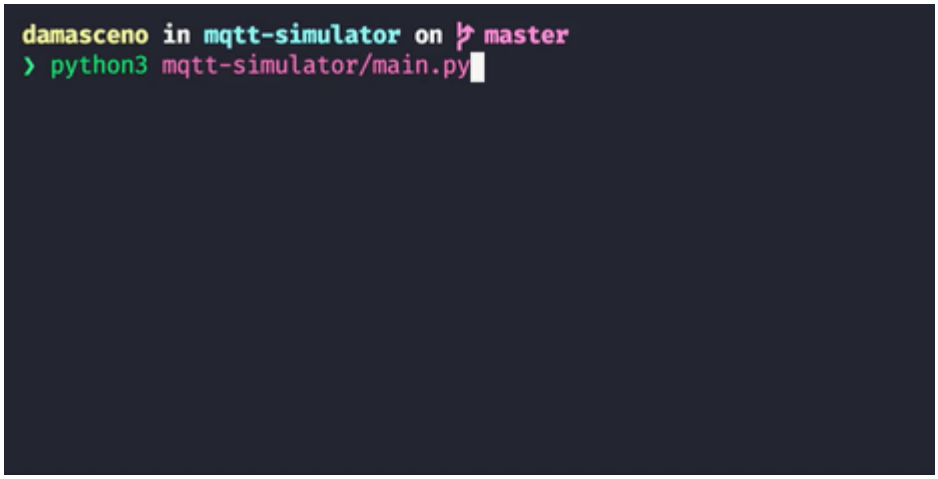
- Python smtplib
- Gmail SMTP
- Cron Syntax

# 4. Simulador IoT

## 4.1 MQTT Simulator

A lightweight, easy-to-configure MQTT simulator written in Python 3 for publishing JSON objects to a broker, simulating sensors and devices.

Features • Getting Started • Configuration • Main contributors




### 4.1.1 Features

- Lightweight and easy-to-configure simulator for publishing data to an MQTT broker
- Simple setup with a single JSON configuration file
- Publish data on predefined fixed topics
- Publish data on multiple topics that have a variable id or items at the end
- Simulated random variation of data based on configurable parameters
- Real-time event logging during simulation

### 4.1.2 Getting Started

**Running using Python**

Run the simulator with the default settings file ( `config/settings.json` ):

```
python3 mqtt-simulator/main.py
```

Or specify a custom settings file:

```
python3 mqtt-simulator/main.py -f <path/settings.json>
```

To install all dependencies with a virtual environment before using:

```
python3 -m venv venv
source venv/bin/activate
pip3 install -r requirements.txt
```

**Running using uv**

Run the simulator with uv, a fast Python package and project manager - no need to manually setup a virtual environment:

```
uv run mqtt-simulator/main.py -f <path/settings.json>
```

**Running using Docker**

Additionally, you can run the simulator via Docker using the provided `Dockerfile`.

Build the image:

```
docker build -t mqtt-simulator .
```

Run the container:

```
docker run mqtt-simulator -f <path/settings.json>
```

## 4.1.3 Configuration

See the configuration documentation for detailed usage instructions.

You can also check a full settings file example at: settings.json.

Below is a minimal configuration file that connects to the `mqtt.eclipseprojects.io` broker and publishes data to the `/place/roof` and `/place/basement` topics. The simulator generates `temperature` variations based on the provided parameters:

```
{
  "BROKER_URL": "mqtt.eclipseprojects.io",
  "TOPICS": [
    {
      "TYPE": "list",
      "PREFIX": "place",
      "LIST": ["roof", "basement"],
      "TIME_INTERVAL": 8,
      "DATA": [
        {
          "NAME": "temperature",
          "TYPE": "float",
          "MIN_VALUE": 20,
          "MAX_VALUE": 55,
          "MAX_STEP": 3,
          "RETAIN_PROBABILITY": 0.5,
          "INCREASE_PROBABILITY": 0.6
        }
      ]
    }
  ]
}
```

## 4.1.4 Sensores Simulados

| Sensor | Tipo de dado | Unidade | Intervalo de emissão | Exemplo de payload |
|---|---|---|---|---|
| Produção | Peças por minuto | pcs/min | 5 s | { "estacao": 1, "producao": 58 } |
| Paragem | Tempo parado | segundos | evento | { "estacao": 1, "paragem": 15 } |
| Stock | Nível de stock | % | 10 s | { "estacao": 1, "stock": 73 } |
| Qualidade | Peças defeituosas | % | 10 s | { "estacao": 1, "defeitos": 4 } |

## 4.2 Configuration

The MQTT Simulator configuration consists of 3 main sections: **Broker**, **Topics**, and **Data**.

Quick Navigation:
Broker settings • Topics settings • Data settings

You can also check a full settings file example at: settings.json.

### 4.2.1 Broker settings

The **Broker settings** section is located at the root level of the JSON configuration file and defines the fundamental MQTT connection parameters:

```
{
    "BROKER_URL": "mqtt.eclipse.org",
    "BROKER_PORT": 1883,
    "TOPICS": [
        ...
    ]
}
```

| Key | Type | Default | Description |
|---|---|---|---|
| `BROKER_URL` | string | localhost | The broker URL where the data will be published |
| `BROKER_PORT` | number | 1883 | The port used by the broker |
| `PROTOCOL_VERSION` | number | 4 | Sets the paho.mqtt.client `protocol` param. Version of the MQTT protocol to use for this client. Can be either `3` (MQTTv31), `4` (MQTTv311) or `5` (MQTTv5) |
| `TLS_CA_PATH` | string | None | Sets the paho.mqtt.client.tls_set `ca_certs` param. String path to the Certificate Authority certificate file |
| `TLS_CERT_PATH` | string | None | Sets the paho.mqtt.client.tls_set `certfile` param. String path to the PEM encoded client certificate file |
| `TLS_KEY_PATH` | string | None | Sets the paho.mqtt.client.tls_set `keyfile` param. String path to the PEM encoded client private keys file |
| `AUTH_USERNAME` | string | None | Sets the paho.mqtt.client.username_pw_set `username` param. Username to authenticate with |
| `AUTH_PASSWORD` | string | None | Sets the paho.mqtt.client.username_pw_set `password` param. Password to authenticate with |
| `CLEAN_SESSION` | bool | True | Sets the paho.mqtt.client `clean_session` param. Boolean that determines the client type. This property is ignored if `PROTOCOL_VERSION` is `5`. |
| `RETAIN` | bool | False | Sets the paho.mqtt.client.publish `retain` param. If set to true, the message will be set as the “last known good”/retained message for the topic |
| `QOS` | number | 2 | Sets the paho.mqtt.client.publish `qos` param. Quality of service level to use |
| `TIME_INTERVAL` | number | 10 | Time interval in seconds between submissions towards the topic |
| `TOPICS` | array\ | None | Specification of topics and how they will be published |

### 4.2.2 Topics settings

The **TOPICS** key is a list. Each topic entry is an `object` containing parameters that define how topics will be structured and published:

```
{
    "TYPE": "multiple",
    "PREFIX": "place",
    "RANGE_START": 1,
    "RANGE_END": 2,
    "TIME_INTERVAL": 25,
    "DATA": [
        ...
    ]
}
```

| Key | Type | Description | Required |
|---|---|---|---|
| `TYPE` | string | It can be `"single"`, `"multiple"` or `"list"` | yes |
| `PREFIX` | string | Prefix of the topic URL, depending on the `TYPE` it can be concatenated to `/<id>` or `/<item>` | yes |
| `LIST` | array\ | When the `TYPE` is `"list"` the topic prefix will be concatenated with `/<item>` for each item in the array | if `TYPE` is `"list"` |
| `RANGE_START` | number | When the `TYPE` is `"multiple"` the topic prefix will be concatenated with `/<id>` where `RANGE_START` will be the first number | if `TYPE` is `"multiple"` |
| `RANGE_END` | number | When the `TYPE` is `"multiple"` the topic prefix will be concatenated with `/<id>` where `RANGE_END` will be the last number | if `TYPE` is `"multiple"` |
| `CLEAN_SESSION` | bool | Overwrites the broker level config value and applies only to this Topic | no |
| `RETAIN` | bool | Overwrites the broker level config value and applies only to this Topic | no |
| `QOS` | number | Overwrites the broker level config value and applies only to this Topic | no |
| `TIME_INTERVAL` | number | Overwrites the broker level config value and applies only to this Topic | no |
| `PAYLOAD_ROOT` | object | The root set of params to include on all messages | optional |
| `DATA` | array\ | Specification of the data that will form the JSON to be sent in the topic | yes |

