



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia



THE
NAVIGATOR
C O M P A N Y

Aquisição de Dados para Análise de Performance em Máquina Industrial

João António Gonçalves Filipe nº 20191271

Orientador

Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres

Co-orientador

Joao Filipe Serra Matos – *The Navigator Company*

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Setembro 2024

Composição do júri

Presidente do júri

Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Arguentes

Professor Doutor Armando Lopes Ramalho
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Professor Doutor Paulo Jorge Sequeira Gonçalves
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Resumo

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar uma solução de um sistema SCADA para uma rebobinadora de papel *tissue* da empresa *The Navigator Company*, utilizando as tecnologias *Node-RED* e *InfluxDB*. O sistema foi projetado para monitorizar e visualizar dados em tempo real, tanto localmente quanto remotamente, proporcionando uma ferramenta eficaz para operadores e gestores. A solução permite o acompanhamento dos principais parâmetros de operação da máquina, promovendo uma maior eficiência no processo produtivo.

A implementação deste sistema não só digitaliza os processos de monitorização, alinhando-se com os princípios da Indústria 4.0, como também serve de base para futuras expansões, incluindo a possibilidade de desenvolvimento de soluções de manutenção preditiva. O sucesso do projeto na rebobinadora abre portas para a replicação desta tecnologia em outras máquinas da fábrica, permitindo uma modernização mais abrangente do sistema de supervisão e controlo do espaço fabril.

Esta solução foi devidamente testada e está em pleno funcionamento, demonstrando a sua relevância para a melhoria contínua dos processos produtivos da *The Navigator Company*.

Palavras chave

InfluxDB, Dashboard, Node-Red, SCADA, Industria 4.0

Abstract

This project aimed to develop and implement a SCADA supervision solution for a paper rewinder machine at The Navigator Company, using Node-RED and InfluxDB technologies. The system was designed to monitor and visualize real-time data, both locally and remotely, providing an effective tool for operators and managers. It enables the monitoring of key machine operation parameters, enhancing the overall efficiency of the production process.

This implementation not only digitizes monitoring processes, aligning with Industry 4.0 principles, but also lays the groundwork for future expansions, including the potential development of predictive maintenance solutions. The project's success on the rewinder machine paves the way for replicating this technology across other machines in the factory, promoting broader modernization of the supervision and control systems.

The solution has been thoroughly tested and is fully operational, demonstrating its value in contributing to the continuous improvement of The Navigator Company's production processes.

Keywords

InfluxDB, Dashboard, Node-Red, SCADA, Industry 4.0

Índice

1. Introdução	1
1.1. Descrição da Empresa.....	2
1.2. Objetivos do Estágio/Projeto	3
2. Fundamentação Teórica.....	5
2.1. Aquisição de Dados em Ambiente Industrial	5
2.1.1. Controlador Lógico Programável – PLC	5
2.2. Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).....	10
2.2.1. Integração com PLCs e HMIs.....	11
2.2.2. Ferramentas utilizadas na implementação do sistema SCADA do trabalho	12
2.3. Princípio de Funcionamento de 1 Rebobinadora	13
2.4. Revisão da Literatura	14
3. Desenvolvimento do Estágio	17
3.1. Análise de resultados à solução alcançada.....	20
4. Conclusões	23
4.1 Propostas de Trabalho Futuro	23
Referências.....	25

Índice de figuras

Figura 1 – PLC SIEMENS S7-300, CPU da rebobinadora.	5
Figura 2 – Comparação entre os modelos de comunicação OSI e TCP/IP. Extraído de [4].	9
Figura 3 – Arquitetura genérica de um sistema SCADA.....	11
Figura 4 Janela de edição de fluxos do Node-RED	12
Figura 5 – aspeto gráfico da apresentação dos dados em Node-RED, proveniente do InfluxDB.	13
Figura 6 – Ilustração de uma Rebobinadora de papel.....	14
Figura 7 – Diagrama Geral da solução implementada.....	17
Figura 8- Fluxo dos dados no sistema implementado.....	18
Figura 9 – aspecto gráfico da Base de Dados InfluxDB.....	19
Figura 10 – Painel de visualização dos dados – Dashboard.	20

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características do PLC SIEMENS S7-300.	6
Tabela 2 – Lista de variáveis de monitorização do estado da máquina – Rebobinadora.....	19

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

I/O – *Input/Output Modules* - Módulos de Entrada/Saída

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*

LAD - Ladder

ST - *Structured Text* - Texto Estruturado

FBD – *Functional Block Diagram*-Diagrama de Blocos Funcionais

IL – *Instruction List* - Lista de Instruções

SFC – *Sequential Function Chart*

TCP/IP - *Transmission Control Protocol* – Protocolo de Controle de Transmissão / Internet Protocol

PLC - *Programmable Logic Controller* – Controlador Lógico Programável

CLP - Controlador Lógico Programável

CPU - *Central Process Unit* – Unidade de Processamento Central

HMI - *Human Machine Interface* - Interface Homem Máquina

1. Introdução

Na era da Indústria 4.0, a digitalização na indústria tornou-se crucial para enfrentar desafios e aproveitar oportunidades. As principais necessidades incluem a integração de sistemas e dados para melhorar a eficiência e apoiar a realização de decisões, a automação avançada para controlar processos de forma inteligente e adaptável, e a capacidade de produzir de maneira flexível para atender a pedidos variáveis e personalizados. Além disso, a digitalização visa promover práticas sustentáveis, como otimização energética e redução de desperdícios, e implementar estratégias de manutenção preditiva para minimizar o tempo de inatividade não planejado. A segurança cibernética é essencial para proteger sistemas críticos contra ameaças digitais, enquanto a capacitação dos trabalhadores é fundamental para operar e inovar em ambientes tecnologicamente avançados. A análise de dados desempenha um papel crucial, fornecendo *insights* valiosos através de *big data* e inteligência artificial, facilitando decisões informadas e melhorias contínuas. Por fim, a adoção de novas tecnologias, como a realidade aumentada e o *blockchain*, estimula a inovação e aumenta a transparência em toda a cadeia de valor industrial, apoiando a transformação digital integral do setor.

A digitalização do espaço fabril tem sido um foco estratégico para a empresa *The Navigator Company*, visando a otimização dos processos produtivos, a melhoria contínua da eficiência operacional e a garantia de alta qualidade dos produtos. Neste contexto, o estágio tem como objetivo específico o desenvolvimento de um sistema de supervisão e análise de dados adquiridos numa máquina industrial de papel, através do seu controlador principal (PLC). Este sistema visa não apenas a monitorização em tempo real, mas também o armazenamento de dados, permitindo posteriormente a identificação de padrões, previsões de manutenção e suporte à tomada de decisão.

Desenvolveu-se uma ferramenta de aquisição de dados em tempo real para uma máquina industrial, com o objetivo de validar a solução que será posteriormente replicada noutras máquinas do espaço fabril. O sistema dispõe de uma Interface Homem-Máquina (HMI) para uma visualização intuitiva dos dados do processo e uma base de dados para o seu armazenamento contínuo. Esta solução facilita o acesso ao histórico da máquina, habilitando a análise de dados e a otimização das máquinas, além de ser uma mais-valia no âmbito da manutenção preditiva.

Trata-se de uma primeira intervenção de um objetivo maior por parte da empresa que passa pela digitalização de todos os processos da fábrica, abrindo caminho para a implementação de soluções de *Machine Learning* para análise de dados e implementação de soluções de alertas automáticos no contexto da manutenção preditiva.

