



**Politécnico  
Castelo Branco**

Escola Superior  
de Tecnologia

# **Configuração de uma Arquitetura de Rede e Implementação de uma Solução de Recolha e Processamento de Dados de Produção na Empresa The Navigator Company**

Nikita Bocharov

Nº 20171100

## **Orientadores**

Prof. Doutor Pedro Miguel Baptista Torres

Eng. João Matos, Coordenador de Manutenção da empresa *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 (1º ciclo) em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, do Instituto Politécnico de Castelo Branco e coorientação do Coordenador de manutenção da The Navigator Company, Eng. João Matos

**Junho 2025**



## **Composição do júri**

Presidente do júri

Professor Doutor Armando Lopes Ramalho

Professor Coordenador na Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Arguentes

Professor Doutor Nuno Octávio Garcia Fernandes

Professor Coordenador na Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres

Professor Adjunto na Escola Superior de Tecnologia, do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Eng. João Matos

Coordenador de Manutenção da empresa The Navigator Company



## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto.

Em primeiro lugar, agradeço à empresa The Navigator Company pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, pela orientação, disponibilidade e apoio contínuo durante todo o processo.

Agradeço ainda à minha namorada e à minha família, pelo incentivo incondicional, paciência e compreensão ao longo de toda a minha formação académica.

Por fim, deixo uma palavra de apreço aos colegas e amigos que estiveram presentes nos momentos de maior exigência, sempre com palavras de apoio e motivação.



## Resumo

O presente projeto tem como finalidade a configuração de uma arquitetura de rede industrial e a implementação de uma solução de recolha e processamento de dados de produção, com vista à otimização da monitorização e análise de processos industriais em tempo real.

Para tal, será utilizada a plataforma *vNode*, um *middleware* orientado à integração de sistemas industriais, que permite a interligação de diferentes dispositivos, protocolos e plataformas através de conectores e motores de transformação de dados.

A arquitetura proposta irá suportar a comunicação entre dispositivos através dos protocolos OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) e S7 (*Siemens S7 Communication Protocol*), amplamente utilizados em ambientes industriais. O protocolo OPC UA será responsável por garantir interoperabilidade, escalabilidade e segurança na troca de dados, enquanto o protocolo S7 assegurará a comunicação direta com PLCs programáveis Siemens.

A solução desenvolvida permitirá recolher de forma estruturada os dados provenientes do espaço fabril, realizar o seu pré-processamento e encaminhá-los para sistemas de supervisão ou bases de dados, contribuindo para a digitalização dos processos produtivos e a implementação de estratégias de Indústria 4.0 na empresa The Navigator Company.

## Palavras-chave

vNode, OPC UA, S7, Indústria 4.0.



## **Abstract**

This project aims to configure industrial network architecture and implement a solution for the acquisition and processing of production data, with the goal of optimizing real-time monitoring and analysis of industrial processes.

To this end, the vNode platform will be used — a middleware solution designed for industrial systems integration, enabling communication between heterogeneous devices by supporting multiple protocols and platforms through modular connectors and data transformation engines.

The proposed architecture will support communication via OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) and S7 (Siemens S7 Communication Protocol), both widely adopted in industrial environments. OPC UA will ensure interoperability, scalability, and secure data exchange, while the S7 protocol will enable direct communication with Siemens programmable logic controllers (PLCs).

The developed solution will enable structured data acquisition from the shop floor, its preprocessing, and subsequent forwarding to supervisory systems or databases, contributing to the digitalization of production processes and supporting Industry 4.0 strategies in The Navigator Company.

## **Keywords**

vNode, OPC UA, S7, Industry 4.0.



# Índice geral

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2.	DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	2
1.3.	PONTO DE PARTIDA .....	3
1.4.	OBJETIVOS DO ESTÁGIO .....	4
1.5.	ESTRUTURA DO RELATÓRIO .....	4
<b>2.</b>	<b>ENQUADRAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1.	MIDDLEWARE - VNODE .....	5
2.2.	<i>KepServerEX</i> .....	5
2.3.	<i>Ignition</i> .....	6
2.4.	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS .....	7
2.4.1.	<i>OPC UA</i> .....	7
2.4.2.	<i>S7</i> .....	8
2.5.	TIPOS DE PLC .....	10
2.5.1.	<i>S7-300</i> .....	10
2.5.2.	<i>S7-400</i> .....	11
2.5.3.	<i>S7-1200</i> .....	11
2.5.4.	<i>S7-1500</i> .....	12
2.6.	ELEMENTOS ADICIONAIS .....	12
2.6.1.	<i>Processador de Comunicação</i> .....	12
2.6.2.	<i>Encaminhamento</i> .....	13
<b>3.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO ESTÁGIO</b> .....	<b>15</b>
3.1.	TESTE DE COMUNICAÇÃO .....	15
3.1.1.	<i>Seleção das Máquinas para Teste</i> .....	15
3.1.2.	<i>Modificações Realizadas</i> .....	15
3.1.3.	<i>Seleção dos Parâmetros Monitorizados e Mapeamento das DBs</i> .....	16
3.2.	CONFIGURAÇÃO DO VNODE .....	17
3.2.1.	<i>Criação dos módulos</i> .....	17
3.2.2.	<i>Criação das TAGs para a Rebobinadora e Tanque Makeup</i> .....	18
3.2.3.	<i>Visualização dos Dados</i> .....	19
3.2.4.	<i>Módulo OPC UA do vNode</i> .....	19
3.2.5.	<i>Exemplo da Integração com Uniformance</i> .....	20
3.3.	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA TRANSFORMAÇÃO .....	21
3.3.1.	<i>Instalação dos CPs</i> .....	21
3.3.2.	<i>Construção dos Quadros Elétricos</i> .....	22
<b>4.</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>25</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>29</b>
5.1.	<i>Proposta de Trabalhos Futuros</i> .....	29
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>31</b>



## Índice de figuras

FIGURA 1 - VISTA DA UNIDADE INDUSTRIAL DE VILA VELHA DE RÓDÃO. ....	2
FIGURA 2 - LAYOUT ESQUEMATIZADO DA TRANSFORMAÇÃO. ....	3
FIGURA 3 - PLC DA GAMA S7-300 .....	10
FIGURA 4 - PLC DA GAMA S7-400 .....	11
FIGURA 5 – PLC DA GAMA S7-1200.....	12
FIGURA 6 – PLC DA GAMA S7-1500.....	12
FIGURA 7 – JANELA DE EDIÇÃO DAS LIGAÇÕES DO SOFTWARE STEP7 CLÁSSICO .....	15
FIGURA 8 – JANELA DE ALTERAÇÃO DE HARDWARE NO TIAPORTAL .....	16
FIGURA 9 – EXEMPLO DE UMA DB DO PROJETO DE PLC DA REBOBINADORA.....	17
FIGURA 10 – JANELA DE CRIAÇÃO DE MÓDULOS DE COMUNICAÇÃO NO VNODE.....	17
FIGURA 11 – JANELA DE CONFIGURAÇÃO DE UM PLC DENTRO DO MÓDULO SIEMENSCLIENT .....	18
FIGURA 12 – EXEMPLO DE CONFIGURAÇÃO DE UMA TAG.....	18
FIGURA 13 – LEITURA DAS VARIÁVEIS DA REBOBINADORA EM TEMPO REAL.....	19
FIGURA 14 – JANELA DE CONFIGURAÇÃO DO MÓDULO OPC UA .....	20
FIGURA 15 – LISTA DE VARIÁVEIS OBTIDA POR OPC UA .....	20
FIGURA 16 – GRÁFICO DA VELOCIDADE DA REBOBINADORA NO UNIFORMANCE .....	21
FIGURA 17 – FOTOGRAFIA DO PLC PRINCIPAL DA LINHA DOMÉSTICA 2 .....	22
FIGURA 18 – QUADRO ELÉTRICO DA REDE OT .....	23
FIGURA 19 – FOTOGRAFIA DE UM DOS QUADROS DA REDE OT.....	25
FIGURA 20 – FOTOGRAFIA DA REBOBINADORA .....	26



## Lista de tabelas

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MIDDLEWARE .....	6
TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE OPC UA E S7 .....	9



## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

OPC UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*)

PLC (*Programmable Logic Controller*)

HMI (*Human-Machine Interface*)

IT (*Information Technologies*)

OT (*Operational Technology*)

CP (*Communication Processor*)

GPRS (*General Packet Radio Service*)

MES (*Manufacturing Execution System*)

ERP (*Enterprise Resource Planning*)

IoT (*Internet of Things*)

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

ETARI (*Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais*)

DB (*Data Block*) ou (Bloco de Dados)

TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*)

CSV (*Comma-Separated Values*)



# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização

A indústria tem vindo a atravessar um processo de transformação profunda impulsionado pela digitalização e pelo avanço das tecnologias de automação e informação. A chamada Indústria 4.0 [1] representa esta nova era caracterizada pela integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e conectividade em tempo real entre equipamentos, sistemas e pessoas. Esta revolução sucede à Indústria 3.0 [2], marcada pela introdução da automação com controladores programáveis e pela estruturação hierárquica em pirâmide, onde os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), (*Manufacturing Execution System*), MES (*Manufacturing Execution System*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*) funcionavam de forma relativamente isolada e segmentada. A transição para a Indústria 4.0 rompe com este modelo, promovendo a conectividade desde o chão de fábrica até à *cloud*, através de redes OT (*Operational Technology*) e IT (*Information Technologies*) integradas.