### 4.2.3 Data settings

The key **DATA** inside TOPICS is a list. Each data entry is an `object` containing parameters that define individual data properties and how values are simulated:

```
{
    "NAME": "temperature",
    "TYPE": "float",
    "INITIAL_VALUE": 35,
    "MIN_VALUE": 20,
    "MAX_VALUE": 55,
    "MAX_STEP": 0.2,
    "RETAIN_PROBABILITY": 0.5,
    "RESET_PROBABILITY": 0.1,
    "INCREASE_PROBABILITY": 0.7,
```

```
    "RESTART_ON_BOUNDARIES": true
}
```

| Key | Type | Description | Required |
|---|---|---|---|
| `NAME` | string | JSON property name to be sent | yes |
| `TYPE` | string | It can be `"int"`, `"float"`, `"bool"`, `"math_expression"` or `"raw_values"` | yes |
| `INITIAL_VALUE` | same that is returned according to `TYPE` | Initial value that the property will assume when the simulation starts. If not specified: random for `"int"`, `"float"` or `"bool"`, and determined by other parameters for `"math_expression"` or `"raw_values"` | optional |
| `RETAIN_PROBABILITY` | number | Number between 0 and 1 for the probability of the value being retained and sent again | optional, default is `0` |
| `RESET_PROBABILITY` | number | Number between 0 and 1 for the probability of the value being reset to `INITIAL_VALUE` | optional, default is `0` |
| `MIN_VALUE` | number | Minimum value that the property can assume | if `TYPE` is `"int"` or `"float"` |
| `MAX_VALUE` | number | Maximum value that the property can assume | if `TYPE` is `"int"` or `"float"` |
| `MAX_STEP` | number | Maximum change that can be applied to the property from a published data to the next | if `TYPE` is `"int"` or `"float"` |
| `INCREASE_PROBABILITY` | number | Number between 0 and 1 for the probability of the next value being greater than the previous one | optional, default is `0.5` (same probability to increase or decrease). Only valid if `TYPE` is `"int"` or `"float"` |
| `RESTART_ON_BOUNDARIES` | bool | When true and the value reaches `MAX_VALUE` or `MIN_VALUE` the next value will be the `INITIAL_VALUE` | optional, default is false. Only valid if `TYPE` is `"int"` or `"float"` |
| `MATH_EXPRESSION` | string | Math expression written in a *Pythonic* way. Also accept functions from Math modules | if `TYPE` is `"math_expression"` |
| `INTERVAL_START` | number | Minimum value that the `MATH_EXPRESSION`'s variable `x` can assume | if `TYPE` is `"math_expression"` |
| `INTERVAL_END` | number | Maximum value that the `MATH_EXPRESSION`'s variable `x` can assume | if `TYPE` is `"math_expression"` |
| `MIN_DELTA` | number | Minimum value that can be added to the `MATH_EXPRESSION`'s variable `x` from a published data to the next | if `TYPE` is `"math_expression"` |
| `MAX_DELTA` | number | Maximum value that can be added to the `MATH_EXPRESSION`'s variable `x` from a published data to the next | if `TYPE` is `"math_expression"` |
| `INDEX_START` | number | The index to start publishing from the `VALUES` array | optional, default is `0`. Only valid if `TYPE` is `"raw_values"` |
| `INDEX_END` | number | The index to end publishing from the `VALUES` array | optional, default is `len(values) - 1`. Only valid if `TYPE` is `"raw_values"` |
| `RESTART_ON_END` | bool | | |

| Key | Type | Description | Required |
| --- | --- | --- | --- |
| | | When true and the index of the `VALUES` array reaches `INDEX_END`, the next index will be `INDEX_START`. Otherwise, the param will become inactive and won't be sent after reaching `INDEX_END` | optional, default is false. Only valid if `TYPE` is `"raw_values"` |
| `VALUES` | array\ | The values to be published in array order | if `TYPE` is `"raw_values"` |
| `VALUE_DEFAULT` | object | The default value params used or overwritten by params in `VALUES` | optional, default is `{}`. Only valid if `TYPE` is `"raw_values"` and `VALUES` is an array\ |

> ***NOTE:*** Access math_expression.md file for more explanations and a example of `TYPE: "math_expression"`.

## 4.3 MQTT Simulator - Data type `math_expression`

For general information on how to configure the MQTT Simulator see the README.md file.

For `TYPE: "math_expression"` we need five required configuration parameters: `MATH_EXPRESSION`, `INTERVAL_START`, `INTERVAL_END`, `MIN_DELTA` and `MAX_DELTA`. Each of these have some notes:

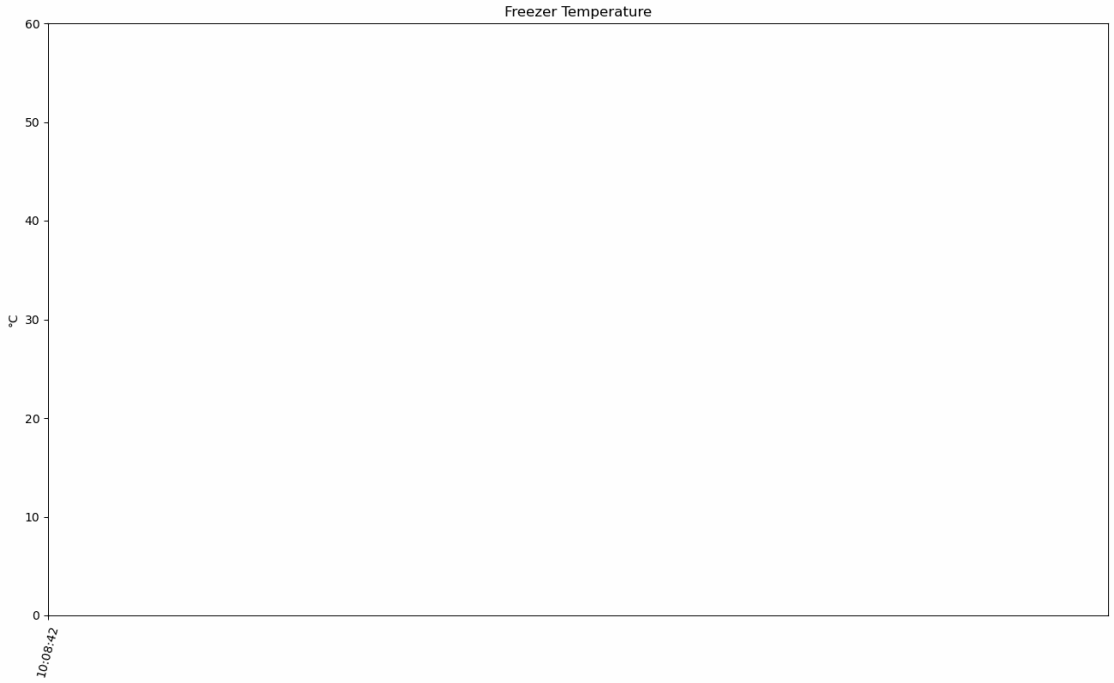
```
{
    ...
    "TYPE": "math_expression",
    "MATH_EXPRESSION": "x**2",
    "INTERVAL_START": 30,
    "INTERVAL_END": 40,
    "MIN_DELTA": 0.1,
    "MAX_DELTA": 0.2,
    ...
}
```

- `MATH_EXPRESSION`:
- 
- The `MATH_EXPRESSION`'s variable **must** be defined as `x`.
- Any *Pythonic* expression is valid, so, for instance, if you declare it as `x**2` or `math.pow(x,2)` the generated function will be the same.
- `INTERVAL_START` and `INTERVAL_END`:
- These parameters will works as the function domain, restricting the value that `x` can reach.
- When the variable `x > INTERVAL_END`, the function will be evaluated, and then the variable will be reset to `x=INTERVAL_START`. So keep in mind that the real interval is `[INTERVAL_START,INTERVAL_END+MAX_DELTA)`.
- `MIN_DELTA` and `MAX_DELTA`:
- It is possible to set both with the same value, in this case, it is expected that the curves are more similar between the "loops", and may be identical if `RETAIN_PROBABILITY = 0`.

### 4.3.1 Example 1 - Freezer Temperature

In the example below the `MATH_EXPRESION` = $2x²+1$, `INTERVAL_START = 0`, `INTERVAL_END = 5`, `MIN_DELTA = 0` and `MAX_DELTA = 0.5`, so it is expected that the generated values are between 1 and 61.5, and the curves should be slightly different.