A restante parte do relatório está organizado da seguinte forma: Na secção 1.1 do presente capítulo é apresentada uma breve descrição da empresa de acolhimento e a secção 1.2 apresenta os objetivos do estágio. O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, o capítulo 3 apresenta a implementação realizada e o capítulo 4 descreve as conclusões e propostas de trabalho futuro.

1.1. Descrição da Empresa

A empresa *The Navigator Company* [1] dedica-se ao fabrico e comercialização de papel em Portugal. São proprietários de uma grande área florestal e são mundialmente conhecidos pelo seu produto para as impressoras *Navigator*.

A *The Navigator Company* diversificou a sua atividade para a área do *tissue*, papel de baixa gramagem utilizado por exemplo em rolos de cozinha e papel higiénico, tendo adquirido em 2015 a fábrica AMS BR Star S.A., em Vila Velha de Ródão. Em 2018 deu início às operações na fábrica de papel *tissue* em Cacia, tornando a *The Navigator Company* no segundo *player* ibérico neste segmento.

Esta é a fábrica de *tissue* mais eficiente da Península Ibérica e a segunda na Europa, ligada por pipeline ao produtor de pasta de papel, facto que se traduz na redução dos impactos ambientais e em ganhos de economia e eficácia do processo.

Esta é uma fábrica projetada em *Greenfield* (construída de raiz), que integra linhas de transformação e duas modernas e sofisticadas máquinas de produção de papel *Tissue*, construídas em 2009 e 2015, respetivamente, com uma capacidade produtiva comum de 60.000 toneladas.

Empresa/Instituição: *The Navigator Company* Vila Velha de Rodão.

Setor/Departamento do Estágio: Transformação.

Localização: Estrada Nacional 241, Zona Industrial, 6030-245 Vila Velha de Rodão

1.2. Objetivos do Estágio/Projeto

O Estágio tem como objetivos desenvolver um sistema de supervisão para uma máquina industrial de papel denominada de rebobinadora. A empresa espera que sejam aplicadas ferramentas atuais, alinhadas com as tendências da Indústria 4.0, que permitam não só fazer um upgrade à máquina identificada, mas também ter uma base de trabalho que possa ser replicada no espaço fabril.

Atualmente, existe um acesso limitado aos parâmetros operacionais da máquina, como velocidades, diâmetro das bobines e tensão de papel. Estes parâmetros estão acessíveis apenas, localmente, através do controlador da máquina, PLC, onde o operador realiza os ajustes necessários. Este projeto visa melhorar a monitorização e o controlo da máquina através da recolha remota de dados do PLC e armazenamento numa base de dados. A solução de armazenamento passa por uma implementação em *InfluxDB*. A partir daí, os dados podem ser visualizados em *dashboards* locais e remotas, proporcionando uma visão detalhada e em tempo real dos parâmetros operacionais.

O sistema de supervisão faz a aquisição e armazenamento dos dados, como velocidades, tempos de operação e outros parâmetros ajustáveis pelo operador. Esta informação será recolhida de forma contínua e armazenada no *InfluxDB*, uma base de dados otimizada para o armazenamento e consulta de séries temporais, o que facilita a análise de dados históricos e a monitorização de tendências ao longo do tempo.

A *dashboard* está projetada para mostrar os dados de forma clara e intuitiva, permitindo aos operadores e gestores visualizar rapidamente o desempenho da máquina, identificar possíveis problemas e tomar decisões informadas para otimizar a operação. Este projeto não só melhora a capacidade de supervisão e controlo da rebobinadora, mas também contribui para a eficiência operacional e a manutenção preventiva, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a produtividade global.

2. Fundamentação Teórica

Este capítulo foca-se na apresentação da fundamentação teórica de suporte ao trabalho desenvolvido, bem como a descrição dos tópicos relevantes ao entendimento do trabalho.

2.1. Aquisição de Dados em Ambiente Industrial

A aquisição de dados na indústria desempenha um papel crucial na modernização dos processos produtivos e na evolução da automação industrial em linha com o que é a Indústria 4.0. Trata-se do processo de armazenar informações relevantes dos sistemas, máquinas e dispositivos presentes no ambiente industrial, com o objetivo de monitorizar, analisar e otimizar operações, melhorar a eficiência, qualidade e tomar decisões com base em dados.

2.1.1. Controlador Lógico Programável – PLC

Os PLCs são amplamente utilizados na automação industrial devido à sua confiabilidade, flexibilidade e capacidade de integração em sistemas complexos. A máquina de estudo de caso é controlada através de um PLC SIEMENS S7-300, à semelhança da maioria das máquinas do espaço fabril da fábrica. A Figura 1, mostra o PLC usado e na Tabela 1 estão apresentadas as suas características.

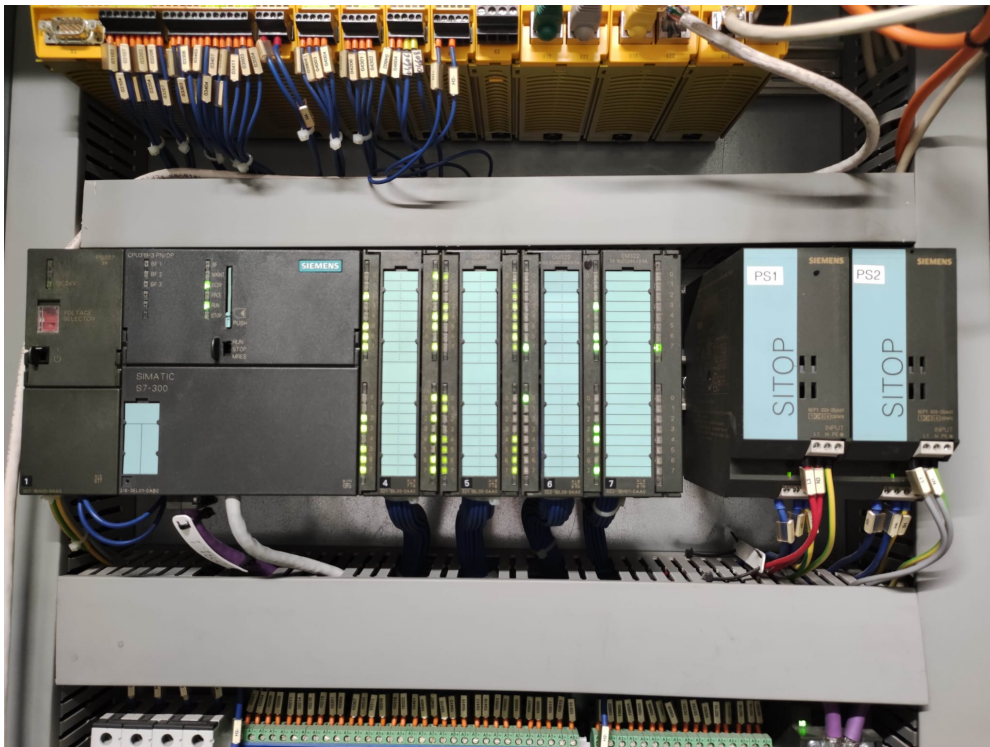


Figura 1 – PLC SIEMENS S7-300, CPU da rebobinadora.

Características do PLC SIEMENS S7-300:

- Definições gerais de arquitetura de Hardware

Tabela 1 – Características do PLC SIEMENS S7-300.