É neste contexto que se insere o presente projeto, que visa dar um passo importante rumo à transformação digital da produção, ao permitir a recolha e processamento automático de dados das máquinas na zona de transformação de um complexo industrial de papel *tissue*. Para além dos benefícios operacionais imediatos, esta iniciativa inscreve-se numa visão de futuro mais abrangente, onde se começa já a delinear o paradigma da Indústria 5.0 [3]. Este novo conceito procura recentrar a tecnologia ao serviço do ser humano, promovendo a colaboração entre operadores e sistemas inteligentes, e integrando preocupações de sustentabilidade ambiental e social. Assim, o projeto não só responde aos desafios da eficiência e conectividade atuais, como também prepara a organização para uma evolução industrial mais consciente e centrada nas pessoas.

Este projeto tem como objetivo a implementação de uma solução de recolha e processamento de dados de produção, com recurso à plataforma *vNode* [4], que atuará como elo de ligação entre as máquinas e os sistemas superiores de gestão de dados. Através da criação de uma rede OT dedicada, será possível centralizar e padronizar a informação proveniente do espaço fabril, garantindo a sua integridade, acessibilidade e utilidade para a gestão industrial. Esta abordagem visa demonstrar o valor da conectividade e da automação inteligente na construção de ambientes produtivos mais eficientes e sustentáveis.

Atualmente, no complexo industrial as máquinas na zona de transformação não possuem qualquer tipo de comunicação com o exterior, o que torna a recolha de dados operacionais morosa e propensa a erros e com impacto direto na análise em tempo útil dos indicadores de desempenho. A implementação da solução proposta neste projeto permitirá automatizar essa recolha de informação, promovendo uma maior fiabilidade e rapidez no acesso aos dados. Ao dotar as máquinas da zona de

transformação de capacidade de comunicação através de uma rede OT com recurso ao *vNode*, pretende-se facilitar o dia a dia dos operadores e responsáveis de produção, enquanto se criam condições para uma gestão mais eficiente, sustentada e orientada para a melhoria contínua.

## 1.2. Descrição da Empresa



*Figura 1 - Vista da Unidade Industrial de Vila Velha de Ródão.*

O projeto/estágio é realizado na *Navigator Tissue Ródão, S.A.* do grupo *The Navigator Company*. A Fábrica situa-se em Vila Velha de Ródão distrito de Castelo Branco e dedica-se à produção de papel *tissue*. A unidade industrial integra várias linhas de transformação e duas máquinas de produção de papel *tissue* com a capacidade produtiva combinada de 60000 toneladas/ano, assim como uma ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais) e armazéns de produto acabado, bobines e pasta. A Figura 1 mostra uma fotografia da unidade fabril em Vila Velha de Ródão, enquanto a Figura 2 mostra a disposição das máquinas da unidade de transformação onde incide este trabalho.

**Empresa/Instituição:** Navigator Tissue Ródão, S.A.

**Setor/Departamento do Estágio:** Manutenção.

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

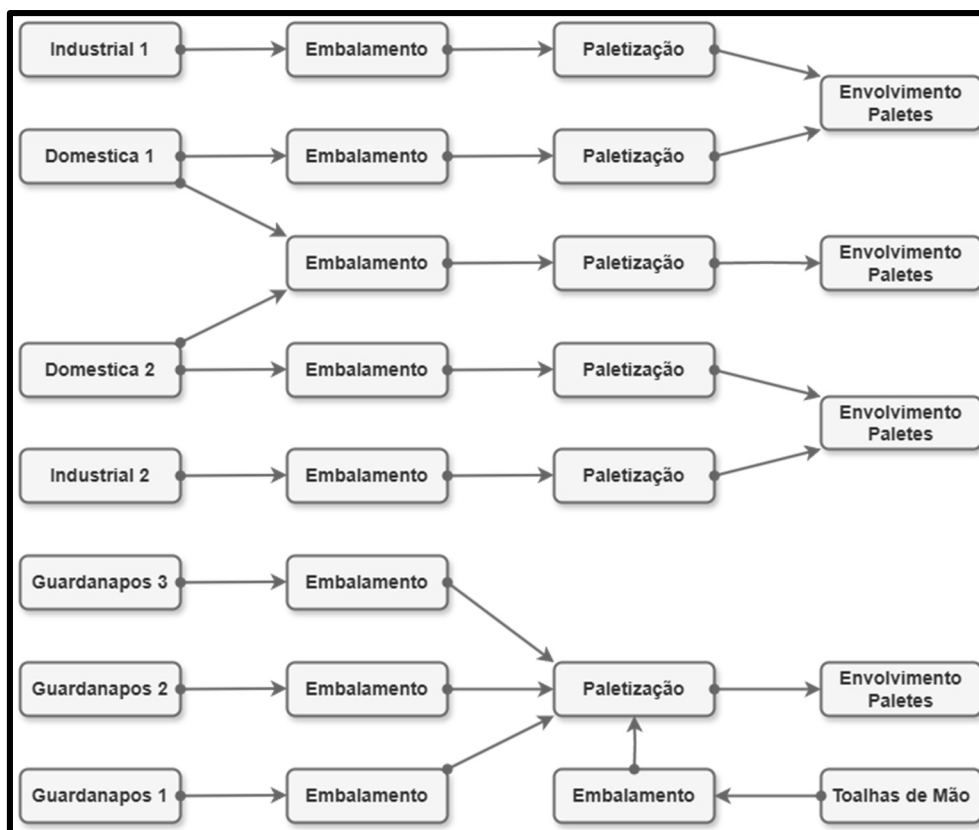


Figura 2 – Disposição esquematizada das máquinas da Transformação.

### 1.3. Ponto de Partida

No início do projeto, a única parte da infraestrutura da rede OT existente era um anel de fibra ótica não interligado, isto é apenas existe a fibra passada e os quadros fixados, que percorre a unidade.

Em algumas linhas existe comunicação por Profinet [5], assim nessas linhas serão apenas feitos mapeamento e encaminhamento dos endereços IP dos PLCs para que seja possível a sua comunicação com o vNode, plataforma de IIoT (*Industrial Internet of Things*), responsável por assegurar a conectividade com as plataformas organizacionais.

As restantes comunicam por *Profibus* [6], pelo que será necessária a alteração de hardware dos PLCs nomeadamente instalação de processadores de comunicação (CP) e a sua configuração para o intervalo de endereços de IP da rede OT.

os PLCs instalados nas máquinas da transformação são da marca Siemens, das gamas S7-300 [7], S7-400 [8], S7-1200 [9] e S7-1500 [10], apenas os dois últimos permitem comunicação OPC UA, no entanto será necessário realizar a atualização do *firmware*. Trata-se de uma operação delicada visto ser necessário a paragem da máquina e colocação do autómato em modo STOP bem como a atualização dos

projetos dos PLCs no software Siemens *Tia Portal* (*Totally Integrated Automation Portal*)

[11] para versão 16.0 no mínimo.

Nos restantes PLCs utilizar-se-á a comunicação S7 [12], pelo que será necessária a recolha prévia das bases de dados (DBs), memórias e endereços bem como a escolha dos parâmetros e variáveis que serão recolhidos das máquinas. Estes endereços terão de ser introduzidos um-a-um no software vNode.

A estrutura dos endereços de memória dos PLCs (TAGs) terá que obrigatoriamente obedecer a um padrão visto que o passo seguinte será integração destas no *Uniformance* [13], software da *Honeywell* que permite a aquisição, análise, visualização e integração dos dados, e este tem algumas restrições nomeadamente o número de caracteres bem como a utilização de alguns caracteres especiais.

## 1.4. Objetivos do Estágio

O principal objetivo deste estágio consiste na implementação de uma rede OT (*Operational Technology*) na zona de transformação de um complexo industrial. Esta implementação abrange a instalação dos quadros elétricos necessários para a receção dos cabos de comunicação, bem como a criação de toda a infraestrutura física e lógica que permitirá a interligação das máquinas ao sistema de recolha de dados. Como fase piloto, será realizada a instalação e o teste do sistema numa das linhas de produção, com o intuito de validar a solução e assegurar o seu correto funcionamento em ambiente real.

Para além da concretização técnica da rede OT, este projeto tem também como objetivo preparar a estrutura para uma futura expansão do sistema às restantes linhas de produção, de forma faseada e condicionada à disponibilidade orçamental. A abordagem adotada visa garantir a escalabilidade da solução, permitindo que o investimento realizado nesta fase inicial sirva como base sólida para o desenvolvimento progressivo da digitalização no espaço fabril. Desta forma, o projeto não só responde a necessidades imediatas, como também estabelece um enquadramento sustentável para a modernização contínua da operação industrial.

O presente estágio teve lugar entre março e junho de 2025.

## 1.5. Estrutura do relatório

O presente relatório está estruturado em 5 capítulos. No capítulo 1 é feita uma contextualização sobre o trabalho, o capítulo 2 apresenta o enquadramento teórico, o capítulo 3 foca-se na descrição dos trabalhos executados, o capítulo 4 apresenta os resultados alcançados e por último o capítulo 5 apresenta as conclusões e propostas de trabalho futuro.

## 2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo é feito um enquadramento teórico sobre as ferramentas utilizadas na implementação da solução no espaço fabril.

### 2.1. Middleware - vNode

O **vNode** é uma solução de *middleware* flexível e modular, especialmente concebida para ambientes industriais modernos, como os exigidos pela Indústria 4.0. Destaca-se pela sua arquitetura leve, sendo ideal para projetos de pequeno e médio porte, permitindo a integração eficiente de dispositivos e sistemas industriais com infraestruturas de TI (Tecnologia da Informação) e plataformas em nuvem. O *vNode* suporta protocolos amplamente utilizados, como OPC UA e Siemens S7, o que o torna adequado para interligar dispositivos industriais de diferentes fabricantes e garantir a interoperabilidade entre eles. A sua capacidade de realizar pré-processamento de dados localmente, antes de os enviar para sistemas superiores ou plataformas em nuvem, oferece uma vantagem significativa em termos de eficiência de rede e redução de latência. Além disso, o *vNode* permite a integração com tecnologias emergentes como o IoT, o que é essencial para a digitalização dos processos industriais. Embora o *vNode* seja mais adequado para projetos de menor porte ou experimentais, a sua flexibilidade e custo-benefício tornam-no uma excelente escolha para protótipos e testes iniciais em ambientes industriais.

