



Otimização do FISH: Hub de Simulação Totalmente Integrado

VÍTOR HUGO DIAS COSTA

Junho de 2025

Otimização do FISH: Hub de Simulação Totalmente Integrado (Fully Integrated Simulation Hub)

Vitor Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Informática, Área de Especialização em
Engenharia de Software

Orientador: Nuno Silva
Supervisor: Pedro Morim

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade.

Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Portanto, o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim. As exceções estão explicitamente reconhecidas na secção “Considerações éticas” do primeiro capítulo. Esta secção também declara como as ferramentas de IA foram utilizadas e para que finalidade.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

ISEP, Porto, 29 de junho de 2025

Resumo

Esta dissertação de tese descreve o desenvolvimento de um projeto cujo objetivo principal é melhorar o ambiente de testes da Continental, alinhando-o com os padrões da Indústria 4.0.

O atual ambiente de testes da Continental enfrenta várias limitações que comprometem diretamente a confiabilidade e a eficiência dos processos de validação de novas soluções. A principal limitação reside na incapacidade de replicar automaticamente condições de produção idênticas em diferentes versões de software e hardware. Esta falha resulta numa dependência de testes manuais, que não só exigem um elevado investimento de tempo e recursos, mas também estão sujeitos a erros humanos e inconsistências nos resultados.

Outro desafio relevante é a diversidade de máquinas presentes nas unidades de produção da Continental. Cada unidade possui um conjunto único de equipamentos e configurações, tornando o processo de teste mais complexo. Essa diversidade aumenta a probabilidade de variações nos testes, dificultando a comparação de resultados entre cenários distintos e comprometendo a uniformidade dos mesmos. Estas limitações representam um entrave significativo para a Continental na sua estratégia de alinhamento com a Indústria 4.0, onde a eficiência, a precisão e a recolha de dados em tempo real são fatores cruciais para a competitividade e a inovação. Assim, é essencial implementar uma solução que não apenas satisfaça as necessidades imediatas de consistência e fiabilidade nos testes, mas que também possua a capacidade de evoluir e adaptar-se a futuros desafios.

O principal objetivo deste projeto é desenvolver um ambiente de testes automatizado e configurável que possa replicar condições de produção com precisão e consistência. Isso é essencial para assegurar que novos desenvolvimentos sejam validados de forma eficaz antes de serem implementados nas linhas de produção. Com essa abordagem, procura-se melhorar a precisão, consistência e eficácia dos testes, reduzindo erros humanos e economizando tempo de testes em máquinas, ao mesmo tempo em que se aumenta a flexibilidade e a escalabilidade do processo de simulação.

Este projeto não apenas aborda as limitações imediatas do sistema existente, mas também fornece uma base robusta para a transformação digital da Continental, alinhando os processos de validação com os conceitos da Indústria 4.0 e garantindo que a empresa continue a liderar em inovação e competitividade no setor industrial.

Palavras-chave: Simulação de Produção, OPC UA, Ambiente de Testes, Indústria 4.0

Abstract

This thesis dissertation describes the development of a project whose main objective is to improve Continental's testing environment, aligning it with Industry 4.0 standards.

Continental's current testing environment faces several limitations that directly compromise the reliability and efficiency of the validation processes for new solutions. The primary limitation lies in the inability to automatically replicate identical production conditions across different versions of software and hardware. This shortfall results in a reliance on manual testing, which not only demands significant time and resources but is also prone to human errors and inconsistencies in results.

Another relevant challenge is the diversity of machines present in Continental's production facilities. Each facility has a unique set of equipment and configurations, making the testing process more complex. This diversity increases the likelihood of variations in tests, complicating the comparison of results across different scenarios and compromising uniformity. These limitations represent a significant obstacle for Continental in its strategy to align with Industry 4.0, where efficiency, accuracy, and real-time data collection are critical factors for competitiveness and innovation. Therefore, it is essential to implement a solution that not only meets the immediate needs for consistency and reliability in testing but also has the capacity to evolve and adapt to future challenges.

The main goal of this project is to develop an automated and configurable testing environment capable of replicating production conditions with precision and consistency. This is essential to ensure that new developments are effectively validated before being implemented on production lines. With this approach, the aim is to enhance the accuracy, consistency, and efficiency of testing, reducing human errors and saving machine testing time, while also increasing the flexibility and scalability of the simulation process.

This project not only addresses the immediate limitations of the existing system but also provides a robust foundation for Continental's digital transformation, aligning validation processes with Industry 4.0 concepts and ensuring that the company continues to lead in innovation and competitiveness within the industrial sector.

Keywords: Production Simulation, OPC UA, Test Environment, Industry 4.0

Conteúdo

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Acrónimos	xv
1 Introdução	1
1.1 Contexto	1
1.1.1 Continental	1
1.1.2 Continental Solution Center	1
1.2 Problema	1
1.3 Objetivos	4
1.4 Pressupostos e Restrições	5
1.4.1 Pressupostos	5
1.4.2 Restrições	5
1.5 Considerações Éticas	5
1.5.1 Privacidade e Proteção de Dados	6
1.5.2 Impacto na Força de Trabalho	6
1.5.3 Transparência no Desenvolvimento	6
1.5.4 Responsabilidade Ética no Uso do Sistema	6
1.6 Planeamento	6
1.6.1 Metodologia de Desenvolvimento	7
1.6.2 Estrutura Analítica do projeto	7
1.6.3 Cronograma	7
1.6.4 Riscos	10
1.7 Gestão de Competências	11
1.8 Estrutura da Dissertação	11
2 Estado de Arte	13
2.1 Metodologia de investigação	13
2.1.1 Questões de investigação	13
2.1.2 Hipóteses	14
2.1.3 Fontes de Informação	14
2.1.4 Termos de Pesquisa	14
2.1.5 Critérios de inclusão e exclusão	15
2.1.5.1 Critérios de inclusão	15
2.1.5.2 Critérios de exclusão	15
2.1.6 Diagrama de fluxo PRISMA	16
2.2 Conceitos	17
2.2.1 Testes na Indústria 4.0	17
2.2.2 Simulação de Sistemas de Produção	18
2.2.3 MES na Indústria 4.0	19
2.3 Protocolos de Comunicação Possíveis	20

2.3.1	OPC UA	20
2.3.2	MQTT	21
2.3.3	AMQP	22
2.3.4	Comparação das Tecnologias	23
3	Análise e Design	25
3.1	Análise do Sistema Atual	25
3.1.1	Análise dos Componentes	25
3.1.1.1	CSMI	25
3.1.1.2	CGMS Client	27
3.1.1.3	CGMS Server	28
3.1.1.4	Ferramenta de testes - FISH	28
3.1.2	Análise do Sistema	30
3.2	Design do Sistema	33
4	Implementação da Solução	37
4.1	Fases do Desenvolvimento	37
4.2	Estrutura do Ficheiro de Testes	38
4.2.1	Bloco Testes Automáticos	38
4.2.2	Estrutura de um Caso de Teste	39
4.3	Execução dos Testes e Validação do Ambiente Simulado	41
5	Conclusões	49
	Bibliografia	51
	Apêndice A Project Charter	53
	Apêndice B WBS	59
	Apêndice C Riscos	61

Lista de Figuras

1	Diagrama de Sistema	2
2	Diagrama de Sistema de Testes	4
3	Cronograma	8
4	Diagrama de fluxo Prisma	16
5	UI do CSMI	26
6	UI do CSMI	26
7	UI do CSMI	27
8	Ecrã Inicial do CGMS Client	27
9	Dashboard do CGMS Server	28
10	Ferramenta de Testes	29
11	Diagrama de Implantação	30
12	Análise do Sistema	31
13	Diagrama de Processos do Sistema	32
14	Análise do FISH	32
15	Design do Sistema	34
16	Design do FISH	34
17	Diagrama de Sequência do FISH - Design	35
18	Ordem das Funcionalidades	38
19	Validação das Variáveis com Sucesso	42
20	Validação das Variáveis a Falhar	42
21	Exemplo de Execução do Teste com Sucesso	43
22	Exemplo de Execução do Teste a Falhar	43
23	Estado do Sistema Antes da Ativação da Receita	44
24	Estado do Sistema Depois da Ativação da Receita	44
25	Estado do Sistema Antes da Produção	45
26	Estado do Sistema Depois da Produção	45
27	Alarmes	46
28	Perdas	47
29	Validção de Materiais	47

Lista de Tabelas

1	Cronograma do Projeto	8
2	Plano de gestão de competências	11
3	Fontes de informação	14
4	Termos de Pesquisa	15
5	Critérios de Inclusão	15
6	Critérios de Exclusão	16
7	Comparação das tecnologias	23

Lista de Acrónimos

AMQP	Advanced Message Queuing Protocol.
CGMS	Continental Global Manufacturing Systems.
CSMI	Continental Standard Machine Interface.
ERP	Enterprise resource planning.
IIoT	Industrial internet of things.
IoT	Internet of Things.
IoT-TEG	Internet of Things - Thermoelectric Generator.
MES	Manufacturing Execution System.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport.
OPC UA	Open Platform Communication Unified Architecture.
OPC UA FX	Open Platform Communication Unified Architecture Field eXchange.
PLC	Programmable Logic Controller.
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.
QoS	Quality of Service.
RAMI 4.0	Reference architecture model for Industrie 4.0.
SOA	Service-oriented architecture.
SSL	Secure Sockets Layer.
WBS	Work Breakdown Structure.