Características	Descrição
Modelo	6ES7317-2AJ10-0AB0 (S7-300 CPU 317-2 DP)
Processador	CPU 317-2 DP
Tipo de Interface	MPI (Multi Point Interface), Profibus DP (2 portas)
Memória de Trabalho (RAM)	256 KB
Memória de Carga	1 MB
Memória Retentiva	64 KB
Tempo de Ciclo de Processamento	50 ns por operação binária
Comunicação	Suporta MPI, Profibus DP, programação via STEP 7
Entradas/Saídas Digitais	Dependente de módulos de expansão
Tensão de Alimentação	24 V DC
Número de Contadores Rápidos	Até 512 contadores (dependendo da configuração)
Temporizadores	Até 2048 temporizadores
Módulos de Expansão	Suporta múltiplos módulos de E/S e comunicação
Funções Integradas	Diagnóstico, contagem, medição, regulação, controle PID
Temperatura de Operação	0 a +60°C
Montagem	Trilho DIN
Programação	Utiliza o software SIMATIC STEP 7

- Software de Programação

Os PLCs atuais da SIEMENS são programados através do software TIA Portal [2]. O TIA Portal é uma plataforma integrada que permite não só a programação do PLC, mas de todo o universo de dispositivos de automação SIEMENS, como HMIs, servodrivers, entre outros, bem como lidar com uma grande variedade de protocolos de comunicação. Permite a programação em linguagens padrão IEC 61131-3 [3], como Ladder (LAD), Texto Estruturado (ST), Diagrama de Blocos Funcionais (FBD), Lista de Instruções (IL) e Grafset Sequencial (SFC).

- Ciclo de Programa

O ciclo de programa do PLC corresponde à sequência de operações que executa continuamente para monitorizar entradas, processar a lógica de controlo, atualizar saídas e realizar outras tarefas associadas à automação da máquina ou equipamento que controla.

Em resumo, segue as seguintes etapas:

1. Leitura das Entradas:

- O PLC lê o estado de todas as suas entradas digitais e analógicas. Os sinais são armazenados numa memória de entrada, usada durante o ciclo de execução do programa;

2. Execução do Programa:

- Após ler as entradas, o PLC executa o programa (escrito em qualquer linguagem especificada pela norma IEC 61131-3);
- O programa processa os sinais de entrada, aplica a lógica de controlo e determina os estados das saídas;
- Nesta fase, o PLC também pode interagir com módulos de comunicação, realizar cálculos, monitorizar temporizadores, contadores, e gerir bases de dados;

3. Atualização das Saídas:

- Com base nos resultados da execução do programa, o PLC atualiza o estado das saídas, digitais e/ou analógicas. Isso controla os atuadores externos ligados ao PLC, como motores, válvulas, etc;

4. Tarefas de Comunicação e Diagnóstico:

- Entre os ciclos, o PLC pode realizar tarefas de comunicação com outros dispositivos (como HMIs, outros PLCs, sistemas SCADA) e diagnosticar o próprio sistema para verificar se há falhas ou erros.

O ciclo de programa repete-se indefinidamente, assegurando que o PLC responda continuamente às mudanças de estado das entradas e que a lógica de controlo seja aplicada em tempo real.

- Comunicação e Rede

Os autômatos podem comunicar em diferentes protocolos, depende sempre do objeto a que se destina a comunicação, local, remota, ritmo de transmissão, etc. Neste trabalho é necessária comunicação entre o PLC controlador da máquina e uma interface gráfica de monitorização remota, pelo que a escolha incidu sobre o uso do protocolo TCP/IP.

O TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) é o protocolo de comunicação utilizado pela Internet, garante a entrega de dados, está disponível para comunicação no PLC usado, pelo que foi a escolha para a transferência confiável de dados entre o PLC e a *Dashboard*. O protocolo é definido hierarquicamente em 4 camadas, tal como ilustrado na Figura 2. Está alinhado com o modelo, “Teórico”, de comunicação OSI, utilizado para entender a forma como as redes comunicam.

Funções de cada camada:

• Camada de Acesso à Rede:

- **Função:** Responsável pela interface entre o dispositivo e a rede física. Trata do envio de dados sobre o meio físico (cabo, fibra ótica, wireless), incluindo o acesso ao hardware de rede (como Ethernet) e a conversão de dados em sinais elétricos ou óticos.
- **Protocolos Comuns:** Ethernet, Wi-Fi (802.11).

• Camada de Internet:

- **Função:** Responsável pelo endereçamento dos pacotes de dados. Define o esquema de endereçamento (endereços IP) e garante que os pacotes são encaminhados de forma eficiente entre redes.
- **Protocolos Comuns:** IP (*Internet Protocol*), ICMP (*Internet Control Message Protocol*), IGMP (*Internet Group Management Protocol*).

• Camada de Transporte:

- **Função:** Garante a comunicação confiável e o controlo de fluxo entre dispositivos. Pode fornecer controlo de erros e retransmissão de pacotes perdidos (no caso do TCP) ou comunicação mais rápida e sem ligação (no caso do UDP).
- **Protocolos Comuns:** TCP (*Transmission Control Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*).

- **Camada de Aplicação:**

- **Função:** Fornece serviços de rede diretamente às aplicações do utilizador. Esta camada envolve protocolos de aplicação que permitem a comunicação entre programas e serviços de rede, como navegação na web, envio de e-mails, transferência de ficheiros, etc.
- **Protocolos Comuns:** HTTP, HTTPS, FTP, SMTP, DNS, SNMP, Telnet.

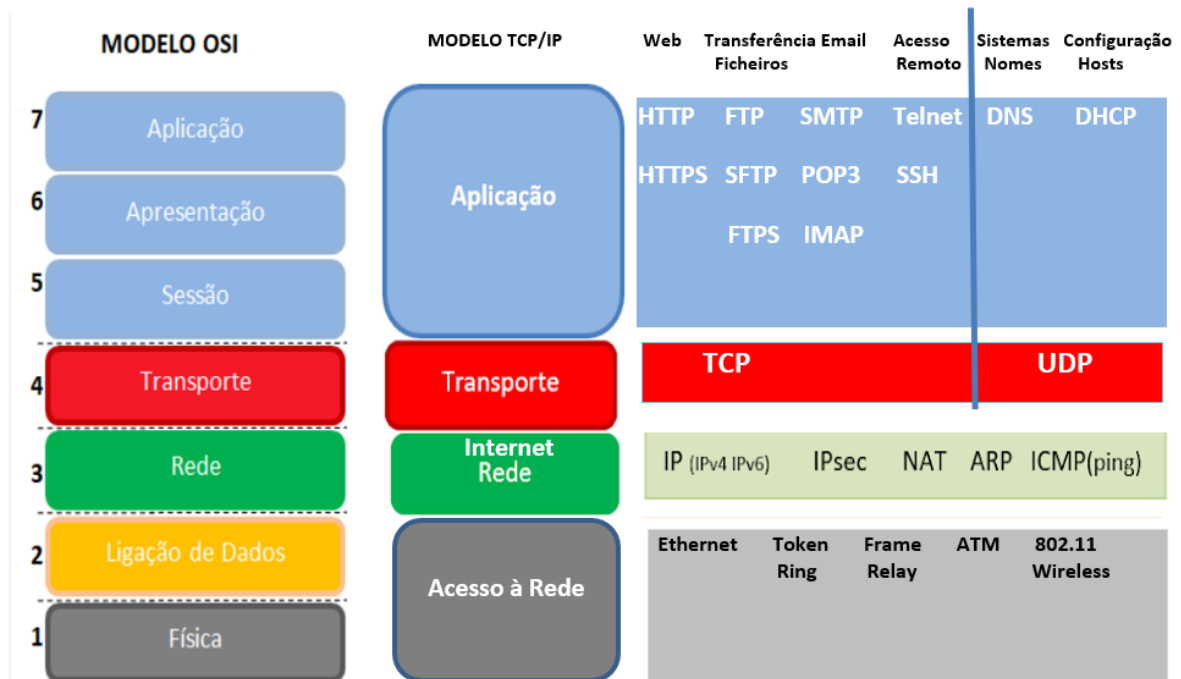


Figura 2 – Comparação entre os modelos de comunicação OSI e TCP/IP. Extraído de [4].