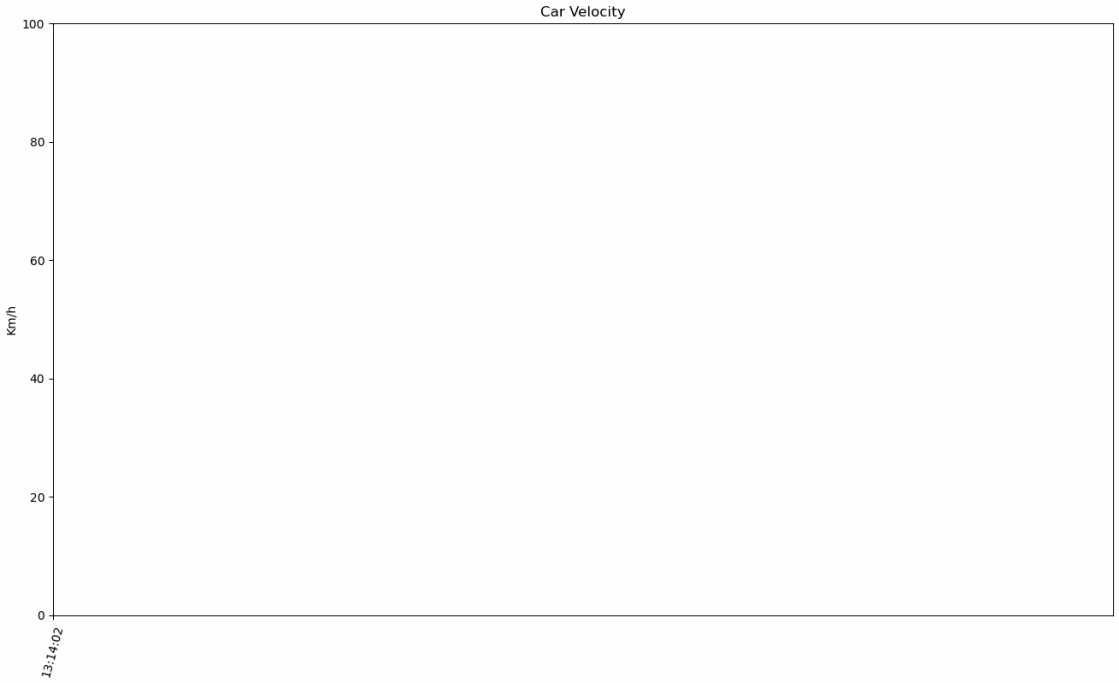
```
{
   "TYPE": "single",
   "PREFIX": "freezer",
   "TIME_INTERVAL": 6,
   "DATA": [
       {
           "NAME": "temperature",
           "TYPE": "math_expression",
           "RETAIN_PROBABILITY": 0.1,
           "MATH_EXPRESSION": "2*math.pow(x,2)+1",
           "INTERVAL_START": 0,
           "INTERVAL_END": 5,
           "MIN_DELTA": 0.5,
           "MAX_DELTA": 0.5
       }
   ]
}
```




## 4.3.2 Example 2 - Car Velocity

In the example below the `MATH_EXPRESION` = $\sqrt{75x}$, `INTERVAL_START = 0`, `INTERVAL_END = 100`, `MIN_DELTA = 10` and `MAX_DELTA = 10`, so it is expected that the generated values are between 0 and 87. As `REATIN_PROBABILITY = 0` and the `MIN_DELTA` and `MAX_DELTA` are identicals, the curves must be identicals.

```
{
    "TYPE": "single",
    "PREFIX": "car",
    "TIME_INTERVAL": 6,
    "DATA": [
        {
            "NAME": "velocity",
            "TYPE": "math_expression",
            "RETAIN_PROBABILITY": 0,
            "MATH_EXPRESSION": "(75*x)**(1/2)",
            "INTERVAL_START": 0,
            "INTERVAL_END": 100,
            "MIN_DELTA": 10,
            "MAX_DELTA": 10
        }
    ]
}
```



# 5. Interface

## 5.1 Dashboard de Visualização

O **Dashboard** do ProjetoISIv1 oferece uma interface web moderna e responsiva para monitorização em tempo real dos dados de produção industrial.

### 5.1.1 Visão Geral

**Tecnologias Utilizadas**

| Tecnologia | Versão | Propósito |
|---|---|---|
| **React** | 18+ | Framework frontend |
| **Material-UI (MUI)** | 5+ | Biblioteca de componentes UI |
| **Axios** | 1.6+ | Cliente HTTP para APIs |
| **Chart.js** / **Recharts** | - | Visualizações gráficas |
| **React Router** | 6+ | Navegação entre páginas |

**Funcionalidades Principais**

- Monitorização em tempo real de estações de produção
- Visualização de KPIs (Key Performance Indicators)
- Gráficos interativos de produção, paragens e defeitos
- Histórico de dados com filtros por período
- Interface responsiva (desktop, tablet, mobile)
- Atualizações automáticas via polling/WebSocket

### 5.1.2 Arquitetura do Dashboard

**Estrutura de Componentes**

```
dashboard/
  src/
    components/
      ProductionChart.jsx       # Gráfico de produção
      StationStatus.jsx         # Status das estações
      DowntimeAnalysis.jsx      # Análise de paragens
      DefectsOverview.jsx       # Visão geral de defeitos
      KPICard.jsx               # Card de KPI
      Header.jsx                # Cabeçalho da aplicação
    pages/
      Dashboard.jsx             # Página principal
      StationDetails.jsx        # Detalhes de estação
      Reports.jsx               # Página de relatórios
    services/
      api.js                    # Configuração Axios
      dataService.js            # Serviços de dados
    utils/
      formatters.js             # Formatação de dados
      calculations.js           # Cálculos de KPIs
    App.jsx                     # Componente raiz
    index.jsx                   # Ponto de entrada
  public/
    index.html
    favicon.ico
  package.json
```

## 5.1.3 Componentes Principais

**1. ProductionChart - Gráfico de Produção**

Exibe a produção ao longo do tempo para cada estação.

Funcionalidades: - Gráfico de linhas/barras interativo - Comparação entre múltiplas estações - Filtros por período (hoje, semana, mês) - Zoom e tooltips detalhados

Exemplo de implementação (Chart.js v3+ / react-chartjs-2):

```
// Exemplo funcional e compatível com Chart.js v3+
// Requer: npm install chart.js react-chartjs-2

import React from 'react';
import {
  Chart as ChartJS,
  CategoryScale,
  LinearScale,
  PointElement,
  LineElement,
  BarElement,
  Title,
  Tooltip,
  Legend
} from 'chart.js';
import { Line } from 'react-chartjs-2';

ChartJS.register(
  CategoryScale,
  LinearScale,
  PointElement,
  LineElement,
  BarElement,
  Title,
  Tooltip,
  Legend
);

const ProductionChart = ({ data }) => {
  const chartData = {
    labels: data.timestamps,
    datasets: [
      {
        label: 'Produção (peças)',
        data: data.production,
        borderColor: 'rgb(75, 192, 192)',
        backgroundColor: 'rgba(75, 192, 192, 0.2)',
        tension: 0.3,
      }
    ]
  };

  const options = {
    responsive: true,
    plugins: {
      legend: { position: 'top' },
      title: { display: false }
    },
    interaction: { mode: 'index', intersect: false },
    scales: {
      x: { display: true },
      y: { display: true, beginAtZero: true }
    }
  };

  return <Line data={chartData} options={options} />;
};

export default ProductionChart;
```

**2. StationStatus - Status das Estaçõess**

Mostra o status operacional de cada estação em tempo real.

Estados possíveis: - Ativa (verde): Produzindo normalmente - Parada (vermelho): Em paragem - Manutenção (amarelo): Em manutenção - Offline (cinza): Sem comunicação

Exemplo de layout: - Estaçã o A1 — [●] Ativa — Produção: 458 peças | Eficiência: 94% - Estaçã o B2 — [●] Parada — Tempo paragem: 5m 32s

**3. DowntimeAnalysis - Análise de Paragens**

Analisa os tempos de paragem e identifica padrões.

Métricas exibidas: - Tempo total de paragem - Número de paragens - Duração média de paragem - Paragens por estação (gráfico pizza) - Timeline de paragens

---

**4. DefectsOverview - Visão Geral de Defeitos**

Monitoriza a qualidade da produção através de métricas de defeitos.

Visualizações: - Taxa de defeitos (%) - Total de peças defeituosas - Comparação entre estações - Tendência ao longo do tempo - Top 5 estações com mais defeitos

---

**5. KPICard - Cartões de KPI**

Exibe indicadores-chave de performance de forma visual.

KPIs Principais:

| KPI | Descrição | Cálculo |
|---|---|---|
| OEE | Overall Equipment Effectiveness | (Disponibilidade × Performance × Qualidade) × 100% |
| Taxa de Produção | Peças produzidas/hora | Total Produção / Horas Operação |
| Taxa de Defeitos | Percentagem de defeitos | (Defeitos / Total Produção) × 100% |
| Tempo Médio de Paragem | MTTR (Mean Time To Repair) | Total Paragem / Número de Paragens |
| Disponibilidade | Tempo disponível vs. paragem | ((Tempo Total - Paragem) / Tempo Total) × 100% |

Exemplo visual: OEE — 94.5% ± 2.3%

---

## 5.1.4 Páginas do Dashboard

**Página Principal (Dashboard)**

Layout: - Cabeçalho: [Logo] Monitorização Industrial | [User] [Settings] - Cards de KPIs (OEE, Produção, Defeitos, Paragens) - Gráfico de Produção (linha) - Status das Estações - Análise de Paragens (barra) - Taxa de Defeitos (pizza)

**Página de Detalhes de Estação**

Exibe informação detalhada sobre uma estação específica.