1. Introdução

Este documento apresenta o relatório da dissertação desenvolvido no âmbito de um projeto de estágio realizado na Continental Solution Center, com o objetivo de melhorar o ambiente de testes para simulação de cenários produtivos. A implementação dessa melhoria visa atender às demandas da Indústria 4.0, proporcionando um sistema mais automatizado e configurável.

Este trabalho detalha as motivações, o contexto, os desafios enfrentados, as soluções desenvolvidas e os resultados obtidos durante o projeto. A estrutura do documento foi organizada para fornecer uma compreensão clara e detalhada de todo o processo, desde a análise inicial até a conclusão e recomendações futuras.

1.1 Contexto

1.1.1 Continental

A Continental AG é uma multinacional alemã fundada em 1871, com sede em Hannover, Alemanha. Originalmente focada na produção de pneus, a empresa evoluiu ao longo das décadas para se tornar um dos maiores fornecedores automotivos do mundo. A Continental AG é conhecida por fornecer uma ampla gama de produtos e tecnologias automotivas, incluindo pneus, sistemas de travões, componentes para chassis e sistemas de segurança, além de soluções eletrônicas para veículos e sistemas de assistência ao motorista (Continental 2024).

1.1.2 Continental Solution Center

A *Continental Solution Center*, inaugurado em abril de 2023 em Lousado, Portugal, é uma iniciativa da Continental AG destinada a impulsionar a digitalização de soluções de pneus, processos de produção e fluxos de trabalho comerciais. Localizado nas proximidades da fábrica de pneus da empresa, o centro reúne equipas multidisciplinares especializadas em áreas como IT, inteligência artificial, análise aplicada, comércio eletrónico e engenharia industrial. (Schniewind 2023).

1.2 Problema

O ambiente de testes atualmente utilizado na Continental apresenta diversas limitações que afetam diretamente a fiabilidade, eficiência e escalabilidade dos processos de validação de software e hardware industriais. A principal dificuldade reside na incapacidade de replicar automaticamente as condições reais de produção, o que compromete a consistência dos testes executados.

Atualmente, os testes dependem de intervenção humana e são realizados de forma manual, tornando o processo demorado, suscetível a erros e inconsistências. Esta situação dificulta a comparação de resultados entre diferentes versões de software e configurações de hardware, uma vez que as condições de teste podem variar significativamente entre execuções.

Além disso, a diversidade de máquinas e perfis industriais presentes nas diferentes unidades fabris da Continental impõe desafios adicionais. Cada máquina pode ter requisitos específicos e comportamentos distintos, dificultando a criação de um ambiente de testes unificado e configurável. Essa falta de uniformização nos testes pode resultar em falhas na detecção de erros antes da implementação em produção, gerando custos elevados de retrabalho e possíveis impactos na qualidade dos produtos.

Outro desafio significativo é a integração e comunicação entre os diferentes componentes do sistema de testes. A transmissão de dados entre os PLCs (Programmable Logic Controllers), o CGMS (Continental Global Manufacturing Systems) e as ferramentas de teste deve ser fiável e segura, garantindo que as informações captadas sejam representativas da realidade produtiva.

O sistema atual enfrenta limitações ao nível da configurabilidade e automatização dos testes, não permitindo a simulação fiável de condições reais de produção, o que compromete a consistência, reprodutibilidade e escalabilidade no processo de validação de software e hardware industriais.

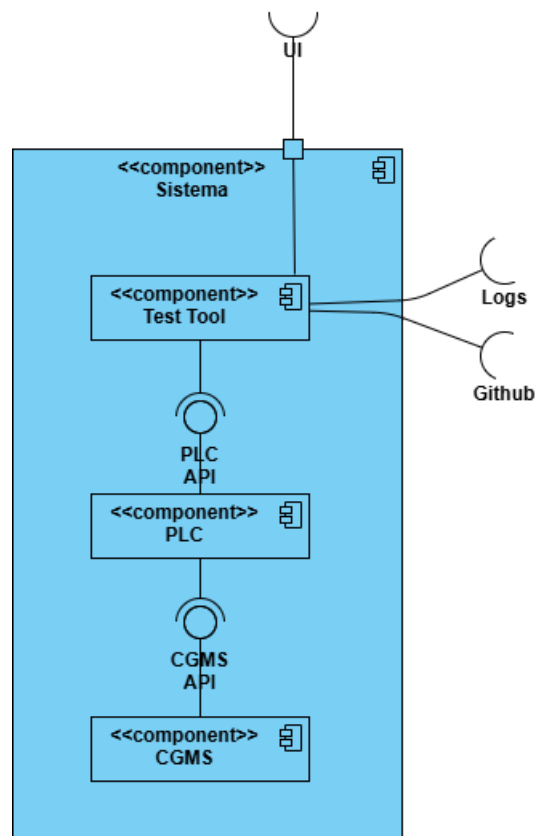


Figura 1: Diagrama de Sistema

Estas limitações afetam diretamente diferentes áreas da organização, cujos stakeholders enfrentam problemas distintos:

- Departamento de Desenvolvimento de Software:** Depara-se com dificuldades em validar novas versões de software de forma rápida e reprodutível, devido à inexistência de testes automatizados e ambientes configuráveis. Isso atrasa o ciclo de desenvolvimento e aumenta o risco de introdução de erros em produção.

- **Departamento de Produção:** Tem dificuldade em colaborar com o desenvolvimento de testes por falta de ferramentas que simulem fielmente os cenários produtivos. A ausência de simulações realistas impede uma validação eficaz das condições operacionais específicas de cada máquina.
- **Departamento de Qualidade:** Enfrenta limitações na verificação da consistência e precisão dos dados dos testes. A execução manual e pouco padronizada compromete a rastreabilidade dos resultados, dificultando a identificação de falhas antes da entrada em produção.

O sistema atual representado na Figura 1 é composto por três componentes principais: Continental Global Manufacturing Systems (CGMS), Ambiente de Produção (PLC ou Docker Environment) e a Ferramenta de Testes (Test Tool). Cada um desempenha um papel crucial para garantir o funcionamento integrado do sistema.

- **CGMS:** Este componente é responsável por gerir e conectar diferentes sistemas e componentes industriais. É neste componente que está localizada a base de dados responsável por armazenar os dados históricos e operacionais.
- **PLC ou Docker Environment:** Este componente representa o ambiente onde o servidor OPC UA e o *Continental Standard Machine Interface (CSMI)* operam. Ele é essencial para a integração dos dispositivos físicos e a simulação dos processos de produção.
 - **Servidor OPC UA:** É o componente central do sistema de comunicação, responsável por assegurar uma troca de dados fiável, segura e estruturada entre diferentes dispositivos e aplicações. Além de garantir a segurança através de mecanismos de autenticação e encriptação, também oferece interoperabilidade, integridade dos dados e suporte à modelação semântica, permitindo que sistemas heterogêneos comuniquem de forma padronizada e eficiente.
 - **CSMI:** Este é o módulo que conecta o servidor OPC UA ao restante do sistema. Ele assegura a comunicação bidirecional, enviando comandos para as máquinas e recebendo os dados de status.
- **Test Tool:** A ferramenta de teste é responsável por simular, monitorizar e validar os cenários de produção. Este é o componente principal do projeto.

A Figura 2 representa a *Test Tool* já existente que será a base para o desenvolvimento do trabalho proposto, composto por uma ferramenta central (*Test Tool*) composta por módulos essenciais, como serviços de registro de dados (*Logging Service*), configuração de parâmetros (*Configuration Settings*) e execução de scripts de teste (*Testing Scripts*).

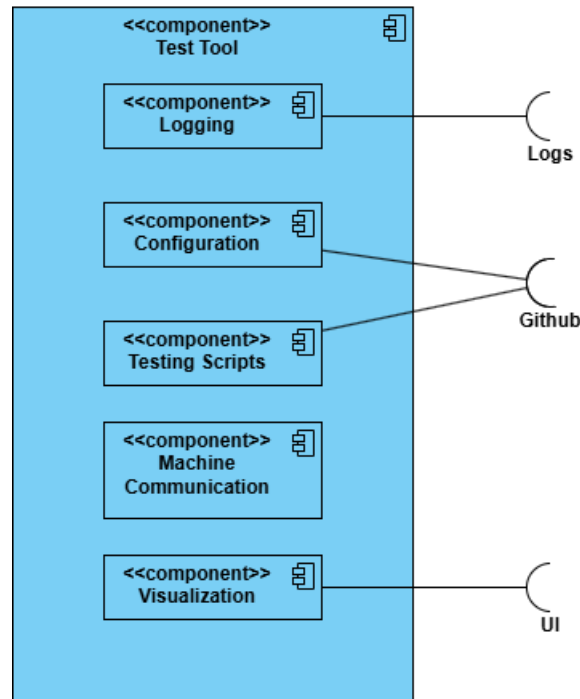


Figura 2: Diagrama de Sistema de Testes

1.3 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é desenvolver um ambiente de testes automatizado e configurável que possa replicar condições de produção com precisão e consistência. Isso é essencial para assegurar que novos desenvolvimentos sejam validados de forma eficaz antes de serem implementados nas linhas de produção.