- Controlo de uma Rebobinadora de Papel

Uma rebobinadora de papel é uma máquina industrial usada para rebobinar o papel em rolos após a sua fabricação. O controlo da máquina é crítico para garantir que o papel é enrolado uniformemente e que a operação é segura e eficiente.

Funções Típicas do PLC na Rebobinadora:

1. Controlo de Velocidade e Tensão:

- O PLC monitoriza e ajusta a velocidade dos motores que controlam os eixos de rebobinamento para garantir que o papel seja enrolado com a tensão adequada. Isso pode incluir o controlo de motores de corrente contínua ou motores de corrente alternada, através de inversores de frequência.

2. Sincronização de Eixos:

- Os eixos da rebobinadora devem estar sincronizados para garantir um enrolamento uniforme. O PLC monitoriza sensores de posição dos motores para ajustar continuamente a sincronização.

3. Detecção e Correção de Falhas:

- Sensores adicionais podem ser usados para garantir que o papel é enrolado corretamente. Se houver um desvio, o PLC pode ajustar automaticamente a posição dos rolos ou parar a máquina para evitar danos.

4. Segurança e Paragens de Emergência:

- O PLC gere a lógica de segurança, como paragens de emergência, monitorização de portas de segurança, e proteção contra sobrecargas.

5. Interface com Operadores (HMI):

- O PLC comunica com HMI para permitir que os operadores seguem o processo, ajustam parâmetros e respondam a alarmes.

2.2. Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Os Sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são essenciais para a supervisão e controlo de processos industriais e infraestruturas críticas. Eles desempenham um papel vital na recolha e monitorização de dados em tempo real, permitindo que operadores visualizem e controlem remotamente o estado dos processos através de interfaces gráficas HMI. Essas interfaces mostram o estado dos processos em gráficos, diagramas e tabelas, permitindo um entendimento rápido e eficaz das operações em curso.

Uma das principais funcionalidades dos sistemas SCADA é a capacidade de adquirir dados em tempo real. Isso envolve a aquisição contínua de informações de sensores e dispositivos de campo, o que possibilita a monitorização remota de operações que estão localizadas em locais distantes. Esses dados são essenciais para a tomada de decisões informadas, permitindo ajustes rápidos e precisos nos processos industriais.

Em termos de comunicação, os sistemas SCADA suportam uma ampla variedade de protocolos industriais como Modbus, Profibus e OPC, garantindo a interoperabilidade entre diferentes sistemas e dispositivos. Isso facilita a integração e a expansão dos sistemas conforme as necessidades operacionais crescem.

Os sistemas SCADA são amplamente aplicados em diversas indústrias. Na manufatura, são usados para monitorizar linhas de produção e controlar a qualidade, garantindo eficiência e padrões elevados. Na indústria de petróleo e gás, supervisionam plataformas e oleodutos, além de gerir processos de refinarias. No setor de energia e utilidades, os sistemas SCADA são vitais para a gestão de redes elétricas e sistemas de água e esgoto. No transporte, controlam o tráfego urbano, sistemas ferroviários e operações aeroportuárias. Em infraestruturas críticas, monitoram e controlam edifícios inteligentes e sistemas de segurança.

Além disso, na indústria alimentícia, os sistemas SCADA garantem a segurança e qualidade dos alimentos ao monitorizar condições de produção e gerir a cadeia de frio para produtos perecíveis. Os sistemas SCADA são fundamentais para a eficiência, segurança e otimização de processos industriais, proporcionando uma plataforma robusta para monitorização, controlo e análise de dados em tempo real. Ajudam a melhorar operações, reduzir custos e aumentar a produtividade em diversas indústrias. A Figura 3 ilustra um diagrama tipo de um sistema SCADA, com identificação dos seus elementos constituintes.

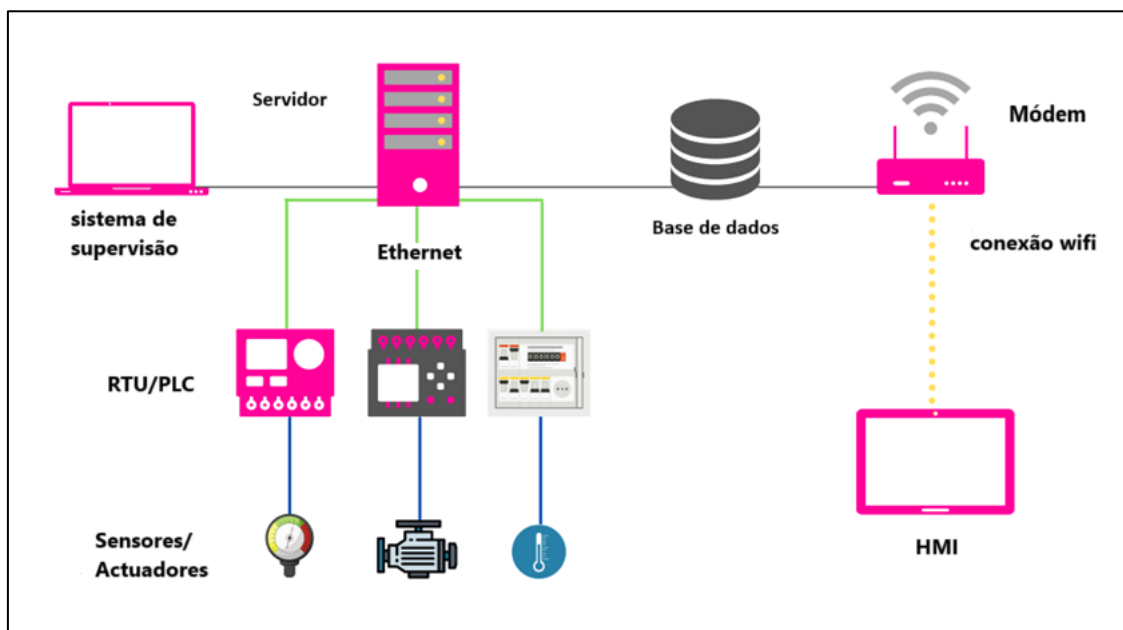


Figura 3 – Arquitetura genérica de um sistema SCADA

2.2.1. Integração com PLCs e HMIs

A integração de Sistemas SCADA com PLCs e HMIs é essencial para criar um sistema de automação industrial eficiente e eficaz. Esta integração permite a supervisão e controlo precisos de processos industriais, proporcionando visibilidade em tempo real, controlo automático e uma interface para os operadores.

Os PLCs são o coração dos sistemas de controlo industrial. Recebem sinais de entrada de sensores e dispositivos, processam essas informações de acordo com o programa de controlo, e enviam sinais de saída para atuadores e outros dispositivos.

Os HMIs fornecem uma interface gráfica para os operadores interagirem com o sistema SCADA. Permitem a visualização dos dados adquiridos pelos PLCs e o controlo dos processos.

2.2.2. Ferramentas utilizadas na implementação do sistema SCADA do trabalho

- **Node-RED**

O Node-RED é uma linguagem de programação visual por fluxo de dados, possui um editor web gráfico que auxilia a ligação entre dispositivos físicos e API's. É escrito em *Node.js* e os programas criados pela sua interface são chamados de fluxos, consistindo em vários *nodes* (blocos lógicos previamente definidos) ligados por fios. O editor gráfico possui uma lista de modelos de *nodes*, que podem ser arrastados e soltado na janela de fluxo. A Figura 4 mostra a janela de edição do Node-RED, com uma versão inicial do fluxo criado neste trabalho.