Secções: 1. Informação Geral (nome, localização, capacidade) 2. Métricas em Tempo Real 3. Histórico de Produção (últimas 24h) 4. Log de Eventos (paragens, manutenções) 5. Configurações da Estação

**Página de Relatórios**

Lista relatórios gerados e permite download.

Funcionalidades: - Filtrar por tipo (diário, semanal, mensal) - Filtrar por período - Download em PDF/HTML - Reenviar por email - Gerar novo relatório ad-hoc

---

## 5.1.5 Integração com Backend

### Configuração da API

Ficheiro: `src/services/api.js`

```
import axios from 'axios';

const API_BASE_URL = process.env.REACT_APP_API_URL || 'http://localhost:8000';

const api = axios.create({
  baseURL: API_BASE_URL,
  timeout: 10000,
  headers: {
    'Content-Type': 'application/json',
  },
});

export default api;
```

### Serviço de Dados

Ficheiro: `src/services/dataService.js`

```
import api from './api';

export const dataService = {
  // Obter dados de todas as estações
  getStations: async () => {
    const response = await api.get('/stations');
    return response.data;
  },

  // Obter dados acumulados
  getAccumulatedData: async (stationId, startDate, endDate) => {
    const response = await api.get('/accumulated-data', {
      params: { stationId, startDate, endDate }
    });
    return response.data;
  },

  // Obter KPIs
  getKPIs: async (stationId) => {
    const response = await api.get(`/kpis/${stationId}`);
    return response.data;
  },
};
```

### Atualização em Tempo Real

Opção 1: Polling

```
useEffect(() => {
  const interval = setInterval(async () => {
    const data = await dataService.getStations();
    setStationsData(data);
  }, Number(process.env.REACT_APP_REFRESH_INTERVAL) || 5000);

  return () => clearInterval(interval);
}, []);
```

Opção 2: WebSocket (futuro)

```
useEffect(() => {
  const ws = new WebSocket(process.env.REACT_APP_MQTT_BROKER || 'ws://localhost:9001');

  ws.onmessage = (event) => {
    const data = JSON.parse(event.data);
    updateDashboard(data);
  };

  return () => ws.close();
}, []);
```

## 5.1.6 Instalação e Configuração

1. Instalar dependências

```
cd dashboard
npm install
# instalar chart.js e react-chartjs-2 se não estiverem:
npm install chart.js react-chartjs-2
```

1. Configurar variáveis de ambiente

Crie `.env`:

```
REACT_APP_API_URL=http://localhost:8000
REACT_APP_REFRESH_INTERVAL=5000
REACT_APP_MQTT_BROKER=ws://localhost:9001
```

1. Executar em desenvolvimento

```
npm start
```

Acesse em: http://localhost:3000

1. Build para produção

```
npm run build
```

Ficheiros gerados em `build/`.

1. Deploy

Com servidor estático:

```
npm install -g serve
serve -s build -p 3000
```

Com Nginx (exemplo):

```
server {
    listen 80;
    server_name dashboard.exemplo.com;

    root /var/www/dashboard/build;
    index index.html;

    location / {
        try_files $uri /index.html;
    }

    location /api {
        proxy_pass http://localhost:8000;
    }
}
```

---

## 5.1.7 Personalização

**Tema Material-UI**

Ficheiro: `src/theme.js`

```
import { createTheme } from '@mui/material/styles';

const theme = createTheme({
  palette: {
    primary: { main: '#1976d2' },
    secondary: { main: '#dc004e' },
    success: { main: '#4caf50' },
    warning: { main: '#ff9800' },
    error: { main: '#f44336' },
  },
  typography: { fontFamily: 'Roboto, Arial, sans-serif' },
});
```

```
export default theme;
```

**Configurar Cores por Status**

```
const statusColors = {
  ativa: '#4caf50',       // Verde
  parada: '#f44336',      // Vermelho
  manutencao: '#ff9800', // Amarelo
  offline: '#9e9e9e',    // Cinza
};
```

## 5.1.8 Grafana (Alternativa)

Como alternativa ao dashboard React, pode-se utilizar **Grafana** para visualizações avançadas.

Vantagens do Grafana: - Dashboards configuráveis sem código - Alertas personalizados - Múltiplas fontes de dados - Painéis pré-construídos - Partilha e exportação de dashboards

Configuração básica: 1. Instalar Grafana 2. Adicionar SQLite (ou outra fonte) como data source 3. Criar dashboard com painéis 4. Configurar refresh automático 5. Configurar alertas

Exemplo Docker:

```
grafana:
  image: grafana/grafana:latest
  ports:
    - "3000:3000"
  volumes:
    - grafana-storage:/var/lib/grafana
  environment:
    - GF_SECURITY_ADMIN_PASSWORD=admin
```

## 5.1.9 Troubleshooting

Dashboard não carrega dados: - Verificar se a API está a correr ( `http://localhost:8000` ) - Verificar configuração de CORS no backend - Inspecionar console do browser para erros

Gráficos não aparecem: - Verificar se os dados têm o formato correto - Instalar dependências de chart: `npm install chart.js react-chartjs-2` - Verificar imports e inicialização do Chart.js (ChartJS.register)

Performance lenta: - Reduzir intervalo de atualização - Implementar paginação de dados - Utilizar React.memo para componentes pesados - Otimizar queries de backend

## 5.1.10 Próximos Passos

Ver Fase 2 para melhorias planeadas: - WebSocket para atualizações em tempo real - Autenticação de utilizadores - Dashboards personalizáveis por utilizador - Exportação de dados - Notificações push - Modo escuro (dark mode)

## 5.1.11 Referências

- React Documentation: https://react.dev/
- Material-UI: https://mui.com/
- Chart.js: https://www.chartjs.org/
- Recharts: https://recharts.org/
- Grafana: https://grafana.com/docs/

# 6. Deployment

## 6.1 Pré-requisitos e Instalação

Esta secção descreve as dependências necessárias e o processo de instalação do sistema de **Monitorização Industrial com IoT e ETL**, incluindo a configuração dos componentes MQTT, Node-RED, SQLite, React UI e automação com Python.

### 6.1.1 Pré-requisitos

Antes de executar o projeto, certifica-te de que tens as seguintes ferramentas instaladas:

#### Sistema Base

- **Python 3.10+** — para scripts de simulação, integração com API e envio de emails
- **Node.js 18+** — para execução da interface React e Node-RED
- **npm ou yarn** — gestor de pacotes JavaScript
- **SQLite3** — para armazenamento local dos dados processados
- **Mosquitto MQTT Broker** — para gerir a comunicação entre sensores (publishers) e consumidores (subscribers)
- **Git** — para controlo de versões e clonagem do repositório

#### Bibliotecas Python

Instala as bibliotecas necessárias:

```
pip install paho-mqtt requests smtplib sqlite3
```

#### Dependências Node.js

```
npm install @mui/material @emotion/react @emotion/styled axios
```

#### Node-RED

Instala o Node-RED globalmente:

```
npm install -g node-red
```

Depois, inicia com:

```
node-red
```

#### Comandos Git

Geeks git Commands

#### Gerar Documentação com MkDocs

```
pip install mkdocs mkdocs-material
mkdocs serve
```

## 6.2 Troubleshooting

| Problema | Causa provável | Solução |
|---|---|---|
| Node-RED não liga | Porta ocupada | Muda a porta: `node-red -p 1881` |
| MQTT não conecta | Broker offline | Reinicia Mosquitto: `sudo systemctl restart mosquitto` |
| SQLite bloqueado | Conflito de acesso | Fecha outras conexões e tenta novamente |
| Emails não enviados | Autenticação falhou | Verifica SMTP e permissões “App Password” |

# 7. Projeto

## 7.1 Conclusão e Trabalhos Futuros

O **ProjetoISIv1** demonstrou a aplicação prática de conceitos de **Integração de Sistemas de Informação** com recurso a ferramentas de ETL, comunicação IoT e visualização web.

### 7.1.1 Resultados

- Automação da recolha de dados via sensores simulados;
- Processamento em tempo real com Node-RED;
- Armazenamento persistente em SQLite;
- Geração de relatórios automáticos;
- Visualização em dashboard web.

### 7.1.2 Trabalhos Futuros

- Migrar a base de dados para **SQL Server**;
- Usar docker para todo o sistema (Mosquitto, Node-RED, UI, DB);
- Adicionar predições com **IA/ML**;
- Criar alertas em tempo real (SMS/Telegram).