Para alcançar esse objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. **Criar uma plataforma adaptável** que permita configurar cenários de teste compatíveis com diferentes máquinas e sistemas industriais.
2. **Automatizar a geração de variáveis e sinais de controle**, simulando o comportamento real de equipamentos.
3. **Expandir os cenários de teste**, abrangendo situações como perdas, alarmes e validações de materiais.
4. **Utilizar configurações predefinidas** para garantir testes reproduzíveis e realistas.
5. **Reproduzir automaticamente condições de produção**, validando diferentes versões de software e hardware.
6. **Validar os testes automaticamente**, comparando os resultados obtidos com os valores esperados de forma fiável.

A concretização destes objetivos permitirá à Continental melhorar significativamente a sua capacidade de simular ambientes produtivos, reduzir a incidência de erros humanos, poupar tempo nos testes de máquinas, garantir qualidade no processo de fabrico e tornar o processo de validação mais flexível.

1.4 Pressupostos e Restrições

1.4.1 Pressupostos

Os pressupostos são condições consideradas verdadeiras durante o planejamento e desenvolvimento deste projeto. Estas condições são fundamentais para o cumprimento dos objetivos e para a execução eficiente das atividades. No contexto deste trabalho, os pressupostos incluem:

- **Disponibilidade de Recursos Técnicos e Humanos:** Assume-se que os recursos necessários para o desenvolvimento do projeto estarão disponíveis. Isto inclui equipamentos adequados, acesso ao ambiente de testes e à infraestrutura de *hardware* e *software* necessária, além do envolvimento de profissionais qualificados das áreas de desenvolvimento, produção e qualidade.
- **Acesso à Documentação Técnica:** Supõe-se que será disponibilizada toda a documentação técnica necessária, incluindo especificações das máquinas, protocolos de comunicação e informações sobre os sistemas existentes. Este acesso é essencial para garantir a integração e o alinhamento do ambiente de testes com as condições reais de produção.

1.4.2 Restrições

As restrições representam limitações que podem impactar o desenvolvimento do projeto e que precisam ser consideradas para garantir a viabilidade da solução. Entre as principais restrições identificadas estão:

- **Conformidade com Padrões de Segurança e Qualidade:** O sistema deve estar em conformidade com os padrões estabelecidos pela Continental para garantir a segurança e a qualidade dos processos de teste e validação.
- **Capacidade do Hardware Existente:** A solução deve ser compatível com a infraestrutura de hardware disponível, respeitando os limites de desempenho e capacidade dos equipamentos já instalados.
- **Integração com o Ambiente Produtivo Real:** O ambiente de testes deve ser integrado ao ambiente produtivo da Continental, simulando condições reais de produção sem comprometer a operação em curso.
- **Dependência de Sistemas Externos:** A solução desenvolvida depende da interação com sistemas externos. A estabilidade e disponibilidade destes sistemas são fatores críticos para o sucesso do projeto.

1.5 Considerações Éticas

A implementação de projetos de engenharia, especialmente aqueles direcionados para a automação industrial, apresenta desafios que vão além dos aspectos puramente técnicos. As questões éticas do projeto devem ser levadas em consideração de forma séria, garantindo que todas as atividades estejam em conformidade com os padrões de integridade, transparência e responsabilidade social corporativa. Este capítulo explora as principais considerações éticas envolvidas no desenvolvimento de um ambiente de testes automatizado, bem como as estratégias adotadas para assegurar a conformidade ética ao longo do projeto.

1.5.1 Privacidade e Proteção de Dados

- **Respeito à Privacidade:** Durante o desenvolvimento, o projeto assegura que dados sensíveis relacionados à produção ou ao desempenho das máquinas sejam tratados de forma confidencial, garantindo que não sejam divulgados ou utilizados sem autorização.
- **Conformidade com Regulamentos:** Todos os dados recolhidos e simulados estão em conformidade com as políticas internas da Continental e com as regulamentações aplicáveis, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), onde aplicável.

1.5.2 Impacto na Força de Trabalho

- **Respeito pelos Colaboradores:** O projeto foi conduzido com a preocupação de não impactar negativamente os colaboradores envolvidos nos processos de produção, garantindo que a automação seja uma ferramenta de suporte, e não de substituição.
- **Formação e Transparência:** Foi promovida a formação dos funcionários para a utilização do ambiente de testes, assegurando que as mudanças introduzidas pelo projeto sejam compreendidas e aceites.

1.5.3 Transparência no Desenvolvimento

- **Engajamento dos Stakeholders:** Todos os *stakeholders* estão envolvidos no processo de design e implementação, garantindo a transparência na tomada de decisões e o alinhamento de expectativas.
- **Documentação Clara e Acessível:** O projeto prioriza a elaboração de documentação detalhada e acessível para garantir que todas as etapas sejam rastreáveis e auditáveis.

1.5.4 Responsabilidade Ética no Uso do Sistema

- **Prevenção de Mau Uso:** O ambiente de testes foi projetado para ser utilizado exclusivamente em contextos produtivos, prevenindo aplicações que possam desrespeitar padrões éticos ou comprometer a integridade das operações.
- **Monitorização e Atualizações:** A solução inclui mecanismos para monitorizar o seu uso e garantir que eventuais problemas éticos sejam rapidamente identificados e corrigidos.

1.6 Planeamento

O planeamento é uma etapa fundamental para garantir o sucesso deste projeto, permitindo organizar as atividades e definir os recursos necessários de forma estruturada. Este capítulo aborda a metodologia de desenvolvimento escolhida, as etapas detalhadas da abordagem *Design and Creation*, e ferramentas como a WBS, cronograma e análise de riscos. Estes componentes asseguram que o projeto seja conduzido de forma eficiente, com um controlo rigoroso e alinhado aos objetivos estabelecidos.

1.6.1 Metodologia de Desenvolvimento

Neste projeto, foi decidido a utilização da metodologia *Design and Creation*. Esta metodologia foi selecionada pela sua adequação a projetos que envolvem a concepção e implementação de artefactos tecnológicos, como sistemas ou ferramentas, destinados a resolver problemas práticos de forma eficiente e inovadora. A abordagem *Design and Creation* estrutura o processo de desenvolvimento em etapas bem definidas e iterativas, assegurando que a solução final cumpra os requisitos estabelecidos e os objetivos do projeto.

A abordagem de desenvolvimento adotada para este projeto segue a metodologia *Waterfall*, uma estratégia sequencial ideal para projetos com requisitos bem definidos. Este modelo organiza o trabalho em etapas lineares, garantindo que cada fase, levantamento de requisitos, concepção, desenvolvimento, testes e validação, e documentação, seja concluída antes de avançar para a próxima. A sua estrutura clara e previsível permite planejar detalhadamente o processo e assegurar que o ambiente de testes automatizado atenda aos objetivos estabelecidos (Objective 2021).

Na primeira etapa, serão identificados e documentados os requisitos funcionais e não funcionais, seguidos pela concepção da arquitetura do sistema e definição das tecnologias. Em seguida, o desenvolvimento será realizado de forma completa, implementando as funcionalidades. Ao longo do desenvolvimento, serão realizados testes de integração para verificar a solução e corrigir eventuais falhas. Após a construção e verificação do sistema, irá ser efetuado a sua validação e avaliação, culminando na preparação da documentação técnica e na entrega final do sistema.

A escolha do *Waterfall* justifica-se pela sua clareza, previsibilidade e foco na documentação, essenciais para um projeto desta natureza. Esta abordagem assegura o controlo rigoroso do progresso e a entrega de uma solução robusta, alinhada com as necessidades da Continental.

1.6.2 Estrutura Analítica do projeto

A *Work Breakdown Structure (WBS)*, ou Estrutura Analítica do Projeto, é uma ferramenta essencial utilizada para organizar e detalhar todas as atividades e entregas necessárias para a execução do projeto. Através da divisão hierárquica do trabalho, a WBS facilita o planeamento, a atribuição de responsabilidades e o controlo do progresso das atividades.

No âmbito deste projeto, a WBS, demonstrada no anexo B, foi estruturada em diferentes níveis, começando com as principais fases do desenvolvimento e subdividindo-se em tarefas específicas que refletem os objetivos e as entregas esperadas.

1.6.3 Cronograma

O cronograma do projeto foi elaborado com o objetivo de organizar e gerir as atividades de forma eficiente, garantindo o cumprimento dos prazos e a entrega das diferentes etapas dentro dos limites estabelecidos. A ferramenta de cronograma utilizada foi o **Diagrama de Gantt**, que permite visualizar as dependências entre tarefas e os prazos associados a cada atividade.