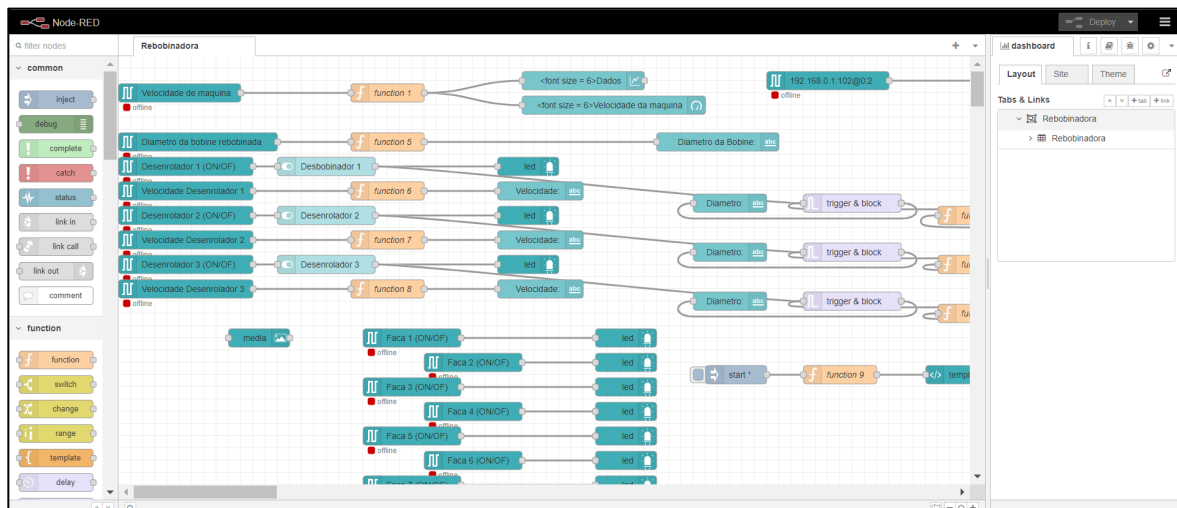


Figura 4 Janela de edição de fluxos do Node-RED

- **InfluxDB**

O *InfluxDB* é um software *open source* de criação e gestão de bases de dados específico para séries temporais. É usado para armazenar e recuperar dados que ocorrem continuamente no tempo - séries temporais. É amplamente utilizado em soluções de monitorização de operações, dados de sensores em ambientes de IoT, análise de dados em tempo real, entre outros.

Neste trabalho implementou-se um painel de visualização de dados (*Dashboard*) em Node-Red e uma base de dados em *InfluxDB*, que permite que a cada instante se visualizem os dados do processo bem como se faça uma consulta de histórico de dados. A Figura 5 mostra um formato típico da apresentação dos dados com a integração destas duas plataformas.

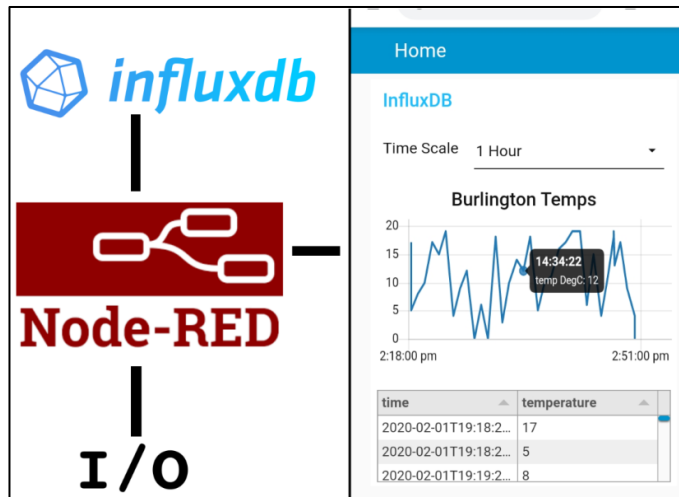


Figura 5 – aspeto gráfico da apresentação dos dados em Node-RED, proveniente do InfluxDB.

2.3. Princípio de Funcionamento de 1 Rebobinadora

Uma rebobinadora de papel industrial é uma máquina fundamental na indústria do *tissue*, utilizada para desenrolar grandes bobinas de papel produzidas por máquinas de papel e rebobiná-las em bobinas mais pequenas e práticas para utilização ou processamento subsequente. O processo inicia-se com o carregamento da bobina-mãe, que é a bobina original de grande dimensão, no desbobinador. Este componente desenrola o papel de forma controlada, recorrendo a travões e motores para manter a tensão adequada.

Após o desenrolamento do papel, este passa pelo sistema de corte, que pode utilizar lâminas circulares ou rotativas para o cortar em larguras específicas conforme necessário. De seguida, o papel cortado é guiado para o rebobinador, onde é enrolado em novas bobinas mais pequenas. O rebobinador utiliza eixos de rebobinamento e dispositivos de alinhamento para assegurar que o papel seja enrolado de maneira uniforme e sem rugas.

Um dos componentes críticos durante todo o processo é o sistema de controlo de tensão, que mantém a tensão do papel constante para evitar problemas como quebras, rugas ou enrolamentos desalinhados. Este sistema inclui sensores, travões ajustáveis e sistemas de feedback automático para realizar ajustes em tempo real.

Para garantir que o papel seja enrolado com precisão, a máquina possui um sistema de alinhamento composto por guias e sensores de alinhamento que trabalham em conjunto com atuadores para corrigir qualquer desvio. Todo o processo é altamente automatizado e controlado por controladores programáveis (PLC), que permitem ajustar parâmetros como velocidade, tensão e corte, além de fornecer interfaces de utilizador para monitorização em tempo real. A Figura 6 ilustra o que é uma rebobinadora de papel.

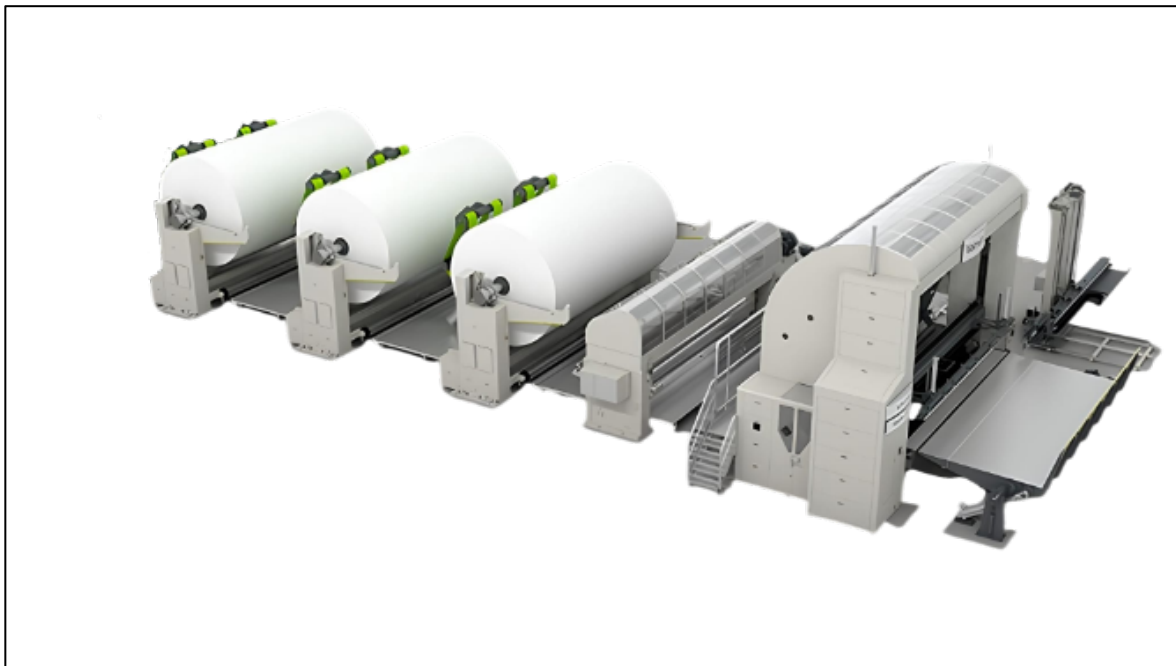


Figura 6 – Ilustração de uma Rebobinadora de papel.