### 2.2. KepServerEX

O *KepServerEX* [14] é uma solução de *middleware* robusta e altamente escalável, projetada para integração de sistemas industriais de grande porte. Oferece suporte a uma vasta gama de protocolos industriais, como OPC UA, Modbus, Siemens S7, Allen-Bradley e BACnet, entre outros, permitindo a conectividade de uma grande diversidade de dispositivos de diferentes fabricantes. O *Keeware* é especialmente eficaz em ambientes onde é necessário integrar dispositivos heterogêneos e proporcionar comunicação confiável e segura entre eles. Além disso, a sua fácil integração com sistemas SCADA e ERP facilita a gestão e supervisão de processos industriais. No entanto, o *Keeware* pode ser mais caro, devido ao seu licenciamento baseado no número de dispositivos, drivers e TAGs utilizados. Tem uma infraestrutura mais complexa e pode ser um obstáculo em projetos menores, mas a sua robustez e escala tornam-no ideal para grandes instalações industriais que exigem alta confiabilidade e suporte a múltiplos protocolos

## 2.3. Ignition

O **Ignition** [15], por sua vez, é uma plataforma SCADA/MES que vai além de um simples *middleware*. Foi projetado para automação industrial, visualização de dados e integração com sistemas de TI e IoT. O *Ignition* oferece suporte a protocolos como OPC UA, Modbus e Siemens S7, além de possibilitar a integração com plataformas em nuvem e *big data*, o que é essencial para projetos de manutenção preditiva e análise avançada de dados. A plataforma também possui uma interface de visualização poderosa, permitindo a criação de *dashboards* dinâmicos para monitorização e controlo em tempo real dos processos. No entanto, o *Ignition* tende a ser mais caro e complexo de implementar em comparação com outras soluções, como o *vNode*. O licenciamento do *Ignition* é baseado no número de clientes ligados, o que pode ser um ponto negativo para empresas que precisam de uma solução mais económica em termos de custos de licenciamento. Embora a plataforma seja extremamente escalável e flexível, ela é mais indicada para grandes instalações e projetos industriais complexos

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os 3 softwares de *middleware*.

Tabela 1 - Comparação entre os diferentes *middleware*

	<b>vNode</b>	<b>Kepware</b>	<b>Ignition</b>
<b>Protocolos Suportados</b>	OPC UA, Siemens S7, MQTT, etc.	OPC UA, Modbus, Siemens S7, BACnet, etc.	OPC UA, Modbus, Siemens S7, IoT, etc.
<b>Escalabilidade</b>	Boa para projetos pequenos e médios	Alta escalabilidade, ideal para grandes instalações	Alta escalabilidade para grandes empresas
<b>Integração com Nuvem/IoT</b>	Suporte a nuvem e IoT (flexível)	Suporte limitado a nuvem e IoT	Excelente suporte a nuvem e IoT
<b>Licenciamento</b>	Flexível e de baixo custo	Licenciamento baseado em drivers e TAGs	Licenciamento baseado em clientes conectados
<b>Facilidade de Implementação</b>	Fácil de implementar e configurar	Requer configuração mais complexa	Requer maior configuração e hardware
<b>Custo</b>	Baixo custo, ideal para protótipos	Baixo custo, ideal para protótipos	Mais caro devido ao licenciamento por cliente

<b>Principal Vantagem</b>	Leve, modular e de baixo custo	Suporte a uma vasta gama de dispositivos e protocolos	Plataforma completa para SCADA/MES, forte em IoT e visualização
<b>Desvantagens</b>	Menos adequado para grandes instalações	Custo elevado, mais adequado para grandes empresas	Mais complexo e caro para pequenas implementações

A escolha do *vNode* para o projeto é justificada pela sua flexibilidade e custo-benefício. Para projetos de menor porte ou experimentais, onde a simplicidade e a modularidade são essenciais, o *vNode* oferece uma solução eficaz, de fácil implementação e com bom suporte a protocolos industriais essenciais como OPC UA e Siemens S7. A sua capacidade de realizar pré-processamento de dados antes de os enviar para a nuvem ou sistemas superiores garante eficiência de rede e redução de latência. Além disso, o *vNode* permite a integração com IoT e tecnologias emergentes, o que o torna uma escolha estratégica para projetos de Indústria 4.0. Comparado com o *Kepware*, que é mais adequado para grandes instalações industriais, e o *Ignition*, que pode ser excessivamente complexo e caro para implementações menores, o *vNode* é a solução mais adequada para integração rápida e início do processo de digitalização industrial.

## 2.4. Protocolos de Comunicação Utilizados

### 2.4.1. OPC UA

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) [16] é um protocolo de comunicação padronizado para a troca de dados industriais, desenvolvido pela OPC Foundation. É a evolução do protocolo clássico OPC baseado em COM (Component Object Model) / DCOM (Distributed Component Object Model), com uma arquitetura moderna, independente de plataforma e orientada a serviços (SOA - Service Oriented Architecture).

Entre as principais características do OPC UA destacam-se:

**Interoperabilidade:** Suporta a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes e sistemas heterogêneos, promovendo a integração em ambientes industriais complexos.

**Independência de Plataforma:** Pode ser implementado em diversos sistemas operativos (Windows, Linux, etc.) e dispositivos, desde servidores de alto desempenho até equipamentos embebidos.

**Segurança Avançada:** Inclui mecanismos robustos de segurança como encriptação de dados, autenticação de utilizadores, controlo de acesso e assinaturas digitais.

**Modelação de Informação:** Permite a representação estruturada e semântica dos dados, através de modelos de informação extensíveis, que facilitam a compreensão e o uso dos dados por aplicações externas.

**Escalabilidade:** Pode ser utilizado em sistemas locais simples ou em arquiteturas distribuídas e complexas, com suporte a comunicação em tempo real ou por subscrição.

Graças a estas funcionalidades, o OPC UA é amplamente utilizado como pilar fundamental da Indústria 4.0, facilitando a digitalização dos processos produtivos, a monitorização remota e a integração com sistemas de análise e gestão (SCADA, MES, ERP, etc.).

#### **2.4.2. S7**

O protocolo S7 é um protocolo de comunicação industrial desenvolvido pela Siemens, utilizado para a troca de dados entre sistemas de controlo e automação, nomeadamente os PLCs da família Siemens S7. É um protocolo proprietário, mas amplamente suportado em ambientes industriais devido à grande implementação de soluções Siemens no mercado.

Principalmente utilizado para comunicação entre PLCs Siemens e dispositivos externos (como sistemas SCADA, HMI's ou servidores de recolha de dados), leitura e escrita direta de variáveis nos endereços de memória dos controladores bem como monitorização e diagnóstico de processos industriais em tempo real.

Características principais:

**Alta performance em tempo real:** Permite a troca de dados com baixa latência, essencial para aplicações de controlo e monitorização contínua.

**Integração nativa com dispositivos Siemens:** Suporta comunicação direta com a maioria dos modelos de PLCs da Siemens (ex.: S7-300, S7-400, S7-1200, S7-1500).

**Simple de implementar:** Muitos softwares industriais e plataformas de recolha de dados, como o *vNode*, incluem suporte nativo ao protocolo S7, facilitando a configuração.

**Baseado em comunicação TCP/IP:** Em versões mais recentes, o protocolo é suportado sobre redes Ethernet industriais, permitindo integração em arquiteturas de rede modernas.

Apesar de ser proprietário, o protocolo S7 é amplamente utilizado em soluções de automação e é compatível com diversas ferramentas de integração, tornando-se uma peça chave em sistemas de recolha de dados industriais.

Tabela 2 - Comparação entre OPC UA e S7

	<b>OPCUA</b>	<b>S7</b>
<b>Origem</b>	Padrão aberto, desenvolvido pela OPC Foundation	Protocolo proprietário da Siemens
<b>Arquitetura</b>	Orientada a serviços (SOA), baseada em objetos e modelos	Comunicação direta a nível de memória do PLC
<b>Interoperabilidade</b>	Elevada, entre múltiplos fabricantes e sistemas	Limitada principalmente a dispositivos Siemens
<b>Segurança</b>	Avançada (encriptação, autenticação, controlo de acesso)	Básica; segurança depende da configuração de rede
<b>Modelação de Dados</b>	Suporte completo a modelos de informação estruturados e semânticos	Sem suporte nativo para modelação complexa
<b>Escalabilidade</b>	Elevada; adequado para redes distribuídas e sistemas de nuvem	Limitada a redes locais e aplicações específicas
<b>Facilidade de integração</b>	Requer maior configuração inicial, mas oferece flexibilidade	Integração rápida com dispositivos Siemens
<b>Aplicações Típicas</b>	Integração de sistemas heterogéneos, IIoT, Indústria 4.0	Controlo direto, leitura/escrita em PLCs Siemens

## 2.5. Tipos de PLC

Nesta secção são apresentados os modelos de PLCs utilizados.

### 2.5.1. S7-300



*Figura 3 - PLC da gama S7-300*

O S7-300 é um controlador lógico programável modular, concebido para aplicações industriais de média complexidade. Esta série foi, durante muitos anos, uma das mais utilizadas na automação industrial, graças à sua flexibilidade, variedade de módulos de entrada/saída e de comunicação. Embora ainda esteja presente em muitas instalações, trata-se de uma gama mais antiga, que a Siemens tem vindo a descontinuar progressivamente, substituindo-a pela família mais moderna S7-1500.