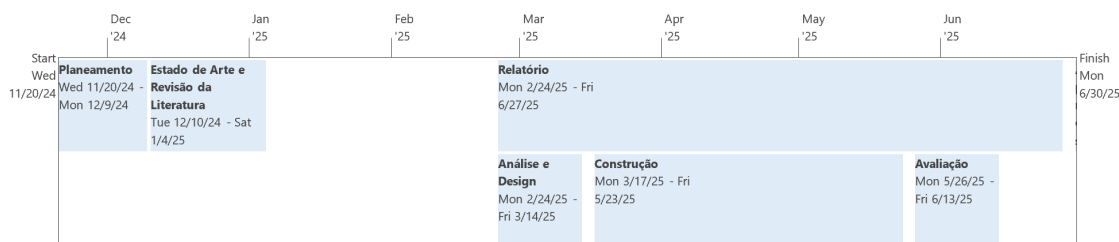


Figura 3: Cronograma

Tabela 1: Cronograma do Projeto

Fase	Atividade	Início	Término
1	Planeamento	20/11/24	09/12/24
1.1	Definição do Scope do Projeto	20/11/24	25/11/24
1.1.1	Estabelecer objetivos gerais e específicos	20/11/24	21/11/24
1.1.2	Identificar stakeholders e principais envolvidos	22/11/24	25/11/24
1.2	Planeamento	26/11/24	09/12/24
1.2.1	Criação de um WBS	26/11/24	02/12/24
1.2.2	Criação de um cronograma	03/12/24	09/12/24
2	Estado de Arte e Revisão da Literatura	10/12/24	04/01/25
2.1	Pesquisa de Referências e Estudos Relacionados	10/12/24	23/12/24
2.1.1	Levantamento de literatura relevante	10/12/24	16/12/24
2.1.2	Análise de metodologias e melhores práticas existentes	17/12/24	23/12/24
2.2	Revisão de Tecnologias e Ferramentas	24/12/24	04/01/25
2.2.1	Estudo das tecnologias	24/12/24	30/12/24
2.2.2	Comparação de ferramentas e soluções	31/12/24	04/01/25
3	Análise e Design	24/02/25	14/03/25
3.1	Análise de Requisitos	24/02/25	07/03/25
3.1.1	Identificar requisitos funcionais e não funcionais	24/02/25	28/02/25
3.1.2	Mapear cenários de teste	03/03/25	07/03/25
3.2	Design do Ambiente de Testes Automatizado	10/03/25	14/03/25
3.2.1	Criar modelos de arquitetura para o ambiente de testes	10/03/25	14/03/25
3.2.2	Definir fluxos de integração e parâmetros de simulação	10/03/25	14/03/25
4	Construção	17/03/25	06/06/25
4.1	Implementação de Funcionalidades	17/03/25	23/05/25
4.1.1	Implementação de uma interface configurável	17/03/25	11/04/25
4.1.2	Configuração de simulações e variáveis predefinidas	17/03/25	28/03/25
4.1.3	Desenvolvimento dos cenários de teste	14/04/25	23/05/25
4.2	Testes e Validação Interna	26/05/25	06/06/25
4.2.1	Realização de testes de integração	26/05/25	06/06/25
5	Avaliação	09/06/25	27/06/25
5.1	Preparação dos Cenários de Teste	09/06/25	13/06/25
5.1.1	Definição dos casos de teste relevantes	09/06/25	13/06/25
5.1.2	Configuração dos parâmetros de simulação	09/06/25	13/06/25
5.2	Execução dos Cenários de Teste	16/06/25	27/06/25
5.2.1	Testar as funcionalidades implementadas em produção	16/06/25	27/06/25
5.3	Análise dos Resultados	16/06/25	27/06/25

Fase	Atividade	Início	Término
5.3.1	Validar a consistência dos resultados	16/06/25	27/06/25
6	Relatório	24/02/25	30/06/25
6.1	Elaboração e Revisão do Relatório Final	24/02/25	27/06/25
6.1.1	Documentar a revisão da literatura e análises feitas	24/02/25	16/05/25
6.1.2	Rever relatório	19/05/25	27/06/25
6.1.3	Revisão do relatório por parte do Orientador	19/05/25	27/06/25
7	Apresentação Final e Entrega	30/06/25	30/06/25
7.1	Preparar apresentação	30/06/25	30/06/2025
7.2	Entregar relatório final	30/06/25	30/06/25

O cronograma do projeto foi estruturado de forma a refletir as diferentes fases da metodologia *Design and Creation*, assegurando que cada etapa seja abordada de forma sequencial e organizada. As fases do cronograma que representam cada etapa da metodologia são descritas a seguir:

- 1. Identificação do Problema e Levantamento de Requisitos:** Esta etapa é representada pelas atividades descritas na fase de Planeamento, incluindo a Definição do Scope do Projeto e a Identificação dos stakeholders e principais envolvidos. Pretende-se identificar os problemas associados ao ambiente de testes atual e recolher os requisitos funcionais e não funcionais necessários para o desenvolvimento da solução. Este levantamento foi realizado através de análises técnicas e consultas com os stakeholders, garantindo que a proposta responda às necessidades concretas do ambiente produtivo. (Ozan Saltuk 2014)
- 2. Conceção e Planeamento da Solução:** Esta etapa abrange as tarefas de análise e planeamento, como a criação do WBS, cronograma, análise de requisitos e revisão da literatura. Aqui foi elaborado o design preliminar do sistema, incluindo a arquitetura do ambiente de testes, e modelados os casos de teste que irão guiar o desenvolvimento, com foco na flexibilidade e precisão da simulação. (Ozan Saltuk 2014)
- 3. Desenvolvimento do Artefacto:** Representada pela fase de Construção, esta etapa contempla a implementação estruturada das principais funcionalidades do ambiente de testes. O desenvolvimento foi feito em ciclos, validando cada módulo (ex. geração de variáveis, integração de cenários, aplicação de parâmetros) antes de avançar para o seguinte, assegurando a conformidade com os requisitos estabelecidos. (Ozan Saltuk 2014)
- 4. Validação e Otimização:** Inclui os testes de integração e de funcionalidade, realizados durante as fases de Testes e Validação Interna e Avaliação. O objetivo foi garantir que o sistema interage corretamente com os diferentes perfis de máquinas, realizando simulações fiáveis. A partir dos resultados obtidos, foram efetuadas otimizações no desempenho e resolução de falhas detetadas. (Ozan Saltuk 2014)
- 5. Documentação e Entrega:** Por fim, foi preparada documentação técnica e de utilizador, incluindo manuais e registos de configuração, garantindo que o sistema possa ser mantido e reutilizado de forma eficiente. Esta etapa corresponde à fase de Elaboração e Revisão do Relatório Final e à Apresentação Final e Entrega do projeto. (Ozan Saltuk 2014)

Cada uma dessas fases está alinhada com os princípios da metodologia *Design and Creation*, permitindo que o desenvolvimento do projeto ocorra de maneira estruturada e que o artefacto final seja validado e otimizado de forma rigorosa.

1.6.4 Riscos

O sucesso de um projeto depende da identificação prévia dos possíveis riscos que podem afetar sua execução. Nesta seção, são apresentados os principais riscos associados ao desenvolvimento deste projeto, bem como estratégias de mitigação para minimizar seu impacto. A análise de riscos abrange aspectos técnicos, organizacionais e operacionais, garantindo que o projeto seja conduzido com o menor nível de incerteza possível.

Os principais riscos identificados para este projeto são:

1. Mudança nos Requisitos

- **Causa:** Durante o desenvolvimento do ambiente de testes, podem ocorrer alterações nos requisitos funcionais ou técnicos devido a novas necessidades identificadas.
- **Efeito:** Se os requisitos forem alterados ou não estiverem bem definidos desde o início, pode ser necessário refazer parte do trabalho já desenvolvido, aumentando o tempo necessário para implementação e validação.
- **Probabilidade:** 3 (Média)
- **Impacto:** 4 (Razoavelmente Alta)
- **PI Score (Probabilidade x Impacto):** 12 (Médio Alto)
- **Resposta:** Realizar revisões periódicas dos requisitos para garantir alinhamento com os objetivos do projeto.

2. Falta de Recursos Humanos

- **Causa:** A escassez de especialistas na área de integração de sistemas industriais pode limitar a execução eficiente do projeto.
- **Efeito:** Atrasos na execução das atividades devido à insuficiência de pessoal qualificado.
- **Probabilidade:** 2 (Razoavelmente Baixo)
- **Impacto:** 3 (Média)
- **PI Score (Probabilidade x Impacto):** 6 (Médio)
- **Resposta:** Entrar em contato com especialistas externos, redistribuir tarefas e identificar recursos adicionais.

3. Incompatibilidade Técnica com Equipamentos Existentes

- **Causa:** A diversidade de máquinas e configurações nas plantas de produção da Continental pode dificultar a integração do ambiente de testes.
- **Efeito:** Inconsistências nos testes, resultados inesperados e a necessidade de ajustes no sistema.
- **Probabilidade:** 2 (Razoavelmente Baixo)

- **Impacto:** 5 (Alta)
- **PI Score (Probabilidade x Impacto):** 10 (Médio Alto)
- **Resposta:** Realizar testes de compatibilidade antecipados e ajustar o design do sistema para maior flexibilidade.

1.7 Gestão de Competências

A gestão de competências é uma área essencial para o sucesso de qualquer projeto. No contexto deste trabalho, competências como gestão do tempo, gestão do stress e resiliência foram priorizadas, uma vez que são cruciais para manter a eficiência, a produtividade e o equilíbrio durante o desenvolvimento do ambiente de testes. Este capítulo, ou mais em concreto a Tabela 2, descreve como essas competências foram abordadas e desenvolvidas ao longo do projeto.

Tabela 2: Plano de gestão de competências

Competência	Ações
Gestão do Stress	Dedicar 15 min no fim de cada semana para refletir sobre desafios enfrentados, soluções adotadas e lições aprendidas
Resiliência	Dedicar 15 min no fim de cada semana para refletir sobre desafios enfrentados, soluções adotadas e lições aprendidas

1.8 Estrutura da Dissertação

Este documento foi estruturado com o objetivo de apresentar, de forma progressiva e clara, o percurso de desenvolvimento do projeto, desde a contextualização e identificação do problema, até à implementação da solução e análise dos resultados obtidos.