2.4. Revisão da Literatura

A aquisição de dados e análise de performance de máquinas industriais no contexto da Indústria 4.0 tem sido objeto de diversas pesquisas e projetos, com foco na otimização e automação dos processos produtivos. A Indústria 4.0 caracteriza-se pela integração de sistemas ciberfísicos, a internet das coisas (IoT), entre outras tecnologias, promovendo a interconectividade entre máquinas e sistemas. Dentro desse contexto, ferramentas como autómatos, *dashboards* (ex. *Node-RED*), Bases de Dados (ex. *InfluxDB*) e sistemas SCADA desempenham papéis essenciais na recolha de dados em tempo real e na subsequente análise de performance. Trabalhos como o descrito em [5] destacam a importância da integração dos PLCs com sistemas de monitorização avançados, permitindo a aquisição de dados em tempo real e a execução de diagnósticos preditivos.

O Node-RED tem se destacado como uma ferramenta de desenvolvimento visual que facilita a interligação de dispositivos, APIs e serviços, sendo amplamente utilizado na Indústria 4.0 para aplicações que ligam dispositivos IoT a bases de dados e sistemas de análise. A flexibilidade e facilidade de uso do Node-RED, como indicado em [6], permite que empresas industriais liguem dispositivos como autômatos e sensores a sistemas de análise em tempo real, o que é fundamental para a otimização de processos e implementação de estratégias de manutenção preditiva.

O *InfluxDB* é bastante utilizado para armazenar dados de sensores e autômatos, permitindo que empresas monitorizem continuamente o desempenho das suas máquinas. De acordo com o descrito em [7], quando combinado com ferramentas como o *Grafana*, o *InfluxDB* oferece uma boa capacidade de análise visual em tempo real, permitindo a identificação rápida de anomalias nos processos produtivos e, assim, possibilitando a execução de medidas corretivas antes que ocorra uma falha crítica.

Além do descrito anteriormente, os sistemas SCADA continuam a ser fundamentais na supervisão e controlo de processos industriais em larga escala, uma vez que permitem a aquisição de dados, monitorização e controlo de dispositivos e processos em tempo real. Trabalhos, como o descrito em [8], têm mostrado que a integração dos sistemas SCADA com tecnologias emergentes, como *big data* e *analytics*, expandem significativamente as capacidades desses sistemas, permitindo uma análise mais detalhada e em tempo real dos dados industriais, alinhando-se às diretrizes da Indústria 4.0, sobre sistemas flexíveis e interligados.

A combinação de todas estas tecnologias tem sido crucial para a implementação de estratégias de aquisição de dados e análise de performance dentro do ambiente da Indústria 4.0, no sentido em que permitem a integração de diferentes plataformas e dispositivos, gerando uma visão detalhada dos processos industriais e facilitando a tomada de decisões baseada em dados. Dessa forma, as fábricas inteligentes podem executar estratégias de manutenção preditiva e otimização de processos, respondendo de forma mais eficiente às necessidades da produção moderna.

3. Desenvolvimento do Estágio

Este projeto integra de forma coesa sensores e atuadores com o PLC Siemens S7-300, *Node-RED*, *InfluxDB* e uma *dashboard* para criar um sistema de monitorização avançado. O objetivo é melhorar a eficiência operacional, reduzir o tempo de inatividade e fornecer uma visão detalhada do desempenho das máquinas, promovendo uma gestão mais eficaz e baseada em dados. A Figura 7 ilustra um diagrama com uma vista geral da solução implementada.

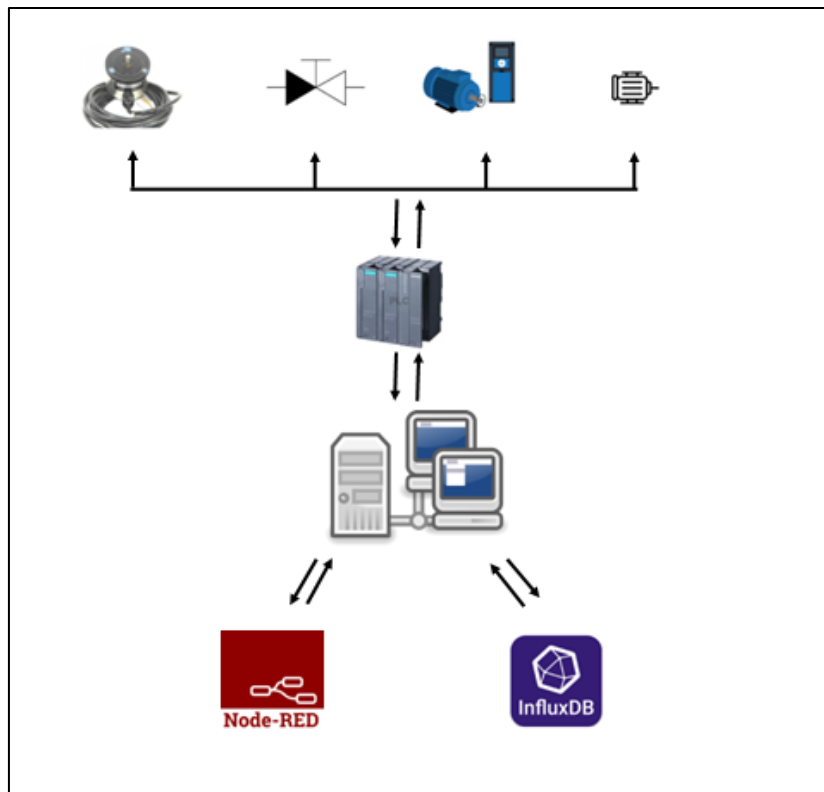


Figura 7 – Diagrama Geral da solução implementada.

O avanço da tecnologia industrial tem promovido a integração de diversas ferramentas e sistemas para otimizar processos e melhorar a eficiência operacional. Este projeto visa implementar uma solução completa de recolha e visualização de dados de uma máquina de papel, utilizando uma combinação de tecnologias avançadas. O sistema proposto é composto por cinco blocos interligados, cada um desempenhando um papel crucial na criação de um ambiente de monitorização e controlo inteligente como, apresentado na Figura 8.