# 7.2 Roadmap Completo - Plataforma de Simulação IoT

**Projeto:** Sistema de Simulação IoT sob Demanda
**Objetivo:** API REST que provisiona simuladores MQTT dinamicamente
**Stack Base:** Python + FastAPI + Docker + MQTT
**Duração Total:** 12-16 semanas (3 fases)

---

## 7.2.1 Visão Geral

```
Fase 1 (MVP)          Fase 2 (Kubernetes)     Fase 3 (Produção)
Semanas 1-4           Semanas 5-10            Semanas 11-16
    |                      |                       |
    ├─ API REST            ├─ K8s Client           ├─ CI/CD
    ├─ Docker Local        ├─ Pods Dinâmicos       ├─ Monitoring
    ├─ SQLite              ├─ PostgreSQL           ├─ Auth/Billing
    └─ Demo Funcional      └─ Multi-User           └─ Deploy Cloud
```

**Estado Atual:** Fase 1 - 70% completo (API + Docker + SQLite funcionais)

---

## 7.2.2 FASE 1 - MVP Funcional (4 semanas)

**Objetivo:** Sistema local funcional para demonstração universitária
**Entregáveis:** API REST + Docker + SQLite + Documentação + Demo

#### Semana 1: Core Implementation (ATUAL)

**Status:** 🟡 Em Progresso

##### DIA 1-2: FINALIZAR INTEGRAÇÃO DOCKER

- [x] Pull da imagem `ghcr.io/damascenorafael/mqtt-simulator:sha-a73a2e8`
- [x] API cria containers com config JSON
- [x] Adicionar flag `-f` no comando Docker
- [ ] **Testar:** Container lê config corretamente
- [ ] **Validar:** `docker logs` mostra tópicos configurados

**Código-chave:**

```
container = docker_client.containers.run(
    "ghcr.io/damascenorafael/mqtt-simulator:sha-a73a2e8",
    command=["-f", "/config/settings.json"],
    volumes={config_path: {'bind': '/config/settings.json', 'mode': 'ro'}},
    detach=True,
    remove=True
)
```

##### DIA 3-4: PERSISTÊNCIA SQLITE

- [x] Modelo `Simulation` com SQLAlchemy
- [x] Endpoints CRUD completos
- [ ] **Corrigir:** Health check database "disconnected"
- [ ] **Adicionar:** Campo `expires_at` na tabela
- [ ] **Implementar:** Cleanup de expirados ao startup

**Tasks específicas:**

```
# Recriar BD com novo campo
rm simulations.db
python3 -c "from database import Base, engine; Base.metadata.create_all(bind=engine)"
```

```
# Adicionar ao database.py
expires_at = Column(DateTime, nullable=False)

# Adicionar ao main.py startup
@app.on_event("startup")
async def startup_event():
    cleanup_expired_simulations()
```

#### DIA 5-7: AUTO-STOP E CLEANUP

- [x] Thread para auto-stop após duração
- [ ] **Implementar:** Função `cleanup_expired_simulations()`
- [ ] **Testar:** Criar simulação 2 min → para automaticamente
- [ ] **Testar:** Reiniciar API → containers órfãos limpos
- [ ] **Validar:** BD atualiza status para "expired"

**Checklist de Validação:** - [ ] Container para após `duration_minutes` - [ ] BD atualiza `stopped_at` e `status='expired'` - [ ] Ficheiro config temporário é removido - [ ] Containers órfãos limpos ao reiniciar API

---

### Semana 2: Robustez e Error Handling

#### DIA 8-9: TRATAMENTO DE ERROS

- [ ] Try/catch robusto em todos endpoints
- [ ] Validação Pydantic completa (todos campos obrigatórios)
- [ ] Mensagens de erro descritivas
- [ ] HTTP status codes corretos (404, 422, 500)

**Endpoints a revisar:**

```
# POST /simulations
- 422: Config JSON inválido
- 404: Docker image não encontrada
- 500: Erro ao criar container

# GET /simulations/{id}
- 404: Simulação não existe
- 200: Retorna logs mesmo se container parou

# DELETE /simulations/{id}
- 404: Simulação não existe
- 400: Simulação já parada
- 204: Sucesso
```

#### DIA 10-11: FEATURES ADICIONAIS

- [ ] Endpoint `GET /simulations?status=running&limit=20`
- [ ] Endpoint `GET /stats` (total, running, stopped, expired)
- [ ] Endpoint `GET /simulations/{id}/logs` (últimas 100 linhas)
- [ ] Response models Pydantic para todos endpoints

**Código exemplo:**

```
@app.get("/simulations", response_model=List[SimulationListItem])
async def list_simulations(
    status: Optional[str] = None,
    limit: int = Query(default=20, ge=1, le=100),
    offset: int = Query(default=0, ge=0),
    db: Session = Depends(get_db)
):
    query = db.query(Simulation)

    if status:
        query = query.filter(Simulation.status == status)

    total = query.count()
    sims = query.order_by(Simulation.created_at.desc()).offset(offset).limit(limit).all()

    return {
```

```
        "total": total,
        "limit": limit,
        "offset": offset,
        "simulations": [...]
    }
```

#### DIA 12-14: TESTES MANUAIS COMPLETOS

- [ ] Criar 5 configs JSON diferentes (single, multiple, list topics)
- [ ] Testar cada endpoint com Postman/curl
- [ ] Stress test: criar 10 simulações simultâneas
- [ ] Load test: criar → parar → criar 50x
- [ ] Verificar memory leaks (containers não limpos)

**Checklist de Testes:**

```
# Test 1: Happy path
curl -X POST http://localhost:8000/simulations -d @config.json
# Verificar: container ativo, BD tem entrada, logs funcionam

# Test 2: Config inválido
curl -X POST http://localhost:8000/simulations -d '{"invalid": true}'
# Verificar: retorna 422 com mensagem clara

# Test 3: Listar e filtrar
curl http://localhost:8000/simulations?status=running
# Verificar: só mostra simulações ativas

# Test 4: Auto-stop
# Criar simulação 1 min, esperar → container deve parar

# Test 5: Cleanup após restart
# Criar 3 simulações, matar API (Ctrl+C), reiniciar
# Verificar: simulações expiradas têm status correto
```

---

### Semana 3: Documentação e Cliente de Teste

#### DIA 15-16: README.MD COMPLETO

- [ ] Secção "Instalação" passo-a-passo
- [ ] Secção "Configuração" (Docker, SQLite)
- [ ] Secção "Uso" com exemplos de curl/Postman
- [ ] Secção "Arquitetura" com diagrama
- [ ] Secção "API Reference" (ou link para Swagger)
- [ ] Screenshots do Swagger UI

**Template README.md:**

````
# IoT Simulator Platform

API REST para criar simuladores IoT sob demanda usando Docker.

## Features
- ✅ Criação dinâmica de simuladores MQTT
- ✅ Configuração JSON flexível
- ✅ Auto-stop após duração especificada
- ✅ Persistência SQLite
- ✅ Cleanup automático de containers órfãos

## Instalação

### Requisitos
- Python 3.11+
- Docker
- pip

### Setup
```bash
git clone <repo>
cd iot-simulator-api
python3 -m venv venv
source venv/bin/activate
pip install -r requirements.txt
````
````

**Executar**

```
uvicorn main:app --reload --port 8000
```

Aceder: http://localhost:8000/docs

## 7.2.3 Uso

**Criar Simulação**

```
curl -X POST http://localhost:8000/simulations \
  -H "Content-Type: application/json" \
  -d '{
    "BROKER_URL": "test.mosquitto.org",
    "BROKER_PORT": 1883,
    "TIME_INTERVAL": 10,
    "duration_minutes": 30,
    "TOPICS": [...]
  }'
```

**Listar Simulações**

```
curl http://localhost:8000/simulations
```

**Ver Logs**

```
curl http://localhost:8000/simulations/{id}/logs
```

## 7.2.4 Arquitetura

```
┌──────────────┐
│   Cliente    │
└──────┬───────┘
       │ POST /simulations
       ▼
┌──────────────────┐
│  FastAPI REST    │
│  :8000           │
└──────┬───────────┘
     │
     ├──► Docker Engine (cria container)
     │
     └──► SQLite (guarda metadata)
```

## 7.2.5 Exemplos de Config

Ver pasta `examples/` para configs prontos: - `factory.json` - Simulação industrial - `agriculture.json` - Sensores agrícolas - `smart-home.json` - Casa inteligente

## 7.2.6 Troubleshooting

**Erro: Database disconnected**

```
rm simulations.db
python3 -c "from database import Base, engine; Base.metadata.create_all(bind=engine)"
```