## 2.5.2. S7-400



*Figura 4 - PLC da gama S7-400*

O S7-400, destina-se a aplicações de maior dimensão e complexidade, sendo ideal para o controlo de processos contínuos e sistemas de automação distribuída, como em grandes instalações industriais, centrais de energia ou sistemas SCADA. Estes PLCs oferecem elevada capacidade de processamento e permitem a expansão com um grande número de módulos. São muito utilizados em ambientes onde é necessário garantir elevada fiabilidade e performance, embora também estejam a ser gradualmente substituídos por soluções mais recentes.

## 2.5.3. S7-1200



**Figura 5** – PLC da gama S7-1200

O S7-1200 é um autômato compacto, voltado para aplicações de pequena escala, como máquinas simples, automação de edifícios ou projetos didáticos. Têm entradas e saídas integradas, ocupando pouco espaço, e oferecem uma excelente relação custo-benefício. Estes PLCs já utilizam o ambiente de programação TIA Portal e incluem de base funcionalidades de comunicação via *ProfiNet*, além de suportarem expansões e módulos adicionais.

#### 2.5.4. S7-1500



**Figura 6** – PLC da gama S7-1500

O S7-1500 representa a linha mais moderna e avançada da Siemens. São modulares e destinam-se a uma vasta gama de aplicações, desde sistemas médios até grandes unidades industriais. Estes PLCs combinam alta performance com funcionalidades avançadas de diagnóstico, segurança integrada, comunicação via *ProfiNet* e *ProfiBus*, e ainda suporte para aplicações de *motion control* e integração com a Indústria 4.0. A sua interface gráfica com visor a cores facilita bastante a monitorização local e a manutenção. Toda a programação é feita no *TIA Portal*, o que permite uma integração total com outros dispositivos e sistemas da Siemens.

## 2.6. Elementos Adicionais

### 2.6.1. Processador de Comunicação

Um processador de comunicação ou CP (*Communication Processor*) nos PLCs da *Siemens* é um módulo dedicado à gestão de comunicações entre o autômato

programável e outros dispositivos ou redes industriais. Estes processadores são utilizados para expandir as capacidades de comunicação do CPU principal, permitindo, por exemplo, a ligação a redes *Profinet*, *Profibus*, *Modbus*, *GPRS (General Packet Radio Service)*, *Ethernet industrial*, entre outras. Dependendo do modelo, um CP pode servir para comunicações entre PLCs, ligação a sistemas SCADA, comunicação com a *cloud* ou integração em redes de automação mais complexas. A utilização de CPs é essencial em arquiteturas distribuídas ou quando se pretende isolar redes de produção por motivos de desempenho ou segurança. [17]

### **2.6.2. Encaminhamento**

No contexto de redes industriais, o termo encaminhamento (*routing*) refere-se ao processo de direcionar pacotes de dados entre redes diferentes, permitindo que dispositivos em sub-redes distintas comuniquem entre si.

O encaminhamento permite, por exemplo, que um PLC numa fábrica (rede 1) comunique com um sistema SCADA ou sistema de supervisão num centro de dados (rede 2). Pode também ser usado quando se pretende isolar redes, como as redes internas das máquinas e a rede OT, mantendo a comunicação entre elas de forma controlada e segura. [18]



### 3. Desenvolvimento das Atividades do Estágio

Este capítulo apresenta as atividades elaboradas no âmbito do estágio. Não são apresentadas arquiteturas de rede nem endereçamento IP dos equipamentos, por questões de segurança da própria empresa, embora tenha sido uma atividade obrigatória no âmbito do projeto

#### 3.1. Teste de Comunicação

##### 3.1.1. Seleção das Máquinas para Teste

Para testar o *vNode* e a comunicação foram escolhidos a Rebobinadora e o sistema de pré-aquecimento de água da caldeira (tanque *Makeup*) de uma das máquinas de papel, ambos equipamentos estão fora da transformação.

A Rebobinadora, equipada com um PLC da gama S7-300 com comunicação *Profinet*, não comunica com outras máquinas sendo apenas necessário configurar o seu IP para o intervalo de endereços da rede OT. Outra vantagem foi a proximidade da sala técnica com um dos quadros da rede OT.

O tanque *Makeup* utiliza o PLC da gama S7-1200, mas como não existia nenhuma porta de rede disponível, terá de ser adicionado um CP e o IP será configurado para o intervalo de endereços da rede OT. À semelhança da Rebobinadora, existe a vantagem de o equipamento estar na mesma sala que um dos quadros da rede OT.

##### 3.1.2. Modificações Realizadas

No caso da Rebobinadora foi necessário alterar o IP para o intervalo de endereços de IP da rede OT. A figura 7 mostra a janela do software *Step7* da *Siemens* onde é feita essa alteração. Parte do endereço foi ocultada por questões de cibersegurança.

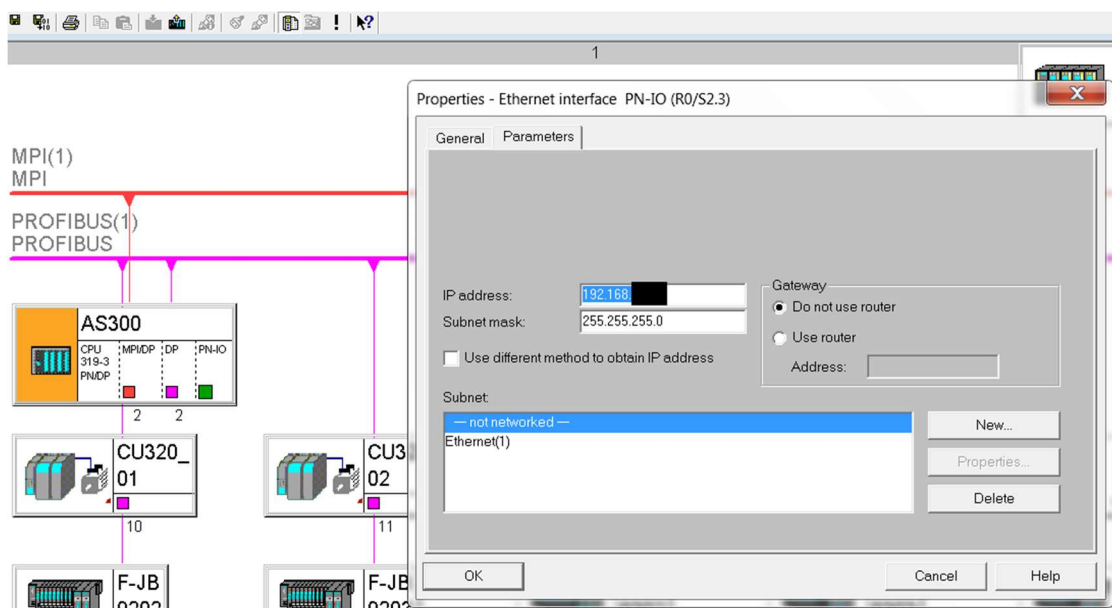


Figura 7 – Janela de edição das ligações do software *Step7* Clássico

No caso do tanque *Makeup* foi instalado um CP de *Profinet* com o IP configurado para o intervalo de endereços de IP da rede OT. A maior dificuldade foi conseguir uma janela de tempo para a paragem do equipamento, tendo este uma função crucial no abastecimento de águas das caldeiras e qualquer alteração de *hardware* de um PLC requer que este passe para o modo STOP.

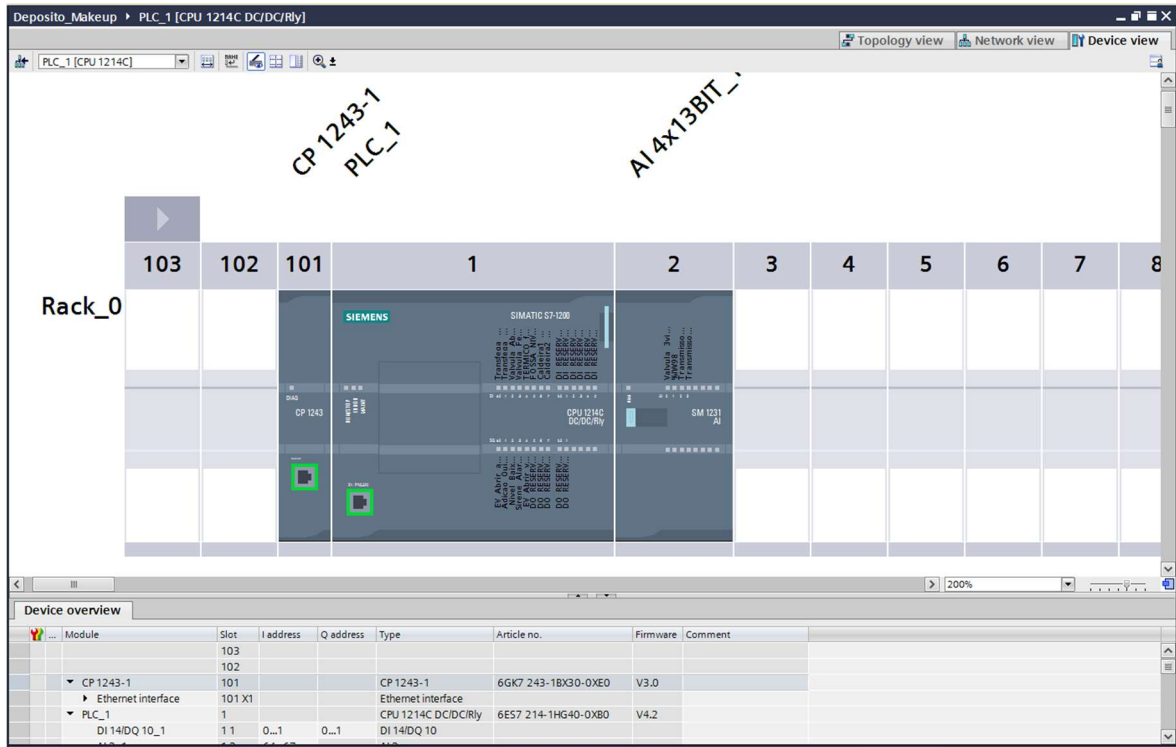
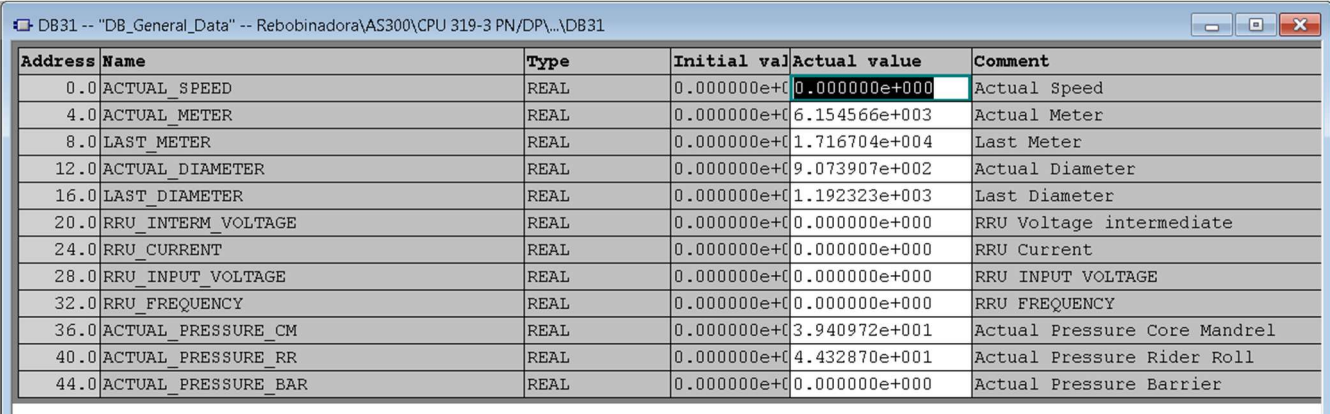