O **Capítulo 1 – Introdução** contextualiza o projeto no âmbito da Indústria 4.0, apresenta o problema identificado no sistema atual da Continental, define os objetivos gerais e específicos do projeto e justifica a sua relevância. Adicionalmente, descreve a metodologia de desenvolvimento adotada — Design and Creation —, assim como o planeamento, os riscos identificados e a Estrutura Analítica do Projeto (WBS).

O **Capítulo 2 – Estado da Arte** fornece o enquadramento teórico que sustenta as decisões técnicas e metodológicas tomadas. Inclui uma análise das principais práticas em automação de testes industriais, do protocolo de comunicação OPC UA, das abordagens à simulação de ambientes produtivos e dos princípios da Indústria 4.0 aplicados a sistemas de validação automatizados.

O **Capítulo 3 – Análise e Design do Sistema** descreve em detalhe a arquitetura atual da infraestrutura tecnológica da Continental, identificando os principais componentes como o CSMI e CGMS, bem como os seus papéis na cadeia de produção. Analisa-se também o ambiente de testes existente e as suas limitações. Seguidamente, é apresentado o design da solução proposta, destacando a arquitetura melhorada e a integração da nova ferramenta de testes automatizados.

O **Capítulo 4 – Desenvolvimento da Solução** apresenta a concretização da ferramenta de testes, detalhando a sua estrutura funcional, o modelo de ficheiros de configuração, os testes implementados (como ativação de receita, simulação de produção, perdas e alarmes) e os mecanismos de execução e validação. Este capítulo documenta também os principais desafios técnicos encontrados durante o desenvolvimento e as estratégias utilizadas para garantir a fiabilidade dos testes.

O **Capítulo 5 – Conclusões** resume os resultados alcançados, reflete sobre o impacto do projeto na melhoria do processo de validação industrial da Continental, e apresenta sugestões para trabalhos futuros, incluindo a extensão da ferramenta a outros contextos produtivos e o reforço da integração com plataformas corporativas.

Por fim, são apresentados os **Anexos**, que incluem informações complementares relevantes para o entendimento completo do projeto. Estes anexos abrangem documentos como o Project Charter, a Estrutura Analítica do Projeto (WBS) e a análise de riscos identificados.

2. Estado de Arte

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos e tecnológicos que suportam o desenvolvimento deste projeto. A revisão inclui conceitos-chave relacionados à automação industrial, simulação de cenários produtivos e protocolos de comunicação, como o OPC UA, além de analisar soluções e práticas existentes no mercado.

Com essa abordagem, o capítulo estabelece a base necessária para justificar as escolhas metodológicas e tecnológicas, alinhando o projeto aos avanços mais recentes e às melhores práticas da Indústria 4.0.

2.1 Metodologia de investigação

Este capítulo apresenta a metodologia de pesquisa adotada para a condução deste projeto, com ênfase na seleção e análise sistemática da literatura científica. Para garantir uma abordagem estruturada e rigorosa na identificação e análise de artigos relevantes, foi utilizado a metodologia **PRISMA** (PRISMA 2024).

A escolha do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)* como metodologia principal justifica-se pela sua adequação aos objetivos deste trabalho, que incluem a identificação de estudos, ferramentas e práticas relacionadas à automação de testes e simulação de condições de produção. Além disso, esta metodologia permite não apenas mapear a literatura existente de forma abrangente, mas também assegurar a transparência no processo de seleção e exclusão de artigos, garantindo a relevância das fontes utilizadas para fundamentar o desenvolvimento do projeto (PRISMA 2024).

Nas próximas seções, detalha-se o processo seguido nesta revisão sistemática, incluindo os critérios de inclusão e exclusão, as estratégias de procura, as bases de dados utilizadas e a análise dos resultados obtidos, conforme as diretrizes do PRISMA. Essa abordagem metodológica fornece uma base sólida para a construção da fundamentação teórica do projeto, assegurando que o trabalho esteja alinhado com as melhores práticas e conhecimentos atuais na área.

2.1.1 Questões de investigação

Com o objetivo de fundamentar teoricamente a criação de um ambiente de testes automatizado e configurável, este capítulo propõe-se a explorar e analisar o conhecimento existente sobre automação de testes, protocolos de comunicação industrial e simulação de processos produtivos. Para orientar esta investigação, foram formuladas questões de pesquisa que permitem identificar as abordagens, ferramentas e metodologias mais relevantes neste domínio, sustentando assim as decisões técnicas adotadas ao longo do projeto.

- Que papel desempenha o protocolo OPC UA na integração de sistemas industriais heterogêneos?
- Quais são as abordagens mais eficazes para automatização de testes em ambientes industriais digitais?

A relevância destas perguntas está diretamente ligada à necessidade de garantir a eficiência, a qualidade e a redução da carga de trabalho nos processos de teste da Continental.

2.1.2 Hipóteses

Com base nas perguntas de pesquisa, foram formuladas as seguintes hipóteses que orientam a avaliação e validação da solução proposta:

- **Hipótese Principal:** A adoção do protocolo OPC UA permite a integração eficiente entre sistemas industriais heterogêneos, ao proporcionar uma interface padronizada e segura para comunicação entre diferentes dispositivos e plataformas.
- **Hipótese Secundária:** A implementação de abordagens baseadas em simulação automatizada e testes orientados a cenários reais é mais eficaz na validação de sistemas industriais digitais do que os métodos manuais tradicionais, ao melhorar a consistência, escalabilidade e reprodutibilidade dos testes.

2.1.3 Fontes de Informação

A seleção de fontes confiáveis e de qualidade é essencial para fundamentar teoricamente o trabalho e garantir que as práticas e tecnologias adotadas estivessem alinhadas aos padrões mais recentes e relevantes da área. A seguir, descrevem-se as plataformas e bases de dados consultadas, bem como os critérios de escolha.

Tabela 3: Fontes de informação

ID	Termos
FI1	IEEE Xplore
FI2	Web of Science
FI3	B-on
FI4	Science Direct

2.1.4 Termos de Pesquisa

Nesta subseção, são apresentados os termos de pesquisa que desempenharam um papel essencial na orientação da revisão da literatura e na fundamentação teórica deste projeto. Estes termos foram selecionados com base nas áreas de estudo mais relevantes e nas tecnologias críticas para o desenvolvimento de um ambiente de testes automatizado e configurável.

Tabela 4: Termos de Pesquisa

ID	Termos	Keywords
TP1	Ambientes de Teste Configuráveis	<i>"Configurable"AND "Test"AND "Environment"</i>
TP2	OPC UA	<i>"Open Platform Communications Unified Architecture"</i>
TP3	Simulação de Produção	<i>"Production"AND "Simulation"</i>
TP4	Indústria 4.0	<i>"4.0"AND "Industry"</i>
TP5	Redução de Erros Humanos em Processos de Teste	<i>"Reduction"AND "Human Errors"AND "Test"AND "Processes"</i>

2.1.5 Critérios de inclusão e exclusão

A definição de critérios claros de inclusão e exclusão é essencial para assegurar que as fontes selecionadas na revisão da literatura sejam relevantes, atuais e alinhadas aos objetivos do projeto. Estes critérios foram estabelecidos para orientar a seleção de artigos científicos e outras publicações durante o levantamento teórico e prático.

2.1.5.1 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão determinam quais fontes devem ser consideradas relevantes para o *scope* do projeto. Os critérios definidos são:

Tabela 5: Critérios de Inclusão

ID	Critérios
CI1	A fonte deve abordar automação de testes, simulação de produção, indústria 4.0 ou o uso de protocolos de comunicação, como OPC UA.
CI2	A fonte deve ser publicada em revistas científicas, conferências ou livros académicos.
CI3	A fonte deve apresentar uma contribuição prática ou teórica significativa para o domínio de automação de testes, simulação ou integração industrial.

2.1.5.2 Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão definem as características que tornam uma fonte inadequada para o projeto. Estes critérios incluem:

Tabela 6: Critérios de Exclusão

ID	Critérios
CE1	A fonte possui mais de 10 anos.
CE2	A fonte estar escrita numa linguagem sem ser português ou inglês.
CE3	A fonte não fornece detalhes técnicos suficientes ou é excessivamente genérica.
CE4	CE3: A fonte não apresenta evidências empíricas ou estudos de caso relevantes.

2.1.6 Diagrama de fluxo PRISMA

O PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) é uma metodologia amplamente utilizada para conduzir revisões sistemáticas e meta-análises, garantindo rigor e transparência no processo de seleção de estudos. O diagrama de fluxo PRISMA 2020 permite representar visualmente as etapas envolvidas na identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos relevantes para a revisão da literatura. Este capítulo descreve como o diagrama PRISMA foi aplicado neste projeto para organizar e documentar o processo de seleção das fontes. (PRISMA 2024)

Na Figura 4 pode-se verificar o diagrama de fluxo PRISMA, onde se pode analisar o processo de seleção das publicações utilizadas.