**Container não para** - Verificar `duration_minutes` foi especificado - Ver logs da API para mensagens "[AUTO-STOP]"

```
#### Dia 17-18: Cliente HTML de Teste
- [ ] HTML básico para conectar a broker MQTT
- [ ] Usar MQTT.js para subscrever tópicos
- [ ] Mostrar mensagens em tempo real
- [ ] Adicionar gráfico Chart.js (opcional)

**Ficheiro `test-client/index.html`:**
```html
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
```
```

```
    <title>IoT Simulator - Test Client</title>
    <script src="https://unpkg.com/mqtt@5.3.5/dist/mqtt.min.js"></script>
    <style>
        body { font-family: Arial; max-width: 800px; margin: 50px auto; }
        input { padding: 10px; width: 300px; }
        button { padding: 10px 20px; }
        #messages {
            border: 1px solid #ccc;
            height: 400px;
            overflow-y: scroll;
            padding: 10px;
            margin-top: 20px;
            font-family: monospace;
        }
        .message { padding: 5px; border-bottom: 1px solid #eee; }
    </style>
</head>
<body>
    <h1>🔌 IoT Simulator Test Client</h1>

    <div>
        <input id="broker" placeholder="Broker (ex: test.mosquitto.org)" value="test.mosquitto.org">
        <input id="topic" placeholder="Topic pattern (ex: fabrica/#)" value="demo/#">
        <button onclick="connect()">Connect</button>
        <button onclick="disconnect()">Disconnect</button>
        <button onclick="clearMessages()">Clear</button>
    </div>

    <div id="status">Disconnected</div>
    <div id="messages"></div>

    <script>
        let client = null;

        function connect() {
            const broker = document.getElementById('broker').value;
            const topic = document.getElementById('topic').value;

            if (client) client.end();

            document.getElementById('status').textContent = 'Connecting...';

            client = mqtt.connect(`ws://${broker}:8080`);

            client.on('connect', () => {
                document.getElementById('status').textContent = '✅ Connected';
                client.subscribe(topic);
                addMessage(`Subscribed to: ${topic}`, 'info');
            });

            client.on('message', (t, payload) => {
                try {
                    const data = JSON.parse(payload.toString());
                    addMessage(`${t}: ${JSON.stringify(data, null, 2)}`, 'data');
                } catch {
                    addMessage(`${t}: ${payload.toString()}`, 'data');
                }
            });

            client.on('error', (err) => {
                document.getElementById('status').textContent = '❌ Error';
                addMessage(`Error: ${err.message}`, 'error');
            });
        }

        function disconnect() {
            if (client) {
                client.end();
                document.getElementById('status').textContent = 'Disconnected';
                addMessage('Disconnected', 'info');
            }
        }

        function clearMessages() {
            document.getElementById('messages').innerHTML = '';
        }

        function addMessage(msg, type) {
            const div = document.createElement('div');
            div.className = `message ${type}`;
            div.textContent = `[${new Date().toLocaleTimeString()}] ${msg}`;
            document.getElementById('messages').appendChild(div);
            div.scrollIntoView();
        }
    </script>
</body>
</html>
```

**DIA 19-21: CONFIGS DE EXEMPLO**

- [ ] `examples/factory.json` - Linha de produção

- [ ] `examples/agriculture.json` - Sensores agrícolas
- [ ] `examples/smart-home.json` - Casa inteligente
- [ ] `examples/fleet.json` - Gestão de frota (GPS)

**Exemplo `examples/factory.json`:**

```
{
  "BROKER_URL": "test.mosquitto.org",
  "BROKER_PORT": 1883,
  "TIME_INTERVAL": 5,
  "duration_minutes": 10,
  "TOPICS": [
    {
      "TYPE": "multiple",
      "PREFIX": "fabrica/maquina",
      "RANGE_START": 1,
      "RANGE_END": 5,
      "DATA": [
        {
          "NAME": "producao_unidades",
          "TYPE": "int",
          "MIN_VALUE": 50,
          "MAX_VALUE": 100,
          "MAX_STEP": 5,
          "INCREASE_PROBABILITY": 0.6,
          "RETAIN_PROBABILITY": 0.7
        },
        {
          "NAME": "temperatura_motor",
          "TYPE": "float",
          "MIN_VALUE": 40.0,
          "MAX_VALUE": 85.0,
          "MAX_STEP": 2.5,
          "INCREASE_PROBABILITY": 0.5,
          "RETAIN_PROBABILITY": 0.8
        },
        {
          "NAME": "defeitos",
          "TYPE": "int",
          "MIN_VALUE": 0,
          "MAX_VALUE": 3,
          "MAX_STEP": 1,
          "INCREASE_PROBABILITY": 0.2,
          "RETAIN_PROBABILITY": 0.95
        }
      ]
    }
  ]
}
```

---

**Semana 4: Apresentação e Demo**

DIA 22-23: SLIDES DE APRESENTAÇÃO

- [ ] Slide 1: Título + Nome + Data
- [ ] Slide 2-3: Problema e Contexto
- [ ] Slide 4: Solução Proposta
- [ ] Slide 5: Arquitetura Técnica
- [ ] Slide 6: Stack Tecnológica
- [ ] Slide 7-8: Demo ao Vivo
- [ ] Slide 9: Features Implementadas
- [ ] Slide 10: Roadmap Futuro (Fase 2-3)
- [ ] Slide 11: Conclusão
- [ ] Slide 12: Q&A

**Template Slides (Markdown → reveal.js):**

```
---
title: Plataforma de Simulação IoT
author: [Teu Nome]
date: 2025
---
```

```
# Plataforma de Simulação IoT
## API REST para Simulação sob Demanda

[Teu Nome]
Projeto ISI - 2024/2025

---

## O Problema

- Desenvolvimento IoT **custa 45.000-500.000 USD**
- Setup de hardware **demora semanas**
- Impossível testar cenários extremos
- Riscos: danificar equipamento caro

**Solução:** Virtualizar sensores

---

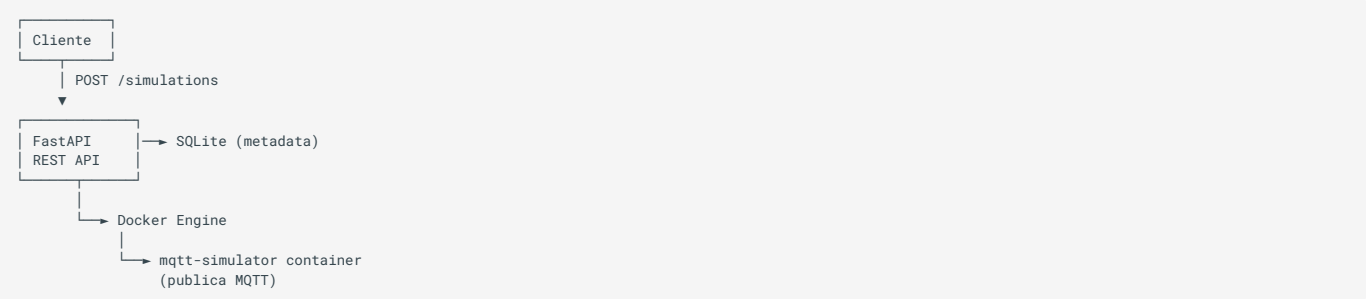
## Solução Proposta

**API REST** que cria **simuladores MQTT** dinamicamente

```bash
POST /simulations + JSON config
↓
Container Docker inicia
↓
Dados MQTT em tempo real
```

**Benefícios:** - Setup em < 1 minuto - Custo: 0 EUR (usa broker público) - Cenários impossíveis no mundo real

## 7.2.7 Arquitetura




## 7.2.8 Stack Tecnológica

**Backend:** - Python 3.11 - FastAPI (API REST) - SQLAlchemy + SQLite - Docker SDK

**Simulador:** - mqtt-simulator (imagem existente) - MQTT protocol - Random walk data generation

**Tools:** - Swagger UI (documentação automática) - Postman (testes)

## 7.2.9 Demo ao Vivo

1. Abrir Swagger UI
2. POST criar simulação (factory.json)
3. Ver container ativo: `docker ps`
4. Ver logs: `docker logs <id>`
5. Abrir cliente HTML
6. Ver dados MQTT em tempo real
7. Simulação para automaticamente
```

### 7.2.10 Features Implementadas

✅ API REST completa (CRUD)
✅ Persistência SQLite
✅ Auto-stop após duração
✅ Cleanup automático
✅ Swagger UI
✅ Tratamento de erros robusto
✅ Cliente de teste HTML
✅ Configs de exemplo prontos

---

### 7.2.11 Roadmap Futuro

**Fase 2 (4-6 semanas):** - Kubernetes para multi-user - PostgreSQL - Isolamento por utilizador

**Fase 3 (8+ semanas):** - Autenticação JWT - Billing e quotas - Monitoring (Prometheus/Grafana) - Deploy cloud (AWS/GCP)

---

### 7.2.12 Conclusão

**Objetivo Alcançado:** - ✅ MVP funcional - ✅ Demonstra conceito - ✅ Código limpo e documentado - ✅ Extensível (roadmap claro)

**Aprendizagens:** - FastAPI + Docker integration - SQLAlchemy ORM - MQTT protocol - Container lifecycle management

---

### 7.2.13 Perguntas?

📧 [teu-email]@example.com
🔗 GitHub: [link-repo]
📄 Documentação: http://localhost:8000/docs

```
#### Dia 24-25: Script e Ensaio de Demo
- [ ] Escrever script palavra-a-palavra (7-10 minutos)
- [ ] Ensaiar 3x sozinho
- [ ] Gravar vídeo backup (se demo falhar)
- [ ] Preparar dados de teste (não improvisar)

**Script de Demo (7 minutos):**
```

[00:00-01:00] Introdução "Bom dia. Hoje vou apresentar uma plataforma de simulação IoT que permite testar aplicações sem hardware físico.