Figura 8 – Janela de alteração de hardware no TiaPortal

### 3.1.3. Seleção dos Parâmetros Monitorizados e Mapeamento das DBs

Para o *vNode* ter acesso a uma variável do PLC quando se utiliza o protocolo S7, é necessário especificar o endereço exato da variável, como uma entrada digital, uma área de memória ou um campo específico dentro de uma base de dados (DB). Foram escolhidas algumas variáveis críticas que deviam ser monitorizadas, e no projeto do PLC foram identificados os endereços.

A figura 9 mostra o exemplo real da estrutura de uma DB da Rebobinadora.



Address	Name	Type	Initial value	Actual value	Comment
0.0	ACTUAL_SPEED	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	Actual Speed
4.0	ACTUAL_METER	REAL	0.000000e+00	6.154566e+003	Actual Meter
8.0	LAST_METER	REAL	0.000000e+00	1.716704e+004	Last Meter
12.0	ACTUAL_DIAMETER	REAL	0.000000e+00	9.073907e+002	Actual Diameter
16.0	LAST_DIAMETER	REAL	0.000000e+00	1.192323e+003	Last Diameter
20.0	RRU_INTERM_VOLTAGE	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	RRU Voltage intermediate
24.0	RRU_CURRENT	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	RRU Current
28.0	RRU_INPUT_VOLTAGE	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	RRU INPUT VOLTAGE
32.0	RRU_FREQUENCY	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	RRU FREQUENCY
36.0	ACTUAL_PRESSURE_CM	REAL	0.000000e+00	3.940972e+001	Actual Pressure Core Mandrel
40.0	ACTUAL_PRESSURE_RR	REAL	0.000000e+00	4.432870e+001	Actual Pressure Rider Roll
44.0	ACTUAL_PRESSURE_BAR	REAL	0.000000e+00	0.000000e+000	Actual Pressure Barrier

Figura 9 – Exemplo de uma DB do projeto de PLC da Rebobinadora

## 3.2. Configuração do vNode

Nas secções seguintes será descrita toda a configuração do vNode e serão mostrados os resultados da monitorização das variáveis.

### 3.2.1. Criação dos módulos

Para cada tipo de comunicação, além de adquirir licença é necessário adicionar esse módulo ao projeto. A figura 10 ilustra como é feita a criação de um módulo.

Apenas é necessário um módulo para cada tipo de comunicação, é visível na figura que é utilizado um módulo *SiemensClient* (comunicação S7) e um módulo OPC UA.

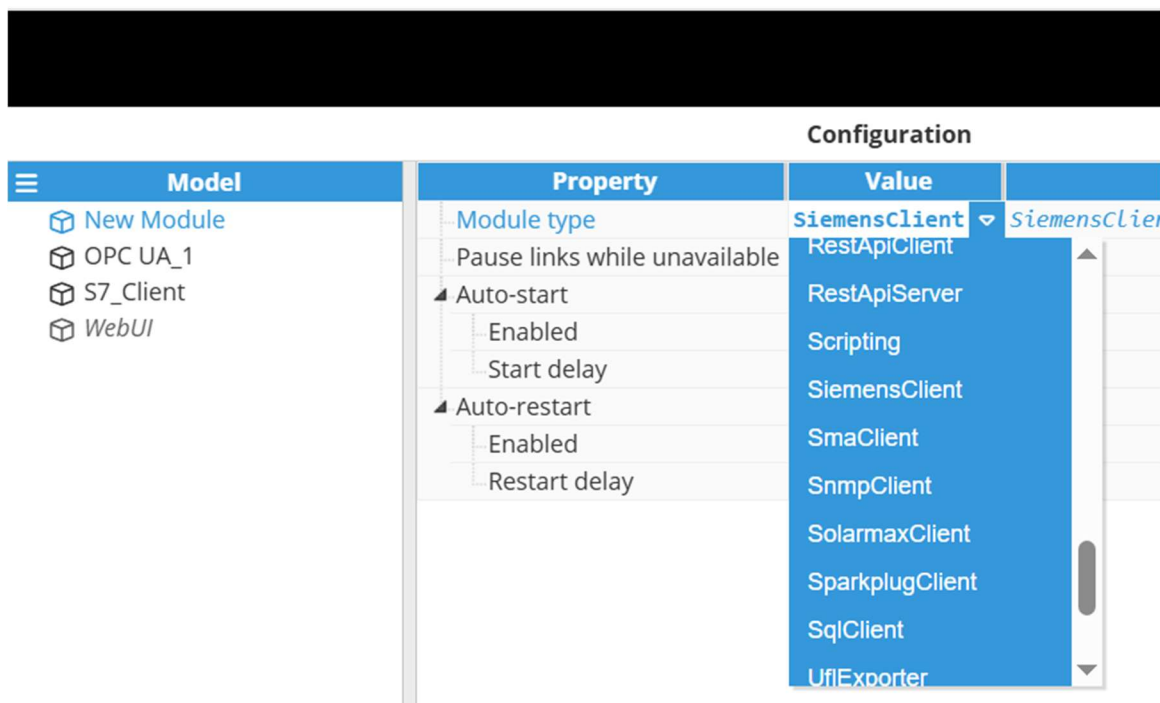


Figura 10 – Janela de criação de módulos de comunicação no vNode

O passo seguinte é criar o PLC com o qual se estabelece a ligação com esse módulo. A figura 11 ilustra a configuração do PLC da Rebobinadora dentro do módulo *S7\_Client*. É importante referir que na maioria dos casos o *rack* será 0. No

entanto o *slot* vai variar, no caso de um PLC da gama S7-300 ou S7-400 é 2. No caso de um PLC da gama S7-1200 ou S7-1500 é 1. Quando é utilizado um CP é o *slot* em que este é inserido nas configurações do hardware.

Property	Value
PLC_Rebobinadora	<device>
Modified	2025/03/14 16:21:08
User version	
Custom properties	...
Enable data collection	Yes
Request timeout	3000
Retry attempts	3
Inter-request delay	0
Block size	512
Connection	
IP address	192.168. [REDACTED]
Rack	0
Slot	2
Reconnection delay	60000

Figura 11 – Janela de configuração de um PLC dentro do módulo SiemensClient

### 3.2.2. Criação das TAGs para a Rebobinadora e Tanque Makeup

No caso do módulo de comunicação S7 cada TAG é inserida manualmente como é mostrado na figura 12.

Property	Value
RAW range	
Minimum	0
Maximum	1000
Engineering Units range	
Minimum	0
Maximum	1000
Clamp values	
Minimum	No
Maximum	No
Source	
Enabled	Yes
Module type	SiemensClient
Module name	S7_client
Config	
Device	PLC_Rebobinadora
S7 Address	db31:0
Data type	Float32
Scan rate	5000