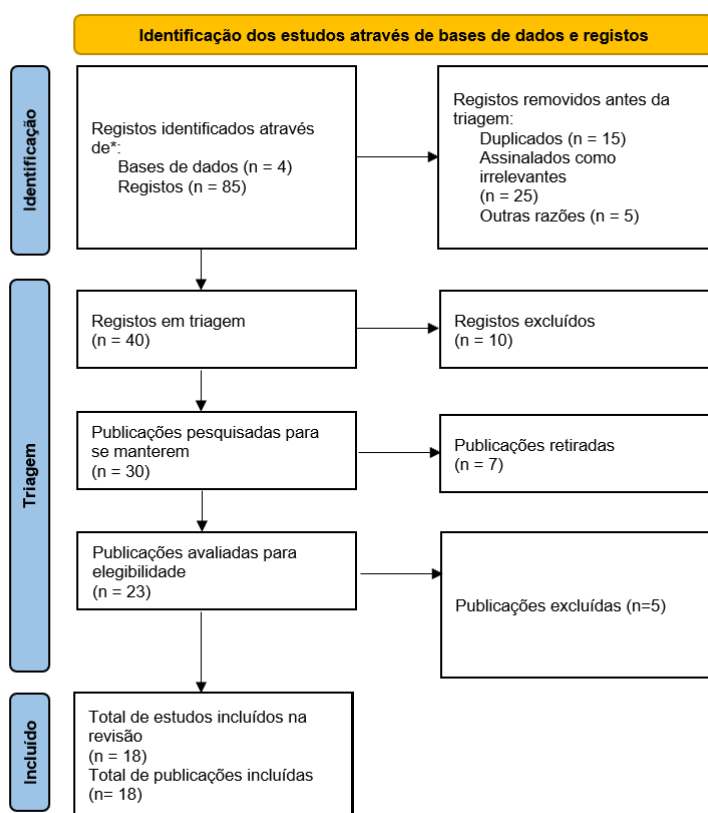


Figura 4: Diagrama de fluxo Prisma

2.2 Conceitos

Esta secção detalha os conceitos fundamentais ao projeto. Tem como objetivo documentar todas as conceitos-chave importantes para a compreensão do projeto.

2.2.1 Testes na Indústria 4.0

A Indústria 4.0, que também pode ser designada de a Quarta Revolução Industrial, trata da introdução de tecnologias digitais avançadas aos processos de manufatura e cadeias de abastecimento. Esta transformação é facilitada por inovações tais como a Industrial internet of things (IIoT), a inteligência artificial e o *machine learning*, tornando possível a criação de fábricas e produtos inteligentes. O foco principal consiste na elevação em graus de produtividade, eficiência e flexibilidade das operações industriais e facilita em maior grau as decisões a serem tomadas. Quando o mundo físico se funde com o digital, através da utilização total de equipamentos, sistemas e até das pessoas, é possível criar um sistema automatizado e adaptado às exigências mais dinâmicas e, ao mesmo tempo, desafiadoras do mercado (SAP 2024).

A Indústria 4.0, impulsionada pelo uso de tecnologias como *Internet of Things (IoT)*, automação e análise em tempo real, impõe novas exigências aos processos industriais, especialmente no que diz respeito à validação e testes de sistemas. Neste contexto, os testes tornam-se fundamentais para garantir a qualidade, a eficácia e a fiabilidade dos dispositivos e dos seus sistemas a funcionarem em conjunto. A crescente complexidade e interconectividade dos sistemas industriais exige o desenvolvimento de novas estratégias para cumprir os parâmetros de precisão e velocidade na perspetiva da Indústria 4.0 (Velez-Estevez, Gutiérrez-Madroñal e Medina-Bulo 2022).

Particularmente significativo na área de testes é o *Parallel Functional Testing*, que permite ao utilizador testar mais de uma placa de circuito impresso de um painel ao mesmo tempo. Este método reduz significativamente o tempo desperdiçado em operações manuais e também poupa tempo considerável na validação de painéis espessos com 20 ou 40 unidades. Além disso, este tipo de teste fornece informações em tempo real, o que é crucial para avaliações instantâneas e decisões operacionais em sistemas de produção (VanNewkirk 2020).

Outro aspecto que se insere no contexto da Indústria 4.0 é a automação de testes, que se tornou uma ferramenta indispensável na medida em que visa a redução dos custos e a maximização da confiabilidade dos resultados. Estudos indicam, por exemplo, que a automação leva a economias no custo total de projetos industriais de 6% a 13%, além de permitir a identificação precoce de falhas. Ferramentas avançadas, como *Internet of Things - Thermoelectric Generator (IoT-TEG) 4.0*, são utilizadas para criar casos de teste em tempo real, emulando contextos intrincados em dispositivos IoT e avaliando a compatibilidade multi-sistema (Velez-Estevez, Gutiérrez-Madroñal e Medina-Bulo 2022) (Valle-Gómez et al. 2019).

Entretanto, a introdução dessas novas tecnologias enfrenta desafios específicos. Por exemplo, a discrepância entre o rendimento da produção e a capacidade dos métodos tradicionais de teste frequentemente resulta em atrasos e custos adicionais. Além disso, a interação manual durante o processo de validação não só aumenta o tempo necessário, mas também pode causar inconsistências e defeitos. Soluções como o *Parallel Functional Testing* abordam

esses problemas diretamente, eliminando a interação manual e proporcionando uma integração direta com os sistemas digitais, alinhando-se aos princípios de eficiência da Indústria 4.0 (VanNewkirk 2020).

A integração de testes em ambientes industriais contemporâneos traz benefícios importantes, como aumento da eficiência, diminuição do trabalho manual e acesso a dados em tempo real. Esses avanços não apenas asseguram a qualidade dos produtos, mas também favorecem a flexibilidade e a escalabilidade das operações industriais, que são essenciais para a Indústria 4.0. Portanto, a função dos testes na Indústria 4.0 vai além da mera validação de sistemas, tornando-se um elemento crucial para a transformação digital das operações industriais (Valle-Gómez et al. 2019) (VanNewkirk 2020) (Velez-Estevez, Gutiérrez-Madroñal e Medina-Bulo 2022).

2.2.2 Simulação de Sistemas de Produção

A simulação de sistemas de produção é essencial na Indústria 4.0, oferecendo uma maneira eficaz de modelar, analisar e otimizar processos produtivos sem afetar diretamente as operações reais. Diante da crescente complexidade dos sistemas industriais e da necessidade de respostas rápidas a mudanças, a simulação se torna uma ferramenta crucial para identificar problemas, testar soluções e implementar melhorias de maneira segura e eficiente (Malega, Gazda e Rudy 2022) (Gu et al. 2021).

Esta tecnologia permite a criação de modelos digitais que imitam o comportamento de sistemas reais. Entre as metodologias mais relevantes, destacam-se a simulação baseada em eventos discretos e a simulação baseada em agentes. A primeira é frequentemente utilizada para modelar sistemas sequenciais, como linhas de produção, enquanto a segunda se adapta melhor a ambientes distribuídos e complexos, típicos de fábricas inteligentes. (Gu et al. 2021). Ferramentas como o *Tecnomatix Plant Simulation* e o *AnyLogic* são amplamente utilizadas na aplicação dessas metodologias, possibilitando a otimização dos fluxos de materiais, a redução de custos e o aumento da eficiência geral das operações (Malega, Gazda e Rudy 2022).

Um dos principais benefícios da simulação é a possibilidade de prever como mudanças operacionais podem afetar o funcionamento das fábricas, sem colocar em risco a operação real. Por exemplo, ao testar diferentes configurações de *layout* ou otimizar os fluxos logísticos antes de implementar, é possível identificar gargalos potenciais e minimizar riscos. Além disso, a simulação permite a análise de diversos contextos operacionais, como flutuações na demanda ou falhas nos equipamentos, o que contribui para um planejamento mais eficiente e a adoção de estratégias proativas (Malega, Gazda e Rudy 2022) (Gu et al. 2021). Quando utilizada em conjunto com algoritmos de otimização, a simulação se destaca na busca por soluções que aumentem a produtividade e diminuam desperdícios, alinhando-se aos princípios essenciais da Indústria 4.0 (Smirnov, Schenk e Wehrstedt 2018).

Exemplos reais ilustram como a simulação pode trazer benefícios para o setor industrial. Por exemplo: ao usar simulações baseadas em agentes nas indústrias é possível representar os estados das máquinas e dos processos de forma precisa e obter informações sobre tempos de ciclo e alocação de recursos. Outra técnica relevante é a co-simulação que combina diversas ferramentas de simulação para analisar tanto o desempenho geral da planta quanto os detalhes específicos das células produtivas simultaneamente. É esta abordagem hierárquica que proporciona uma visão abrangente dos detalhes, tornando mais fácil intervir com precisão ou otimizar o desempenho geral (Smirnov, Schenk e Wehrstedt 2018) (Gu et al. 2021).

A simulação de sistemas de produção tornou-se fundamental para as empresas que procuram se alinhar com os conceitos da Indústria 4.0. Por meio da exploração e análise minuciosa em ambientes virtuais, essa simulação melhora os processos operacionais, reduz os custos e amplia a adaptabilidade das operações. À medida que as ferramentas e práticas continuam evoluindo, espera-se que o uso da simulação se expanda e se consolide como um dos pilares essenciais na transformação digital da indústria (Smirnov, Schenk e Wehrstedt 2018) (Gu et al. 2021) (Malega, Gazda e Rudy 2022).

2.2.3 MES na Indústria 4.0

O Manufacturing Execution System (MES), isto é, o sistema de execução da manufatura, torna-se muito importante na transição para Indústria 4.0, uma vez que ele conjuga o que ocorre dentro da fábrica com a gestão do mesmo. Com esse sistema, o controlo e a manutenção de processos produtivos tornam-se mais precisos, melhorando eficiência e rastreabilidade, além de uma maior qualidade operacional (Tabim et al. 2024) (D'Antonio et al. 2017) (Wang et al. 2021).