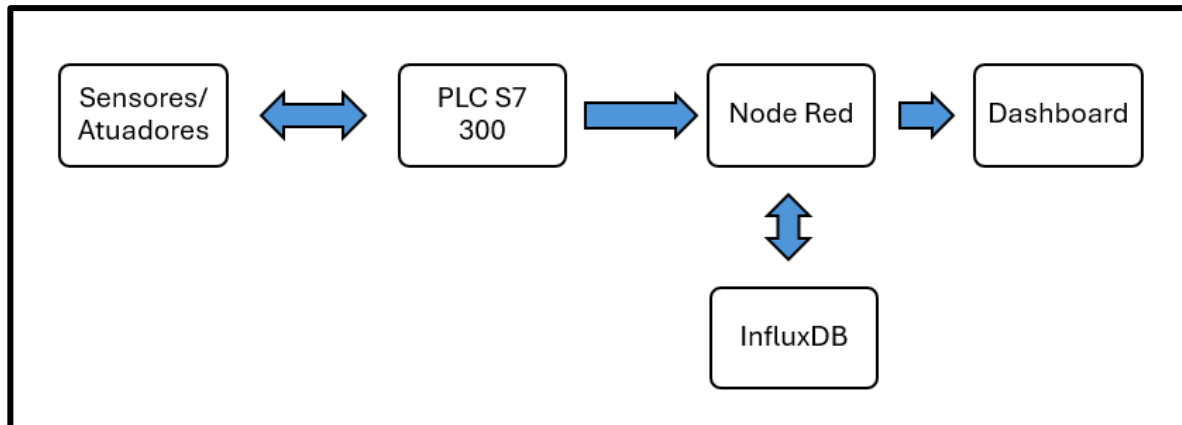


Figura 8- Fluxo dos dados no sistema implementado.

O primeiro bloco do sistema representa os sensores e atuadores instalados na máquina. São eles os responsáveis pela recolha de dados em tempo real sobre o estado e o desempenho da máquina, bem como pela execução das ações que ajustam o seu funcionamento conforme necessário. Os sensores recolhem dados de velocidade dos desbobinadores e de alguns rolos entre outras coisas, enquanto os atuadores realizam ajustes físicos para manter as máquinas operando dentro dos parâmetros desejados como por exemplo tenção de papel.

O segundo bloco identifica o PLC instalado na máquina, SIEMENS S7-300, que se caracteriza pela sua robustez e fiabilidade, razão pela qual é usado em grande parte das máquinas instaladas. O PLC faz a aquisição dos dados dos sensores, processa essas informações de acordo com a programação estabelecida e envia comandos para os atuadores, garantindo que as máquinas operam de maneira eficiente e segura. A configuração e a programação do PLC são essenciais para assegurar que o sistema de controlo funcione de forma integrada e eficaz.

No terceiro bloco, o Node-RED é utilizado para realizar a integração e o processamento dos dados. O Node-RED é uma ferramenta de programação visual que permite a criação de fluxos de dados de maneira intuitiva. Neste projeto, ele serve para recolher dados do PLC, os quais foram selecionados e estão identificados na Tabela 2.

Tabela 2 – Lista de variáveis de monitorização do estado da máquina – Rebobinadora.

Rebobinadora			Rebobinadora		
Nome	Address	Data Type	Nome	Address	Data Type
Faca 1 (ON/OFF)	M 780.0	Bool	Velocidade da maquina	DB 31 DBD 0	Real
Faca 2 (ON/OFF)	M 781.3	Bool	Velocidade Desenrolador 1	DB 122 DBD 148	Real
Faca 3 (ON/OFF)	M 780.2	Bool	Velocidade Desenrolador 2	DB 195 DBD 148	Real
Faca 4 (ON/OFF)	M 780.3	Bool	Velocidade Desenrolador 3	DB 217 DBD 148	Real
Faca 5 (ON/OFF)	M 780.1	Bool	Velocidade das facas	DB 320 DBD 148	Real
Faca 6 (ON/OFF)	M 780.4	Bool	Velocidade do rolo de formação 1	DB 104 DBD 148	Real
Faca 7 (ON/OFF)	M 780.6	Bool	Velocidade do rolo de formação 2	DB 155 DBD 148	Real
Faca 8 (ON/OFF)	M 780.7	Bool	Velocidade Rider roller	DB 136 DBD 148	Real
Faca 9 (ON/OFF)	M 781.0	Bool	Velocidade rolo de banana 1	DB 387 DBD 148	Real
Faca 10 (ON/OFF)	M 780.5	Bool	Velocidade rolo de banana 2	DB 377 DBD 148	Real
Faca 11 (ON/OFF)	M 781.2	Bool	Diametro Desenrolador 1	DB 459 DBD 6	Real
Faca 12 (ON/OFF)	M 781.1	Bool	Diametro Desenrolador 2	DB 458 DBD 6	Real
Faca 13 (ON/OFF)	M 781.4	Bool	Diametro Desenrolador 3	DB 457 DBD 6	Real
Desenrolador 1 (ON/OFF)	M 716.0	Bool	Diametro da bobine rebobinada	DB 31 DBD 12	Real
Desenrolador 2 (ON/OFF)	M 718.0	Bool	Alarmes 1	M 740.4	bool
Desenrolador 3 (ON/OFF)	M 720.0	Bool	Alarmes 1	M 740.5	bool

O quarto bloco é composto pelo *InfluxDB*, uma base de dados dedicada ao armazenamento de grandes volumes de dados, num formato de séries temporais. O *InfluxDB* armazena os dados recolhidos dos sensores e PLCs, possibilitando consultas rápidas e eficientes, além de fornecer uma base de trabalhos para análise de dados. A Figura 8 ilustra o aspeto gráfico dos dados no *InfluxDB*.

Rebobinadora	Dado	Start	Stop	Dia/Hora	Valor
DadosSimens	Diametro da bobine rebobinada	2024/06/01 17:47:08	2024/09/04 17:47:08	2024/08/01 20:20:00	1162,69

Figura 9 – aspeto gráfico da Base de Dados InfluxDB.

O último bloco do sistema é a *dashboard*, uma interface gráfica que permite a visualização e análise dos dados em tempo real. A *dashboard* apresenta as informações de forma clara e acessível, facilitando a monitorização do desempenho das máquinas, a identificação de tendências e a tomada de decisões informadas para otimização das operações. A Figura 10 mostra um instantâneo da *Dashboard*.

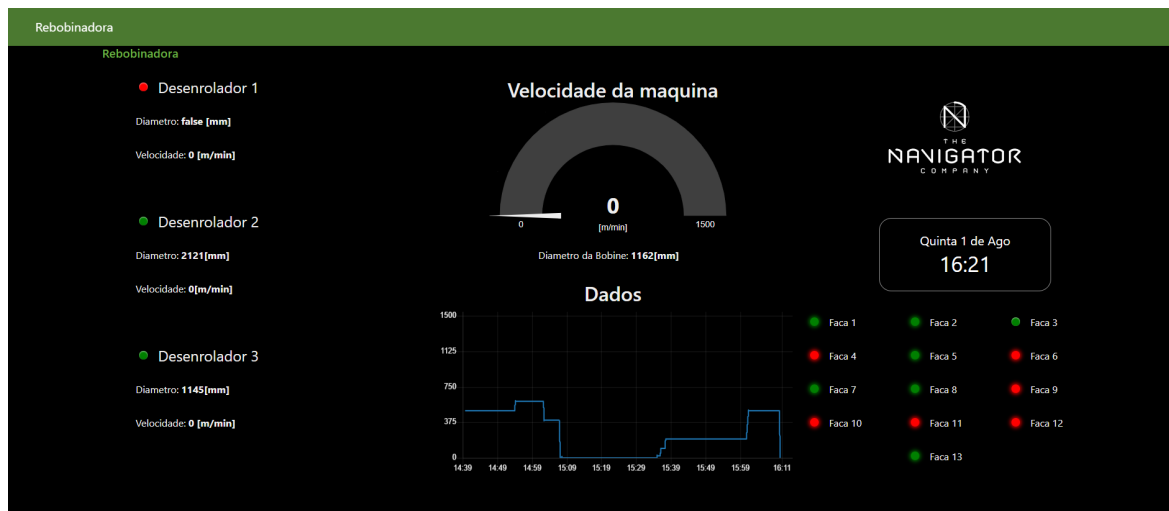


Figura 10 – Painel de visualização dos dados – Dashboard.