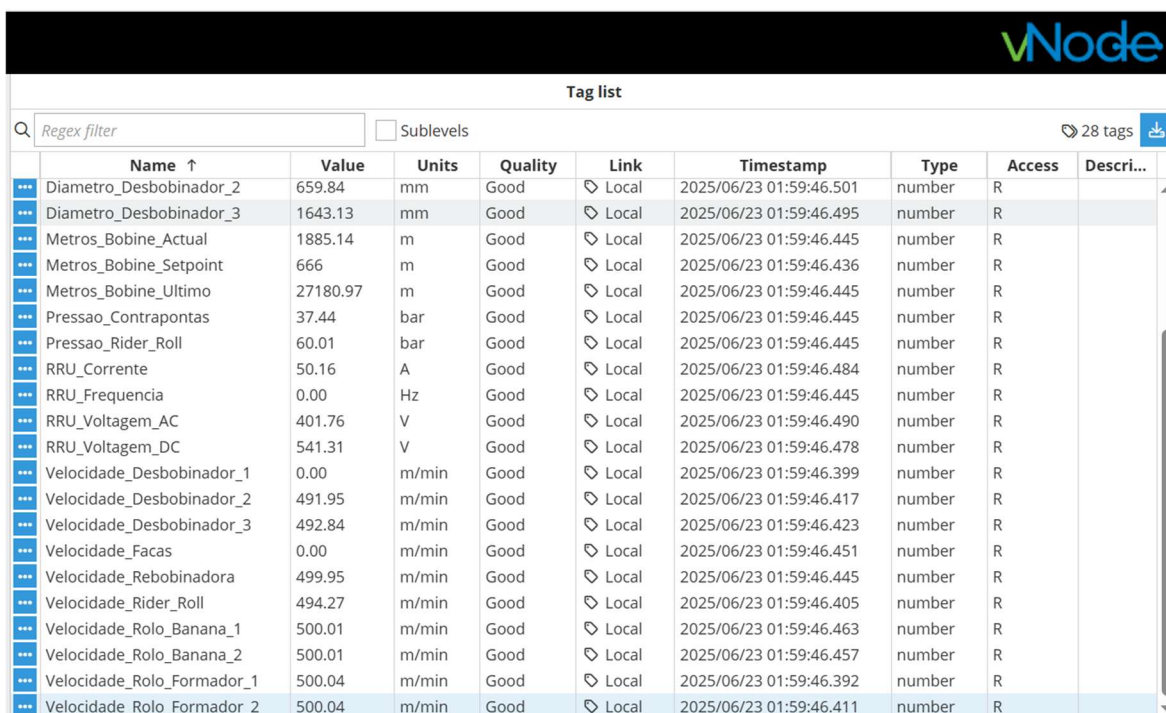
Figura 12 – Exemplo de configuração de uma TAG

Para cada uma das variáveis dentro dos parâmetros *Source* é necessário escolher o tipo do módulo, o nome do módulo criado no projeto, o nome do *Device*, endereço S7 e o tipo dos dados.

No entanto o *vNode* permite exportar e importar as TAGs em formato CSV (*Comma Separated Values* ou Valores Separados por Vírgula) o que facilita imenso quando se trabalha com um volume grande de variáveis.

### 3.2.3. Visualização dos Dados

A figura 13 mostra a leitura dos dados da Rebobinadora em tempo real. As variáveis são lidas a cada *5000 ms*, definido como intervalo de leitura padrão, no futuro algumas variáveis mais críticas vão ser alteradas para serem lidas a cada *1000 ms* para permitir uma análise mais detalhada.



Name ↑	Value	Units	Quality	Link	Timestamp	Type	Access	Descri...
Diametro_Desbobinador_2	659.84	mm	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.501	number	R	
Diametro_Desbobinador_3	1643.13	mm	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.495	number	R	
Metros_Bobine_Actual	1885.14	m	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
Metros_Bobine_Setpoint	666	m	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.436	number	R	
Metros_Bobine_Ultimo	27180.97	m	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
Pressao_Contrapontas	37.44	bar	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
Pressao_Rider_Roll	60.01	bar	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
RRU_Corrente	50.16	A	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.484	number	R	
RRU_Frequencia	0.00	Hz	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
RRU_Voltagem_AC	401.76	V	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.490	number	R	
RRU_Voltagem_DC	541.31	V	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.478	number	R	
Velocidade_Desbobinador_1	0.00	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.399	number	R	
Velocidade_Desbobinador_2	491.95	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.417	number	R	
Velocidade_Desbobinador_3	492.84	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.423	number	R	
Velocidade_Facas	0.00	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.451	number	R	
Velocidade_Rebobinadora	499.95	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.445	number	R	
Velocidade_Rider_Roll	494.27	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.405	number	R	
Velocidade_Rolo_Banana_1	500.01	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.463	number	R	
Velocidade_Rolo_Banana_2	500.01	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.457	number	R	
Velocidade_Rolo_Formador_1	500.04	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.392	number	R	
Velocidade_Rolo_Formador_2	500.04	m/min	Good	Local	2025/06/23 01:59:46.411	number	R	

Figura 13 – Leitura das variáveis da Rebobinadora em tempo real.

### 3.2.4. Módulo OPC UA do vNode

O OPC UA sendo um protocolo de comunicação mais moderno é muito mais simples do lado do cliente (*vNode*). Uma vez configurado o servidor (PLC) todas variáveis ficam disponíveis para leitura. A figura 14 mostra a janela de configuração de um módulo de OPC UA e a figura 15 mostra as variáveis obtidas em tempo real.

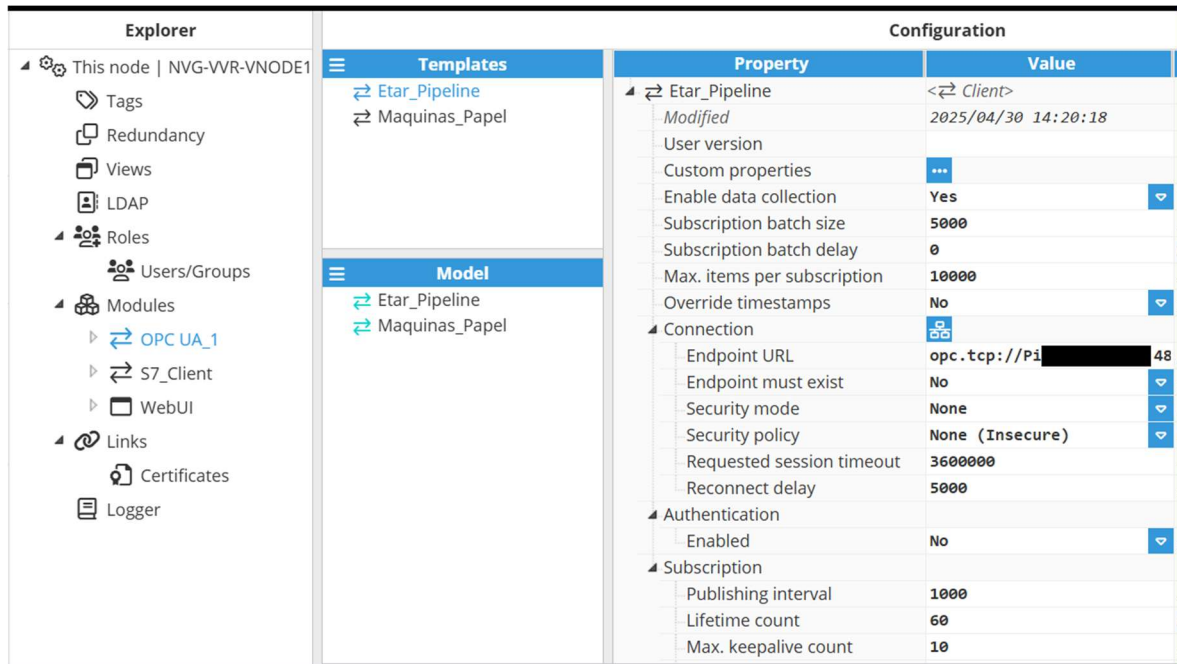


Figura 14 – Janela de configuração do módulo OPC UA

É importante referir que o vNode obtém do servidor a lista de variáveis conforme os nomes simbólicos definidos no PLC. Para satisfazer os requisitos do *Uniformance* alguns nomes têm de ser alterados manualmente.

Name ↑	Value	Units	Quality	Link	Timestamp	Type	Access
T403_TOC2	0		Good	Local	2025/05/12 12:58:04.584	number	R
T403_TP	1.1650029420852661		Good	Local	2025/06/23 01:57:43.623	number	R
T403_TP1	1.1650029420852661		Good	Local	2025/06/23 01:57:43.623	number	R
T403_TP2	0		Good	Local	2025/05/12 12:58:07.579	number	R
T403_condutividade	1461.40771484375		Good	Local	2025/06/23 01:58:33.623	number	R
T403_nivel	54.77430725097656		Good	Local	2025/06/23 01:58:33.623	number	R
T403_pH	7.0546875		Good	Local	2025/06/23 01:58:23.623	number	R
T403_temperatura	31.727428436279297		Good	Local	2025/06/23 01:58:08.625	number	R
T501_nivel	27.741607666015625		Good	Local	2025/06/23 01:58:33.623	number	R
T502_nivel	29.74175262451172		Good	Local	2025/06/23 01:58:33.623	number	R
Tot_Caudal_Saida	1061195.875		Good	Local	2025/06/23 01:57:28.624	number	R
Tot_Entrada_Linha_1	599472		Good	Local	2025/06/22 14:59:14.300	number	R
Tot_Entrada_Linha_2	348620		Good	Local	2025/06/23 00:49:38.695	number	R
Tot_Lamas_Centrifuga_503	50		Good	Local	2025/06/18 15:34:09.962	number	R
Tot_Retorno_T101_TAM	298		Good	Local	2025/06/18 15:34:09.986	number	R
Tot_T102_DAF1	376391.21875		Good	Local	2025/06/23 01:58:23.623	number	R
caudal_CF501	1.0716146230697632		Good	Local	2025/06/23 01:58:34.023	number	R
caudal_CF502	1.0078125		Good	Local	2025/06/23 01:58:34.023	number	R
caudal_CF503	0.0010850694961845875		Good	Local	2025/06/23 01:58:34.023	number	R
caudal_Linha1	0		Good	Local	2025/06/22 15:27:23.672	number	R

Figura 15 – Lista de variáveis obtida por OPC UA

### 3.2.5. Exemplo da Integração com *Uniformance*

Ainda que não esteja incluído no âmbito deste projeto, é relevante apresentar um exemplo do resultado final esperado. A figura 16 mostra o gráfico da velocidade da Rebobinadora no *Uniformance*.