O problema: desenvolver IoT custa entre 45 mil e 500 mil dólares, e demora semanas só para configurar sensores.

A minha solução: API REST que cria simuladores virtuais em segundos."

[01:00-02:00] Mostrar Arquitetura "A arquitetura é simples: FastAPI recebe config JSON, cria container Docker com o simulador, e publica dados via MQTT.

Stack: Python, FastAPI, Docker, SQLite para persistência."

[02:00-05:00] Demo ao Vivo "Vou demonstrar. Aqui está o Swagger UI da API.

1. POST /simulations - vou criar uma simulação de fábrica [Colar factory.json pré-preparado]
2. Executar... sucesso! Retornou simulation_id e container_id.
3. Ver container ativo [terminal: docker ps] Aqui está, nome sim-abc123, a correr.
4. Ver logs [terminal: docker logs sim-abc123] Dados sendo publicados: fabrica/maquina1, maquina2...
5. Abrir cliente HTML [browser] Conectar ao broker... subscribed! Dados chegam em tempo real, aqui temperatura, produção, defeitos.
6. Listar simulações [Swagger GET /simulations] Aparece na base de dados, status running.
7. Esta simulação está configurada para 2 minutos... [esperar ou cortar] ...e para automaticamente.
8. Se reiniciar a API [Ctrl+C, uvicorn main:app] Containers órfãos são limpos ao startup."

[05:00-06:00] Código "Rapidamente o código: main.py tem ~300 linhas. POST /simulations valida JSON com Pydantic, cria container Docker, guarda na BD, agenda auto-stop.

Database.py - modelo SQLAlchemy simples, SQLite para persistência."

[06:00-07:00] Conclusão "Resumindo: sistema funcional que demonstra o conceito. MVP completo com persistência, auto-stop, cleanup.

Próximos passos seriam adicionar Kubernetes para multi-user, autenticação, billing.

Mas para esta fase, objetivo alcançado: API REST que cria simuladores sob demanda. Obrigado."

```
#### Dia 26-28: Buffer e Polimento Final
- [ ] Corrigir bugs encontrados durante ensaios
- [ ] Melhorar mensagens de erro
- [ ] Adicionar logs mais descritivos
- [ ] Verificar todos requirements.txt
- [ ] Limpar código commented out
- [ ] Formatar código (black, autopep8)

**Checklist Pré-Apresentação:**
```bash
# Código
- [ ] Sem erros ao iniciar: uvicorn main:app
- [ ] Swagger abre: http://localhost:8000/docs
- [ ] Health check OK: curl http://localhost:8000/health
- [ ] Criar simulação funciona com factory.json
- [ ] Cliente HTML conecta e mostra dados

# Documentação
- [ ] README.md completo e sem typos
- [ ] Comentários em funções críticas
- [ ] requirements.txt atualizado

# Demo
- [ ] factory.json testado e funciona
- [ ] Cliente HTML funciona em browser fresh
- [ ] Script impresso ou em tablet
- [ ] Vídeo backup gravado e testado
- [ ] Slides exportados em PDF

# Contingência
- [ ] Laptop carregado
- [ ] Segundo laptop disponível
- [ ] Internet backup (hotspot telemóvel)
- [ ] Docker images pré-downloaded
```

---

## 7.2.14 🎓 MARCO: Apresentação Fase 1

**Entregáveis Mínimos:** - ✅ Código fonte funcionando - ✅ README.md - ✅ Slides apresentação - ✅ Demo ao vivo (ou vídeo backup)

**Critérios de Sucesso:** - API cria simulações com config JSON - Containers Docker iniciam e publicam MQTT - Auto-stop funciona - Persistência SQLite funciona - Cleanup de órfãos funciona ao reiniciar

---
```

## 7.2.15 FASE 2 - Kubernetes Multi-User (6 semanas)

**Objetivo:** Migrar para Kubernetes, suportar múltiplos utilizadores
**Pré-requisitos:** Fase 1 100% funcional, conhecimento básico K8s

### Semana 5-6: Setup Kubernetes

#### APRENDER KUBERNETES BÁSICO

- [ ] Curso online (2-3 dias): Kubernetes for Beginners
- [ ] Conceitos: Pods, Deployments, Services, Namespaces
- [ ] kubectl comandos básicos
- [ ] Instalar minikube ou kind para testes locais

**Recursos:** - Kubernetes.io tutorials - "Kubernetes Up & Running" (livro) - KodeKloud free tier

#### SETUP CLUSTER LOCAL

- [ ] Instalar minikube: `brew install minikube`
- [ ] Iniciar cluster: `minikube start`
- [ ] Testar: `kubectl get nodes`
- [ ] Criar namespace: `kubectl create namespace simulations`

#### KUBERNETES PYTHON CLIENT

- [ ] Instalar: `pip install kubernetes`
- [ ] Testar conexão:

```
from kubernetes import client, config
config.load_kube_config()
v1 = client.CoreV1Api()
print(v1.list_pod_for_all_namespaces())
```

### Semana 7-8: Migrar Docker → Kubernetes

#### CRIAR PODS DINAMICAMENTE

- [ ] Refactor `create_simulation()` para usar K8s API
- [ ] Criar Pod spec para simulador
- [ ] Montar ConfigMap com JSON config
- [ ] Testar criação de Pod

**Código-chave:**

```
from kubernetes import client, config

config.load_kube_config()
k8s = client.CoreV1Api()

def create_simulator_pod(sim_id: str, config_json: dict):
    # Criar ConfigMap
    configmap = client.V1ConfigMap(
        metadata=client.V1ObjectMeta(name=f"config-{sim_id}"),
        data={"settings.json": json.dumps(config_json)}
    )
    k8s.create_namespaced_config_map("simulations", configmap)

    # Criar Pod
    pod = client.V1Pod(
        metadata=client.V1ObjectMeta(name=f"sim-{sim_id}"),
        spec=client.V1PodSpec(
            containers=[
                client.V1Container(
                    name="simulator",
                    image="ghcr.io/damascenorafael/mqtt-simulator:sha-a73a2e8",
                    command=["-f", "/config/settings.json"],
                    volume_mounts=[
                        client.V1VolumeMount(
```

```
                            name="config",
                            mount_path="/config"
                        )
                    ]
                )
            ],
            volumes=[
                client.V1Volume(
                    name="config",
                    config_map=client.V1ConfigMapVolumeSource(
                        name=f"config-{sim_id}"
                    )
                )
            ],
            restart_policy="Never"
        )
    )

    k8s.create_namespaced_pod("simulations", pod)
    return f"sim-{sim_id}"
```

#### EXPOR PODS VIA SERVICE

- [ ] Criar Service para acesso externo
- [ ] Testar acesso MQTT via NodePort
- [ ] Documentar endpoint para utilizadores

#### CLEANUP EM KUBERNETES

- [ ] Implementar `delete_pod()` com K8s API
- [ ] Adicionar `activeDeadlineSeconds` aos Pods
- [ ] CronJob para limpar Pods expirados

### Semana 9-10: PostgreSQL e Multi-User

#### MIGRAR SQLITE → POSTGRESQL

- [ ] Instalar PostgreSQL (Docker ou managed)
- [ ] Migração schema (manual ou Alembic)
- [ ] Atualizar connection string
- [ ] Testar CRUD operations

**Migration script:**

```
# migrate_to_postgres.py
import sqlite3
import psycopg2

# Ler de SQLite
sqlite_conn = sqlite3.connect('simulations.db')
sqlite_cursor = sqlite_conn.cursor()
rows = sqlite_cursor.execute("SELECT * FROM simulations").fetchall()

# Escrever em PostgreSQL
pg_conn = psycopg2.connect("postgresql://user:pass@localhost/iotsim")
pg_cursor = pg_conn.cursor()

for row in rows:
    pg_cursor.execute(
        "INSERT INTO simulations (...) VALUES (...)",
        row
    )

pg_conn.commit()
```

#### ADICIONAR UTILIZADORES

- [ ] Tabela `users` (id, email, password_hash)
- [ ] Endpoint POST /auth/register
- [ ] Endpoint POST /auth/login (retorna JWT)
- [ ] Middleware para verificar JWT
- [ ] Filtrar simulações por user_id

**Modelo User:**

```
class User(Base):
    __tablename__ = "users"

    id = Column(Integer, primary_key=True)
    email = Column(String, unique=True, nullable=False)
    password_hash = Column(String, nullable=False)
    created_at = Column(DateTime, default=datetime.utcnow)

    simulations = relationship("Simulation", back_populates="user")

class Simulation(Base):
    # ... campos existentes ...
    user_id = Column(Integer, ForeignKey("users.id"), nullable=False)
    user = relationship("User", back_populates="simulations")
```

RATE LIMITING

- [ ] Instalar Redis
- [ ] Implementar rate limiter (5 simulações/hora/user)
- [ ] Middleware para verificar limites
- [ ] Retornar 429 Too Many Requests