3.1. Análise de resultados à solução alcançada

A solução implementada e validada em espaço fabril, trás alguns ganhos de eficiência na forma como o operador e responsáveis dos vários sectores da fábrica interagem com a máquina.

Em resumo, a solução alcançada atingiu as seguintes metas:

- **Integração com o PLC:** A solução implementada utiliza a comunicação com o controlador lógico programável (PLC) da rebobinadora para extrair dados operacionais em tempo real. A integração foi realizada por meio de protocolos industriais, como o Modbus TCP/IP, que permitem a leitura contínua de parâmetros como velocidades de operação, diâmetro das bobinas e tensão do papel;
- **Armazenamento em *InfluxDB*:** A escolha do *InfluxDB* como base de dados foi estratégica devido à sua otimização para séries temporais, que são fundamentais para aplicações de monitorização industrial. O *InfluxDB* permite armazenar grandes volumes de dados com alta eficiência e realizar consultas rápidas, facilitando a análise de dados históricos e a deteção de tendências ou anomalias ao longo do tempo;
- **Visualização através de *Dashboards*:** Foi desenvolvida uma interface de visualização, utilizando *Node-Red*, que se integra com o *InfluxDB* para exibir os dados recolhidos na *dashboard* personalizada. A *dashboard* é projetada para que os dados sejam claros e intuitivos, permitindo que os operadores, engenheiros e gestores monitorizem o desempenho da máquina de forma local ou remota.

Resultados Obtidos

- **Melhoria na Monitorização e Controlo:** Com a implementação do sistema de supervisão, a empresa agora tem acesso em tempo real aos parâmetros críticos da máquina, o que antes era limitado ao painel local do PLC. Isso melhora significativamente a capacidade de monitorização e permite que os ajustes sejam feitos mais rapidamente, se necessário;
- **Redução de Tempo de Inatividade:** A visibilidade em tempo real e a análise histórica dos dados permitem a identificação precoce de problemas, como desgaste de componentes ou ajustes inadequados. Isso possibilita a realização de manutenção preditiva, reduzindo o tempo de inatividade não planeado e aumentando a disponibilidade da máquina;
- **Otimização Operacional:** Com os dados disponíveis, a empresa pode otimizar as operações da rebobinadora, ajustando parâmetros para maximizar a eficiência e minimizar o desperdício. A análise das tendências operacionais ao longo do tempo também oferece *insights* para melhorias contínuas no processo;
- **Replicabilidade da Solução:** A solução foi desenvolvida com a ideia de ser replicável em outras máquinas dentro do espaço fabril. A arquitetura baseada em *InfluxDB* e *dashboards* personalizáveis permite que o sistema de supervisão seja facilmente adaptado para diferentes tipos de máquinas, promovendo uma padronização da supervisão no chão de fábrica.

Utilidade para a Empresa

- **Alinhamento com a Indústria 4.0:** O projeto coloca a empresa em linha com as práticas mais modernas da Indústria 4.0, adotando tecnologias como IoT, análise de dados e monitorização remota. Isso não só moderniza a fábrica, mas também melhora a competitividade da empresa no mercado;
- **Aumento da Produtividade e Qualidade:** Com a capacidade de monitorizar e controlar a máquina em tempo real, a empresa pode garantir uma operação mais eficiente e reduzir defeitos na produção, resultando em produtos de melhor qualidade e maior produtividade;
- **Tomada de Decisão Baseada em Dados:** A disponibilidade de dados históricos e em tempo real permite que os gestores tomem decisões mais informadas e baseadas

em evidências, o que é crucial para a melhoria contínua e a gestão eficiente dos recursos;

- **Implementação de Manutenção Preditiva:** A análise contínua dos dados operacionais abre portas para a implementação de estratégias de manutenção preditiva, que podem prever falhas antes que elas ocorram, economizando recursos e prolongando a vida útil dos equipamentos;

4. Conclusões

O desenvolvimento e implementação da solução de recolha e visualização de dados de uma rebobinadora de papel foi concluído com sucesso. A solução, encontra-se totalmente funcional e em operação na fábrica de Vila Velha de Rodão da *The Navigator Company*.

Através desta implementação, foi possível criar uma interface gráfica para visualização de dados da máquina, tanto localmente quanto remotamente, proporcionando uma ferramenta eficiente para operadores e gestores. A possibilidade de monitorização em tempo real dos parâmetros da rebobinadora facilita a tomada de decisões, aumenta a eficiência operacional e melhora o tempo de resposta a eventuais problemas.

Esta solução contribui diretamente para a digitalização dos processos, alinhando-se às tendências da Indústria 4.0, que procura a integração de tecnologias avançadas na automação industrial. Além disso, o sucesso deste projeto abre a possibilidade de replicação do sistema em outras máquinas da fábrica, promovendo a uniformização e modernização dos processos de supervisão em todo o espaço fabril.

Com esta implementação, a empresa moderniza os seus sistemas de monitorização e prepara o terreno para a evolução contínua em direção a uma indústria mais interativa e eficiente.

4.1 Propostas de Trabalho Futuro

Como propostas de trabalho futuro, este projeto abre caminho para o desenvolvimento de um conjunto variado de soluções. Na área da Manutenção preditiva pode-se fazer a integração de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) na análise dos dados e realizar a deteção automática de anomalias. Pode-se também fazer a integração de sensores adicionais na máquina, como por exemplo sensores de vibração, para monitorização da sua condição e alimentar os algoritmos de IA. É possível também implementar na *dashboard* funcionalidades de alarmística bem como análise de desempenho, entre outras funcionalidades. A integração com o sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) da fábrica também é um objetivo futuro.

O funcionamento diário do sistema na fábrica vai por si só abrir espaço a novas ideias e novas funcionalidades que se podem desenvolver sobre esta solução de base.

Referências

- [1] – The Navigator Company, <https://www.thenavigatorcompany.com>, link consultado em Agosto de 2024;
- [2] – TIA Portal, <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>, link consultado em Agosto de 2024;
- [3] IEC 61131-3:2013, Programmable controllers - Part 3: Programming languages, <https://webstore.iec.ch/en/publication/4552>, link consultado em Agosto de 2024;
- [4] Modelo de comunicação TCP/IP, <https://bdprogramacao.blogspot.com/2019/09/camadas-modelo-osi.html>, link consultado em Agosto de 2024;
- [5] Kushwaha, S., Kumar, A., & Singh, V. (2021). "Integrating PLC and SCADA for Smart Manufacturing: A Review of Recent Trends and Future Directions." *International Journal of Automation and Control*, 12(3), 210-220;
- [6] Chen, Y., Li, W., & Xu, Q. (2019). "Node-RED based IoT gateway for real-time data acquisition in smart manufacturing." *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 50-59.
- [7] Gupta, P., Singh, M., & Kaur, R. (2020). "Real-time machine performance monitoring using InfluxDB and Grafana in an industrial IoT environment." *Journal of Industrial Information Integration*, 45, 89-102.
- [8] Pérez, J., Martínez, M., & Sánchez, L. (2018). "SCADA systems in the era of Industry 4.0: Evolution and integration with big data." *Computers in Industry*, 100, 25-35.