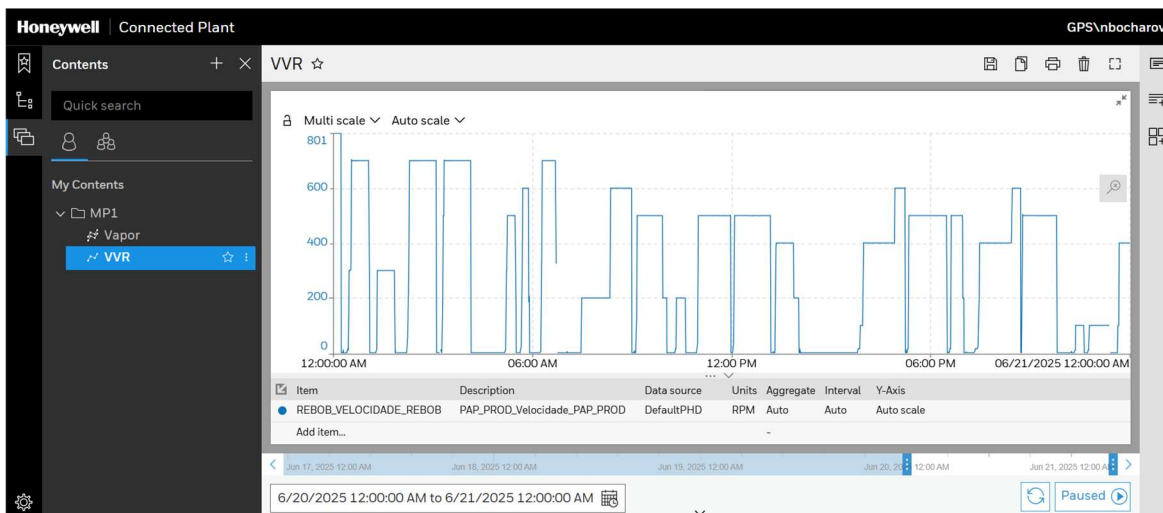


Figura 16 – Gráfico da velocidade da Rebobinadora no Uniformance

Analisando o gráfico podem ser extraídos tempos de paragem, comparadas velocidades de trabalho entre turnos ou em diferentes receitas de papel. É um processo muito mais simples comparado com registos manuais.

### 3.3. Atividades Desenvolvidas na Transformação

#### 3.3.1. Instalação dos CPs

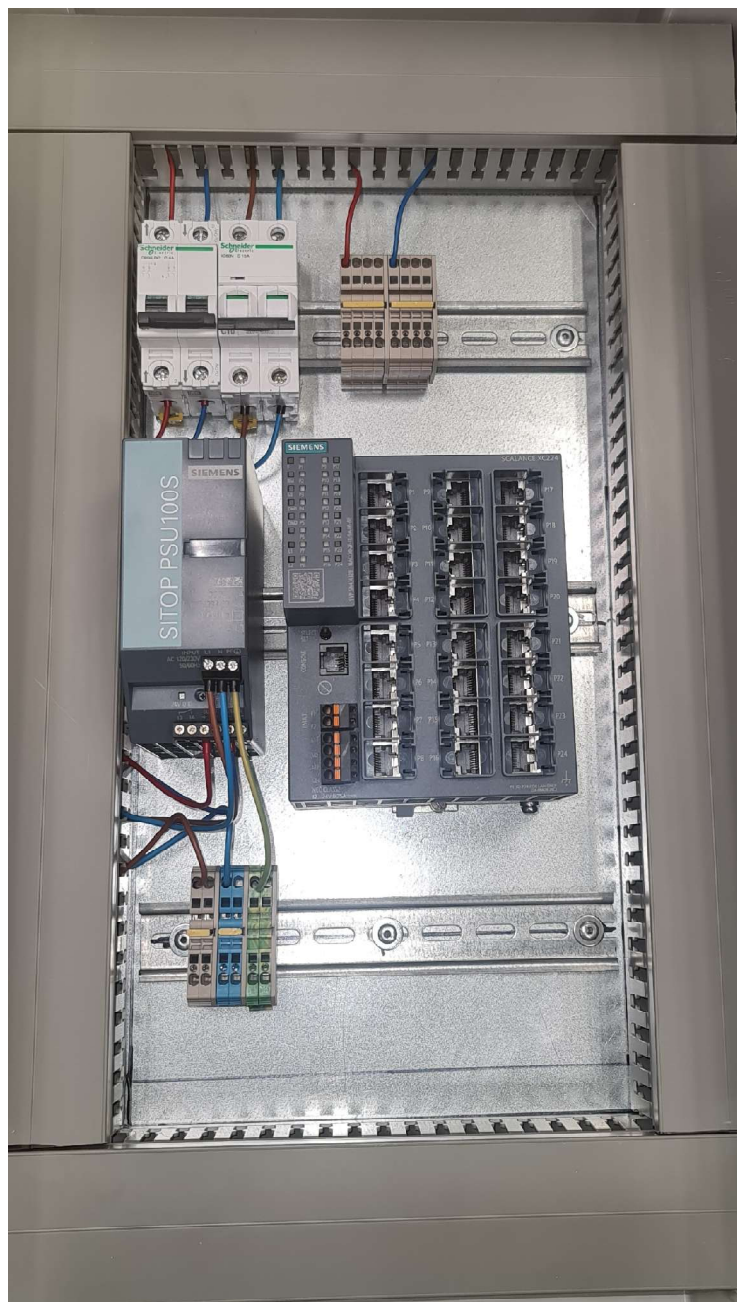
Foram instalados vários CPs nos PLCs das máquinas de transformação de modo a serem integrados na rede OT. A figura 17 mostra um exemplo real de um CP instalado na linha Doméstica 2. Como a unidade industrial funciona em laboração contínua maior dificuldade foi conseguir uma janela de tempo para alterar o *hardware*, além de ser um processo delicado visto que o projeto do hardware dos PLCs destas máquinas é complexo e é necessário fazer verificações para que não falte nenhum componente no projeto.



*Figura 17 – Fotografia do PLC principal da linha Doméstica 2*

### 3.3.2. Construção dos Quadros Elétricos

Foram construídos quadros elétricos a serem posicionados em sítios estratégicos da Transformação de modo a minimizar o número necessário dos quadros. A figura 18 mostra o exemplo da construção de um dos quadros.



*Figura 18 – Quadro Elétrico da rede OT*



## 4. Discussão dos Resultados

No âmbito deste projeto foram passados cerca de 1500 metros de cabos de comunicação na transformação, estando a rede OT pronta. Por questões de segurança não será apresentada a topologia de rede, no entanto cerca de 70 PLCs da transformação já podem ser integrados na rede OT faltando apenas a instalação de CPs que depende da disponibilidade orçamental.

A implementação da primeira fase do projeto permitiu validar a arquitetura proposta para a recolha e processamento de dados na zona de transformação. A infraestrutura de rede OT foi concretizada com sucesso, tendo sido instalados vários quadros elétricos estrategicamente distribuídos para suportar a comunicação entre os equipamentos, figura 19 é mostrado o quadro da rede OT que recebe os cabos de comunicação do tanque *Makeup*.

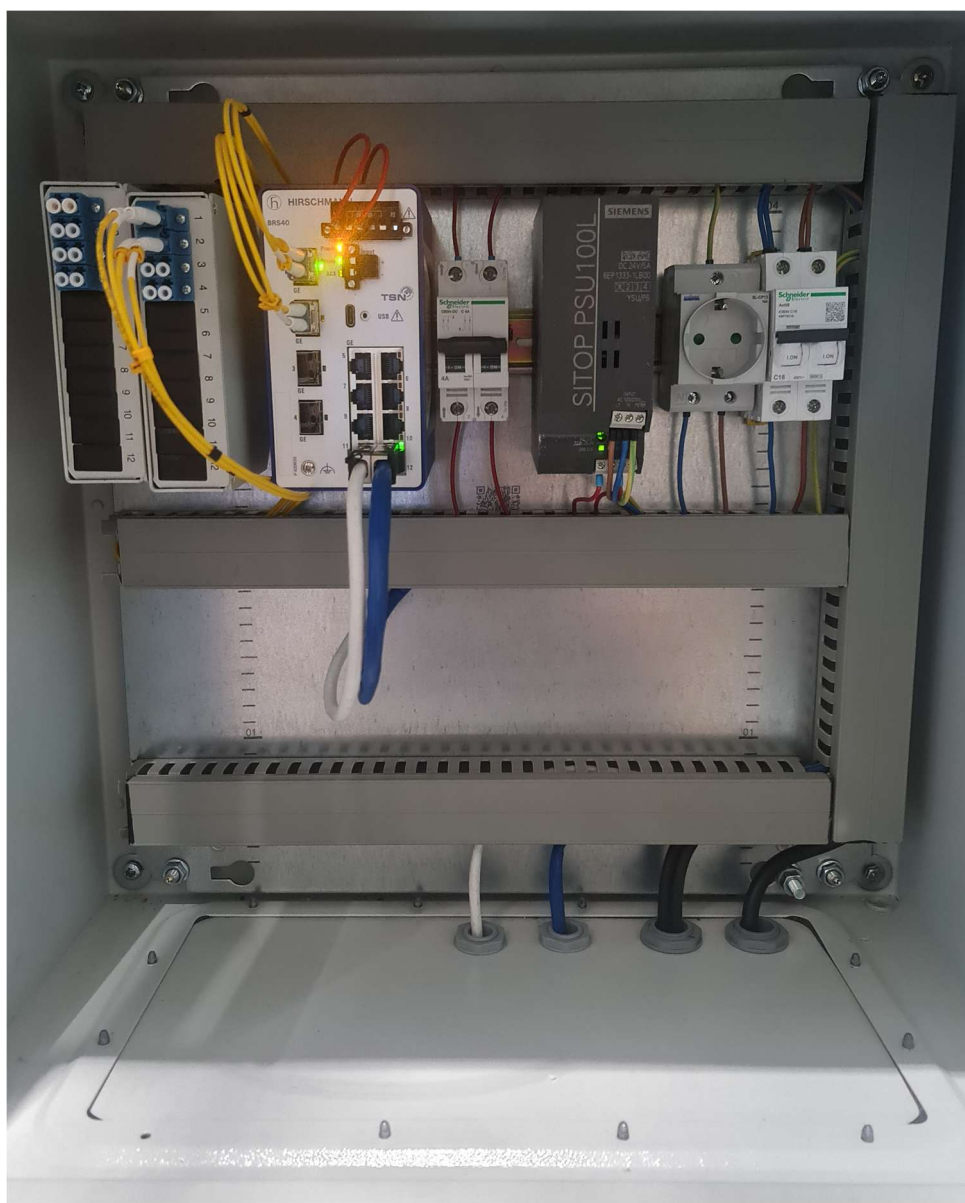


Figura 19 – Fotografia de um dos quadros da rede OT

A escolha da plataforma *vNode* revelou-se acertada, permitindo a integração com os diferentes modelos dos PLCs da *Siemens* utilizados na fábrica, através dos protocolos *S7* e *OPC UA*. A comunicação com os equipamentos-piloto, a *Rebobinadora* (figura 20) e o tanque *Makeup*, foi estabelecida com sucesso, confirmando a capacidade do sistema para adquirir dados em tempo real com fiabilidade e estabilidade.