Basicamente, o MES é a unidade de controlo num ambiente de fábrica inteligente. O MES envolve a recolha de dados de várias fontes, tais como sensores, máquinas e Programmable Logic Controller (PLC) e comunica directamente com sistemas de planeamento como o Enterprise resource planning (ERP). Esta coesão contínua entre os sistemas de informações liga precisamente o planeamento externo à sua jornada diária, permitindo ao fabricante um nível de gestão mais dinâmico e automatizado (Tabim et al. 2024) (Wang et al. 2021).

No contexto da Indústria 4.0, o MES, é cruzado com soluções tais como a IoT (Internet das coisas), a computação em nuvem ou *Big Data*, reforçando o seu valor. Estas tecnologias, que permitem a monitorização em tempo real, a interpretação avançada, a recolha e a gestão da informação, também estiveram presentes na linha de produção de redutores, onde foi possível, através do MES, integrar vários sistemas de produção e componentes fabris e monitorizá-los em tempo real mas também garantir a rastreabilidade. O resultado foi um aumento claro da eficiência e a diminuição dos custos (Wang et al. 2021).

De facto, a implementação de um MES enfrentaria certos desafios. Os desafios técnicos manifestam-se sob a forma de divergências nos protocolos de comunicação, a integração de equipamentos antigos e a normalização de infraestruturas, entre outros. Para superar estes desafios, é necessário adotar arquiteturas abertas que suportem módulos escaláveis, garantindo assim a compatibilidade entre diversos sistemas e dispositivos (Tabim et al. 2024) (D'Antonio et al. 2017).

Novos desenvolvimentos acentuam também a relação entre os MES e as necessidades de rastreabilidade e gestão da qualidade. Um bom exemplo de aplicação prática desta interação é o uso de sensores e módulos de entradas/saídas (I/O) como ferramenta de recolha de dados em tempo real que, depois, são integrados no MES. Foi possível abordar o processo de tomar decisões com base em informação atualizada a partir do MES que gera relatórios estatísticos e amplia as melhorias que ajudamos a procurar (Wang et al. 2021).

O MES terá um papel importante no futuro e é hoje um facilitador de processos de transformação na Indústria 4.0, agilizando as estratégias para a transformação do ambiente de manufatura que, num futuro não muito distante, remeteria a uma unidade digitalmente integrada e otimizada. As empresas de manufatura que tenham papel relevante neste processo necessitam de olhar para os seus processos, pensando no futuro e sabendo que o futuro se

constrói a cada dia. Vem aí uma nova revolução industrial e o MES será crítico no seu sucesso (Tabim et al. 2024) (Wang et al. 2021) (D'Antonio et al. 2017).

2.3 Protocolos de Comunicação Possíveis

A escolha do protocolo de comunicação é um dos pilares fundamentais para o sucesso de um ambiente de testes automatizado e configurável, especialmente em contextos industriais complexos como o da Continental. Esta secção analisa as diferentes tecnologias que poderiam ser utilizadas para suportar a comunicação entre os vários componentes do sistema, nomeadamente entre os controladores industriais, os sistemas de gestão e a *Test Tool*.

A seleção dos protocolos a considerar nesta análise foi orientada pelos requisitos específicos do projeto, tais como a necessidade de interoperabilidade entre sistemas heterogéneos, segurança na comunicação, facilidade de integração com software existente e suporte à automatização.

2.3.1 OPC UA

A revolução tecnológica da Indústria 4.0 requer comunicação segura e padronizada entre dispositivos e sistemas diversos. Para isso, a *Open Platform Communications Unified Architecture* (OPC UA) alcançou destaque, ao atender às necessidades de integração e interoperabilidade requeridas pelo mundo industrial. Atualmente desenvolvida pela OPC Foundation, conhecida como OPC UA, a tecnologia de comunicação representa uma evolução significativa ao protocolo antigo, o OPC Classic, ao introduzir uma tecnologia independente da plataforma, a capacidade de gerir modelos de dados avançados e uma abordagem no que diz respeito à segurança, que enfrenta os desafios do período de digitalização da corrente época (Muniraj e Xu 2021) (Ghazivakili, Demartini e Zunino 2018) (Kliasheu et al. 2024).

O mundo da Indústria 4.0 é fascinante devido à importância atribuída à OPC UA na conexão de elementos como sensores, controladores, sistemas de execução de manufatura (MES) e sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERP). A sua arquitetura orientada a serviços (SOA) facilita a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, eliminando os obstáculos impostos pela diversidade de protocolos e equipamentos. Além disso, a flexibilidade em suportar esquemas arquitetónicos cliente-servidor torna-a extremamente escalável para sistemas industriais de diferentes tamanhos e níveis de complexidade (Kliasheu et al. 2024).

Um modelo de dados baseado em objetos: este é um dos aspetos mais notáveis da OPC UA, que a distingue verdadeiramente. A informação é organizada de forma hierárquica e uniforme, permitindo que novos dispositivos exponham as suas capacidades e estados de maneira padronizada. Por exemplo, a OPC UA pode ser utilizada para interligar redes simuladas com sistemas reais, proporcionando a capacidade de testar configurações num ambiente controlado antes de as introduzir no mundo real. Este processo não só reduz os custos, como também minimiza os potenciais riscos operacionais (Reitz e Roßmann 2020).

A OPC UA dá um ênfase significativo à segurança. Dispõe de funcionalidades como autenticação de utilizadores, encriptação de dados e validação de integridade. Estas características são essenciais para proteger contra ameaças cibernéticas num contexto em que a conectividade é crucial para o funcionamento dos sistemas industriais. A segurança integrada suporta

a recolha e avaliação contínuas de dados, permitindo estratégias avançadas, como manutenção preditiva e otimização nos processos de produção (Ghazivakili, Demartini e Zunino 2018) (Kliasheu et al. 2024).

Apesar de ser uma tecnologia avançada, a implementação da OPC UA ainda apresenta desafios. Inicialmente, a complexidade do tipo de configuração pode ser um obstáculo, especialmente em contextos mais antigos, tornando-se um desafio significativo. Além disso, o desempenho em aplicações que não exigem tempos de resposta rigorosos ainda tem muito espaço para melhorias. Contudo, avanços como a Open Platform Communication Unified Architecture Field eXchange (OPC UA FX) estão em desenvolvimento para resolver estas falhas e melhorar o suporte a aplicações industriais, proporcionando conectividade de baixa latência (Reitz e Roßmann 2020).

O futuro da OPC UA é extremamente promissor, especialmente com a sua integração em arquiteturas industriais como o Reference architecture model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Este protocolo torna-se altamente relevante na padronização e globalização das comunicações industriais. Apesar do surgimento de novas ferramentas e práticas, a OPC UA continuará a ser um pilar fundamental na digitalização e automação dos sistemas industriais (Kliasheu et al. 2024) (Reitz e Roßmann 2020).

De forma geral, o OPC UA está a redefinir os paradigmas da comunicação no setor industrial, promovendo interoperabilidade, segurança e escalabilidade em sistemas conectados. A sua aplicação em fábricas inteligentes e processos de manufatura avançados demonstra a sua relevância como uma tecnologia indispensável para a Indústria 4.0, atendendo às exigências do presente e posicionando-se como uma solução estratégica para os desafios futuros.

2.3.2 MQTT

O Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) é um protocolo amplamente reconhecido por ser leve e eficiente, sendo uma das principais escolhas em aplicações industriais no contexto da Indústria 4.0. A sua estrutura baseia-se num modelo de publicação e subscrição, coordenado por um *broker* central, o que permite a comunicação fluida entre dispositivos, como sensores e atuadores. Esta abordagem simplifica significativamente a troca de informações entre máquinas, ao mesmo tempo que assegura uma integração escalável em sistemas complexos e heterogêneos, algo essencial para a realidade dinâmica das indústrias modernas (Kenitar et al. 2018) (Überall, Bartholet e Khudaybergenov 2021).

Na indústria, utilizamos o MQTT para transmitir, em tempo real, diversos tipos de informações, incluindo o estado dos equipamentos, medições recolhidas por sensores e alarmes relativos a anomalias. Este protocolo é eficiente, pois permite que os dispositivos subscrevam apenas aos tópicos necessários, reduzindo assim a carga de dados. Além disso, oferece diferentes níveis de qualidade de serviço (*Quality of Service (QoS)*), garantindo um desempenho fiável, mesmo em redes com limitações de largura de banda. Tecnologias como a *blockchain* estão a ser integradas ao MQTT para melhorar a segurança e a transparência na troca de informações, especialmente em ambientes distribuídos (De Barros, Da Conceição e Rocha 2023) (Überall, Bartholet e Khudaybergenov 2021).

Na automação de sistemas produtivos, o MQTT tem-se mostrado uma ferramenta eficaz para interligar dispositivos de diferentes fabricantes, promovendo a interoperabilidade. Um exemplo demonstrou que, ao combinar o MQTT com *blockchain*, foi possível implementar um sistema seguro e transparente para monitorização e rastreabilidade em processos

industriais, garantindo um acompanhamento contínuo e uma gestão eficiente dos recursos (De Barros, Da Conceição e Rocha 2023).