---

## 7.2.16 FASE 3 - Production Ready (6 semanas)

**Objetivo:** Sistema pronto para deploy real
**Pré-requisitos:** Fase 2 funcional, cluster K8s real

**Semana 11-12: Autenticação e Segurança**

JWT COMPLETO

- [ ] Refresh tokens
- [ ] Logout (blacklist tokens)
- [ ] Password reset flow
- [ ] Email verification (opcional)

RBAC KUBERNETES

- [ ] ServiceAccount para API
- [ ] Role com permissões mínimas
- [ ] RoleBinding
- [ ] Testar permissões

SECRETS MANAGEMENT

- [ ] Kubernetes Secrets para DB password
- [ ] Secrets para JWT secret key
- [ ] Não commitar secrets no Git

**Semana 13-14: Monitoring e Observability**

PROMETHEUS

- [ ] Instalar Prometheus no cluster
- [ ] Adicionar metrics na API (prometheus_client)
- [ ] Dashboards Grafana básicos

**Métricas importantes:**

```
from prometheus_client import Counter, Histogram

simulations_created = Counter('simulations_created_total', 'Total sims')
simulation_duration = Histogram('simulation_duration_seconds', 'Duration')
pods_active = Gauge('pods_active', 'Active pods')
```

LOGGING

- [ ] Structured logging (JSON)
- [ ] Loki para agregação logs
- [ ] Queries úteis em Grafana

**Semana 15-16: CI/CD e Deploy**

GITHUB ACTIONS

- [ ] Pipeline: test → build → push image
- [ ] Deploy automático ao push main
- [ ] Rollback automático se falhar

**Exemplo `.github/workflows/deploy.yml`:**

```
name: Deploy

on:
  push:
    branches: [main]

jobs:
  deploy:
    runs-on: ubuntu-latest
    steps:
    - uses: actions/checkout@v3

    - name: Build Docker image
      run: docker build -t iotsim-api:${{ github.sha }} .

    - name: Push to registry
      run: docker push iotsim-api:${{ github.sha }}

    - name: Deploy to K8s
      run: |
        kubectl set image deployment/iotsim-api \
          api=iotsim-api:${{ github.sha }}
```

DEPLOY CLOUD

- [ ] Escolher provider (DigitalOcean, Linode, AWS)
- [ ] Criar cluster managed Kubernetes
- [ ] Configurar DNS
- [ ] SSL/TLS (Let's Encrypt)

---

## 7.2.17 Milestones e Entregáveis

**Milestone 1: MVP Demo (Semana 4)**

**Entregáveis:** - Código fonte completo - README.md - API funcionando localmente - Demo gravada (backup) - Slides apresentação

**Critérios de Sucesso:** - [ ] API cria simulações - [ ] Auto-stop funciona - [ ] Persistência funciona - [ ] Demo de 7 min ensaiada

---

**Milestone 2: Kubernetes Working (Semana 10)**

**Entregáveis:** - Código migrado para K8s - Manifests YAML - PostgreSQL funcional - Multi-user básico

**Critérios de Sucesso:** - [ ] Pods criados dinamicamente - [ ] Múltiplos users isolados - [ ] Rate limiting funciona - [ ] Documentação atualizada

---

**Milestone 3: Production Deploy (Semana 16)**

**Entregáveis:** - Sistema deployed em cloud - CI/CD funcional - Monitoring setup - Documentação completa

**Critérios de Sucesso:** - [ ] API acessível publicamente - [ ] SSL/TLS configurado - [ ] Logs e métricas visíveis - [ ] Zero-downtime deploys

---

## 7.2.18 Checklists de Validação

**Checklist Fase 1 (antes de apresentar)**

```
Funcionalidade:
- [ ] POST /simulations cria container Docker
- [ ] GET /simulations lista todas
- [ ] GET /simulations/{id} mostra detalhes + logs
- [ ] DELETE /simulations/{id} para container
- [ ] Container para após duration_minutes
- [ ] Containers órfãos limpos ao reiniciar API

Base de Dados:
- [ ] Simulações persistem após restart
- [ ] Status atualiza corretamente (running→expired→stopped)
- [ ] expires_at calculado e usado
- [ ] Ficheiros config temporários limpos

Qualidade:
- [ ] Erros retornam HTTP status corretos
- [ ] Swagger UI funciona e está completo
- [ ] Código sem warnings/erros
- [ ] README.md completo

Demo:
- [ ] factory.json funciona
- [ ] Cliente HTML conecta e mostra dados
- [ ] Script de 7 min ensaiado 3x
- [ ] Vídeo backup gravado
```

**Checklist Fase 2 (antes de migrar para Fase 3)**

```
Kubernetes:
- [ ] Pods criados dinamicamente via K8s API
- [ ] ConfigMaps montados corretamente
- [ ] Pods param após activeDeadlineSeconds
- [ ] CronJob limpa Pods expirados

Multi-User:
- [ ] PostgreSQL substituiu SQLite
- [ ] Tabela users existe e funciona
- [ ] JWT authentication funciona
- [ ] Users só vêem suas simulações
- [ ] Rate limiting por user funciona

Robustez:
- [ ] RBAC K8s configurado
- [ ] Secrets geridos corretamente
- [ ] Error handling robusto
- [ ] Documentação atualizada
```

**Checklist Fase 3 (antes de considerar "pronto")**

```
Produção:
- [ ] Deploy em cloud pública
- [ ] DNS configurado
- [ ] SSL/TLS ativo
- [ ] Logs agregados (Loki/ELK)
- [ ] Métricas visíveis (Grafana)
- [ ] Alertas configurados

DevOps:
- [ ] CI/CD funcional
- [ ] Testes automatizados
- [ ] Rollback funciona
- [ ] Backups database automáticos

Segurança:
- [ ] Secrets não no Git
```

```
- [ ] RBAC mínimo necessário
- [ ] Network policies configuradas
- [ ] Security scan passou
```

## 7.2.19 📈 Métricas de Sucesso

**Fase 1 (MVP)**

- **Funcionalidade:** 100% dos endpoints funcionam
- **Performance:** API responde < 200ms (P95)
- **Confiabilidade:** 0 crashes durante demo
- **Documentação:** README completo + comentários

**Fase 2 (Kubernetes)**

- **Escalabilidade:** Suporta 10+ utilizadores simultâneos
- **Isolamento:** Users não vêem simulações de outros
- **Performance:** 50+ pods criados sem degradação
- **Confiabilidade:** Cleanup 100% eficaz

**Fase 3 (Produção)**

- **Uptime:** 99%+ SLA
- **Deploy:** < 5 min do commit ao prod
- **Observability:** Logs e métricas 100% cobertura
- **Segurança:** 0 vulnerabilidades críticas

## 7.2.20 Próximos Passos Imediatos (Esta Semana)

**Segunda-feira**

- [ ] Corrigir health check database
- [ ] Adicionar campo expires_at
- [ ] Implementar cleanup_expired_simulations()
- [ ] Testar: criar simulação 2 min → para sozinha

**Terça-feira**

- [ ] Testar: reiniciar API → órfãos limpos
- [ ] Adicionar filtros GET /simulations?status=running
- [ ] Adicionar GET /stats

**Quarta-feira**

- [ ] Começar README.md
- [ ] Criar factory.json de exemplo
- [ ] Testar todos endpoints com Postman

**Quinta-feira**

- [ ] Cliente HTML básico
- [ ] Testar cliente com simulação real
- [ ] Começar slides apresentação

**Sexta-feira**

- [ ] Finalizar slides
- [ ] Ensaiar demo 1x
- [ ] Identificar gaps/bugs

---

## 7.2.21 Recursos Úteis

**Documentação Oficial**

- FastAPI: https://fastapi.tiangolo.com
- Docker SDK: https://docker-py.readthedocs.io
- SQLAlchemy: https://docs.sqlalchemy.org
- Kubernetes Python: https://github.com/kubernetes-client/python

**Tutoriais**

- FastAPI + Docker: https://testdriven.io/blog/fastapi-docker/
- Kubernetes Basics: https://kubernetes.io/docs/tutorials/
- MQTT.js: https://github.com/mqttjs/MQTT.js

**Tools**

- Postman: Testar API
- Swagger UI: Documentação automática
- Docker Desktop: Gerir containers
- minikube: Kubernetes local

---

## 7.2.22 Conclusão

Este roadmap cobre **12-16 semanas** de desenvolvimento estruturado em 3 fases:

1. **Fase 1 (4 semanas):** MVP funcional para apresentação universitária ← **FOCO ATUAL**
2. **Fase 2 (6 semanas):** Kubernetes + multi-user
3. **Fase 3 (6 semanas):** Produção com CI/CD, monitoring

**Recomendação:** Completar Fase 1 perfeitamente antes de pensar em Fase 2. Um MVP bem executado vale mais que features incompletas.

**Próxima Ação:** Seguir checklist "Próximos Passos Imediatos" acima.