*Figura 20 – Fotografia da Rebobinadora*

Durante o desenvolvimento, verificaram-se alguns desafios relevantes, nomeadamente no que diz respeito às paragens necessárias para intervenções nos PLCs. A operação de atualização de *firmware* e instalação de CPs exigiu uma cuidadosa coordenação com os responsáveis de produção, dada a criticidade de algumas das máquinas envolvidas. Além disso, o processo de mapeamento manual dos endereços revelou-se moroso, especialmente nos casos em que foi necessário identificar variáveis específicas nas bases de dados internas dos PLCs, alguns deles sem documentação de apoio ou comentários no código, dificultando a identificação das variáveis. Ainda assim, a utilização do formato *CSV* para importação de TAGs no *vNode* mostrou-se uma ferramenta eficaz para agilizar essa tarefa em projetos futuros.

Com a recolha e a visualização dos dados operacionais em tempo real, ficou demonstrado o potencial da solução para reduzir o esforço manual de recolha de dados, aumentar a fiabilidade da informação recolhida e permitir análises mais rápidas e fundamentadas. O sistema revelou-se também estável e flexível, permitindo ajustes dinâmicos nos tempos de amostragem consoante a criticidade das variáveis monitorizadas. Em suma, os resultados obtidos estão alinhados com os objetivos definidos no início do projeto, e validam a arquitetura proposta como uma base sólida para a digitalização da produção nesta unidade industrial.



## 5. Conclusões

A implementação da solução de recolha e processamento de dados, com base na arquitetura de rede OT e na utilização da plataforma vNode, revelou-se um sucesso. A fase piloto permitiu testar e validar a infraestrutura em ambiente real, demonstrando a fiabilidade da comunicação com os PLCs existentes e a estabilidade na aquisição de dados em tempo real. Esta base sólida permitirá, de forma escalável, dar continuidade ao projeto nas linhas de produção da zona de transformação, conforme a disponibilidade orçamental. Durante os testes, destacou-se um episódio relevante: a deteção precoce de uma avaria no tanque Makeup, situado numa zona com pouco movimento. Sem a solução implementada, a identificação do problema teria demorado muito mais tempo. Foi detetado que a temperatura do tanque desceu gradualmente durante alguns dias em vez de se manter no *setpoint* pretendido, o que por sua vez revelou um problema na abertura da válvula de vapor. Este exemplo reforça a importância da monitorização contínua e automatizada, especialmente em equipamentos críticos com baixa visibilidade operacional.

Para além dos benefícios técnicos e operacionais imediatos, o projeto reforça a importância estratégica de a empresa se alinhar com os princípios da Indústria 4.0. A digitalização dos processos, a recolha estruturada de dados e a integração com plataformas analíticas posicionam a organização para uma gestão mais proativa, baseada em dados e orientada para a eficiência. A solução desenvolvida constitui também um passo importante na preparação da empresa para os desafios futuros da Indústria 5.0, onde a colaboração entre sistemas inteligentes e o ser humano, bem como as preocupações com a sustentabilidade e o bem-estar no ambiente de trabalho assumem um papel central. A iniciativa agora concluída é, assim, não apenas uma melhoria técnica local, mas parte de uma estratégia mais ampla de transformação industrial sustentada.

### 5.1. Proposta de Trabalhos Futuros

Tendo em conta os resultados positivos obtidos na fase piloto, uma das principais propostas de continuação passa pela expansão da rede OT e do sistema vNode às restantes linhas de produção da zona de transformação. Esta expansão deverá ser realizada de forma faseada, acompanhando a disponibilidade orçamental e respeitando as mesmas diretrizes técnicas já testadas. Será importante, nesta fase, garantir a padronização da estrutura dos endereços de memória (TAGs) nos PLCs, com o objetivo de facilitar a futura integração com plataformas analíticas como o *Uniformance*, que exigem conformidade em termos de nomenclatura e estrutura de dados.

Outro aspeto relevante a desenvolver será a otimização do processo de mapeamento e introdução de TAGs, com a criação de *templates* reutilizáveis e documentação detalhada para cada tipo de equipamento. Esta padronização poderá incluir listas de variáveis críticas por tipo de máquina, bem como instruções para configuração dos módulos no vNode, o que permitirá acelerar a

implementação em novas linhas. Adicionalmente, poderá ser equacionada a criação de *dashboards* personalizados para visualização local ou remota das variáveis mais relevantes, apoiando os operadores e a equipa de manutenção na tomada de decisão em tempo real.

Por fim, e numa perspetiva de médio a longo prazo, recomenda-se a avaliação da aplicabilidade desta solução a outras áreas da unidade industrial, nomeadamente sistemas auxiliares como por exemplo as caldeiras e o despoeiramento, ou mesmo os sistemas de gestão energética. Esta extensão permitirá consolidar a arquitetura de recolha de dados como uma ferramenta transversal de suporte à produção e manutenção, promovendo uma cultura de melhoria contínua e alinhamento com os princípios da Indústria 4.0. Em simultâneo, abre-se espaço para, no futuro, incorporar práticas da Indústria 5.0, centradas na colaboração entre homem e máquina, bem como na promoção da sustentabilidade dos processos industriais.

## Bibliografia

[1] **McKinsey & Company.** (s.d.) *What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR?* Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir> [Consultado em junho de 2025]

[2] **Aucxis.** (s.d.) *TREND: the transition to Industry 4.0.* Disponível em: <https://rfid.aucxis.com/en/trend-the-transition-to-industry-4-0/> [Consultado em junho de 2025]

[3] **SimAnalytics.** (s.d.) *Transitioning from Industry 4.0 to Industry 5.0.* Disponível em: <https://simanalytics.com/insights/transitioning-from-industry-4.0-to-industry-5.0> [Consultado em junho de 2025]

[4] **vNode Automation.** (s.d.) *The communication platform for the Industrial Internet of Things.* Disponível em: <https://vnodeautomation.com/wp-content/uploads/files/documents/datasheet-vnode.pdf> [Consultado em junho de 2025]

[5] **Profibus and Profinet International.** (s.d.) *Technology Description.* Disponível em: <https://www.profinet.com/profinet-explained/technology-description> [Consultado em junho de 2025]

[6] **Profibus and Profinet International.** (s.d.) *PROFIBUS.* Disponível em: <https://www.profibus.com/technologies/profibus> [Consultado em junho de 2025]

[7] **Siemens AG.** (s.d.) *S7-300 Product Information.* Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/5000013> [Consultado em junho de 2025]

[8] **Siemens AG.** (s.d.) *S7-400 Product Information.* Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/5000014> [Consultado em junho de 2025]

[9] **Siemens AG.** (s.d.) *S7-1200 Product Information.* Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10045647> [Consultado em junho de 2025]

[10] **Siemens AG.** (s.d.) *S7-1500 Product Information.* Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10204162> [Consultado em junho de 2025]

[11] **Siemens A.G.** (s.d.) *Totally Integrated Automation Portal – Always ready for tomorrow.* Disponível em:

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html> [Consultado em junho de 2025]

[12] **Siemens AG.** (s.d.) *What properties, advantages and special features does the S7 protocol offer?* Disponível em:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/26483647/what-properties-advantages-and-special-features-does-the-s7-protocol-offer-?dti=0&dl=en&lc=pt-PT> [Consultado em junho de 2025]

[13] **Honeywell Process Solutions.** (s.d.) Real-time Digital Intelligence Through Unified Data, Analytics and Visualization. Disponível em: <https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/document-lists/pulp-and-paper/pmt-hps-uniformance-suite-brochure.pdf> [Consultado em junho de 2025]

[14] **Kepware.** (s.d.) O que é o KEPServerEX, como funciona e como pode ajudá-lo? Disponível em: <https://www.kepserverex.pt/o-que-e-o-kepserverex-como-funciona-e-como-pode-ajuda-lo/> [Consultado em junho de 2025]

[15] **Inductive Automation.** (s.d.) Fully Integrated Software Modules. Disponível em: <https://inductiveautomation.com/ignition/modules> [Consultado em junho de 2025]

[16] **OPC Foundation.** (s.d.) Unified Architecture. Disponível em: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> [Consultado em junho de 2025]

[17] **Siemens AG.** (s.d.) CP 443-1. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/en/Catalog/Products/9300114> [Consultado em junho de 2025]

[18] **Paul Brooks, Valerie Wilkins Tur.** (2017) Data in Transit: Routing approaches for complex industrial networks. Disponível em: <https://www.isa.org/intech-home/2017/january-february/departments/data-in-transit-routing-approaches-for-complex-ind> [Consultado em junho de 2025]