Outro atributo que mais se destaca no MQTT é a sua elevada fiabilidade e o desempenho com baixa latência. De facto, ao utilizar uma arquitetura de *fog computing*, onde o *broker* está localizado próximo das máquinas industriais, o MQTT apresenta o menor atraso na comunicação, permitindo respostas rápidas em situações extremas. Esta característica torna o MQTT especialmente adequado para aplicações em tempo real e sistemas com controlo distribuído, ambos cruciais para a concretização de implementações da Indústria 4.0 (Kenitar et al. 2018) (Atlassian 2024).

Apesar das consideráveis vantagens oferecidas pelo MQTT, este enfrenta desafios relacionados com a escalabilidade em redes maiores e a segurança nas comunicações a longa distância. No entanto, com melhorias como a incorporação de esquemas avançados de encriptação e autenticação, a maioria destes problemas tem sido mitigada. A sua implementação simples e ampla compatibilidade com dispositivos industriais tornam-no uma abordagem viável para modernizar sistemas de produção, especialmente aqueles onde a alta flexibilidade e desempenho são essenciais (Überall, Bartholet e Khudaybergenov 2021).

O MQTT estabeleceu-se como um componente central na Indústria 4.0, satisfazendo as exigências de conectividade e automação industrial. Os projetos de manufatura são um exemplo da sua aplicação, proporcionando redução de custos, melhoria de processos e uma comunicação mais fácil entre dispositivos. À medida que a Indústria 4.0 avança, este protocolo mantém-se robusto e estratégico para enfrentar os problemas emergentes da indústria, resultantes de requisitos em constante mudança (De Barros, Da Conceição e Rocha 2023) (Überall, Bartholet e Khudaybergenov 2021) (Kenitar et al. 2018).

2.3.3 AMQP

O protocolo Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) tem gerado bastante entusiasmo ao estabelecer-se como a base de uma solução importante para integração e comunicação em sistemas industriais no novo contexto definido pela Indústria 4.0. O AMQP é um padrão aberto concebido para substituir soluções de middleware proprietárias; contudo, cobre os requisitos essenciais exigidos pelos sistemas modernos, tornando-se verdadeiramente interconectados e inteligentes no que diz respeito a fiabilidade, interoperabilidade e flexibilidade (Liu et al. 2024) (Caiza et al. 2019).

Uma das principais vantagens do AMQP é a sua arquitetura robusta, que suporta filas fiáveis, modelos de comunicação baseados em publicação e subscrição, bem como encaminhamento avançado. A arquitetura do protocolo é definida em termos de produtores, consumidores, filas e *exchanges*, que organizam e direcionam o tráfego de mensagens. O *broker* desempenha um papel crucial ao garantir a entrega fiável das mensagens através de sistemas complexos com muitos dispositivos interconectados (Liu et al. 2024) (Caiza et al. 2019).

Devido à aplicação industrial do AMQP, dispositivos IoT, PLCs (Controladores Lógicos Programáveis) e sistemas de monitorização em tempo real têm sido conectados de forma satisfatória. Por exemplo, este protocolo foi utilizado para recolher dados de produção em ambientes ciberfísicos, permitindo a classificação de produtos de acordo com altura e cor. A apresentação de dados em tempo real numa *interface web* possibilitou a monitorização das condições do processo e a oportunidade de tomar decisões rápidas e informadas sobre alterações nos sistemas ou atividades de manutenção (Caiza et al. 2019).

Outra grande vantagem da estrutura do AMQP é o uso eficiente da largura de banda, tornando-o adequado para ambientes onde as comunicações precisam de estar disponíveis em todos os momentos, mesmo em redes locais de muito baixa largura de banda. Testes demonstraram que o protocolo mantém um desempenho consistente mesmo em condições de alta latência e apresenta taxas muito elevadas de entrega de mensagens, mesmo sob cargas extremamente altas, tornando-o ideal para aplicações que movimentam grandes quantidades de dados industriais (Caiza et al. 2019) (Liu et al. 2024).

O aspecto de segurança também é um ponto forte do AMQP. Estudos apontam que a integração de camadas de proteção, como o Secure Sockets Layer (SSL), aumenta a proteção contra ameaças cibernéticas, como perda de dados ou acessos indevidos. Esta abordagem garante que as mensagens sejam transmitidas de forma segura e fiável, proporcionando maior confiança para os utilizadores industriais (Liu et al. 2024).

Assim, o AMQP é um elemento crucial para a Indústria 4.0. Proporciona uma solução robusta para a comunicação em ambientes industriais. A sua capacidade de conectar diversos dispositivos de IoT dissociados, ao mesmo tempo que permanece independente de arquitetura e aberto para atender diferentes requisitos operacionais, estabelece o AMQP como uma escolha fiável para sistemas ciberfísicos nas indústrias (Liu et al. 2024) (Caiza et al. 2019).

2.3.4 Comparação das Tecnologias

No contexto da Indústria 4.0, protocolos como OPC UA, MQTT e AMQP desempenham papéis importantes na integração de sistemas industriais. Cada tecnologia possui características específicas que atendem a diferentes requisitos e contextos. Embora o projeto já tenha sido estabelecido para utilizar o protocolo OPC UA devido às suas características alinhadas às necessidades do sistema, foram também estudadas as tecnologias MQTT e AMQP para garantir uma análise abrangente e fundamentar a escolha com base em critérios técnicos e industriais. A tabela abaixo apresenta uma comparação sintetizada entre esses três protocolos:

Tabela 7: Comparação das tecnologias

Aspeto	OPC UA	MQTT	AMQP
Modelo de Comunicação	4 (Alto)	5 (Muito Alto)	5 (Muito Alto)
Desempenho (Latência)	3 (Moderado)	5 (Muito Alto)	4 (Alto)
Interoperabilidade	5 (Muito Alto)	4 (Alto)	4 (Alto)
Segurança	5 (Muito Alto)	3 (Moderado)	4 (Alto)
Escalabilidade	4 (Alto)	5 (Muito Alto)	4 (Alto)
Aplicações Industriais	5 (Muito Alto)	4 (Alto)	5 (Muito Alto)

Com base na comparação apresentada, observa-se que todas as três tecnologias — OPC UA, MQTT e AMQP — oferecem vantagens relevantes para a Indústria 4.0. O MQTT destaca-se em desempenho e escalabilidade, sendo ideal para aplicações com restrições de largura de banda ou com dispositivos de recursos limitados. O AMQP, por sua vez, oferece

um equilíbrio entre desempenho, interoperabilidade e segurança, sendo amplamente utilizado em sistemas distribuídos e ambientes corporativos.

No entanto, o OPC UA sobressai-se por oferecer uma interoperabilidade extremamente elevada, um modelo de comunicação robusto, e uma segurança avançada, características essenciais para ambientes industriais complexos. Além disso, sua ampla adoção em automação industrial reforça sua adequação ao contexto do projeto. Dessa forma, mesmo considerando as qualidades das demais tecnologias, a escolha do OPC UA mostra-se a mais adequada e estratégica para garantir integração confiável, segura e escalável no sistema em desenvolvimento.

3. Análise e Design

Este capítulo apresenta uma descrição da arquitetura atual dos sistemas produtivos da Continental, com especial foco nos componentes da *Test Tool*, CSMI e CGMS. A análise da infraestrutura existente permite identificar limitações e justificar a necessidade de uma solução automatizada. Em seguida, é proposto o design da nova arquitetura de testes, centrado na escalabilidade, reprodutibilidade e integração com os sistemas já implementados.

3.1 Análise do Sistema Atual

A estrutura atual do sistema produtivo da Continental é composta por vários componentes interligados, responsáveis pela comunicação, monitorização e gestão dos processos de fabrico. A análise desta arquitetura visa identificar as suas capacidades, limitações e os pontos de integração relevantes para a solução proposta.

Complementando esta arquitetura, existe ainda uma ferramenta de testes dedicada à simulação de condições de produção e validação do comportamento dos sistemas em ambiente virtual. Esta ferramenta permite a realização de testes automatizados e controlados.

3.1.1 Análise dos Componentes

3.1.1.1 CSMI

A base da arquitetura tecnológica na Continental é constituída pelas máquinas industriais controladas por PLCs (Programmable Logic Controllers). Estes dispositivos são programados para executar operações específicas como a contagem de ciclos, ativação de motores, leitura de sensores, controlo de pressão, temperatura, entre outros. A programação dos PLCs segue uma lógica sequencial, altamente fiável e determinística, essencial para garantir o bom funcionamento contínuo das máquinas de produção.

Os PLCs interagem diretamente com o CSMI (Continental Standard Machine Interface). Este componente é um *middleware* que atua como uma interface universal entre os equipamentos físicos e os sistemas informáticos superiores. A função do CSMI não se limita apenas à recolha de dados — ele também permite o envio de comandos e parâmetros para o PLC, facilitando a simulação de condições de produção. Desta forma, é possível forçar variáveis como estados de sensores, ativar simulações de falhas, ou introduzir dados fictícios para testes.

O CSMI também desempenha um papel importante ao centralizar e normalizar a comunicação entre os PLCs e os sistemas de supervisão. Esta comunicação é realizada através do protocolo OPC UA, que é utilizado como padrão na arquitetura atual. Ao garantir a uniformidade no acesso aos dados das máquinas, o CSMI facilita a integração e o desenvolvimento de aplicações superiores, como o CGMS e a ferramenta de testes, promovendo assim a escalabilidade e a manutenção do sistema.

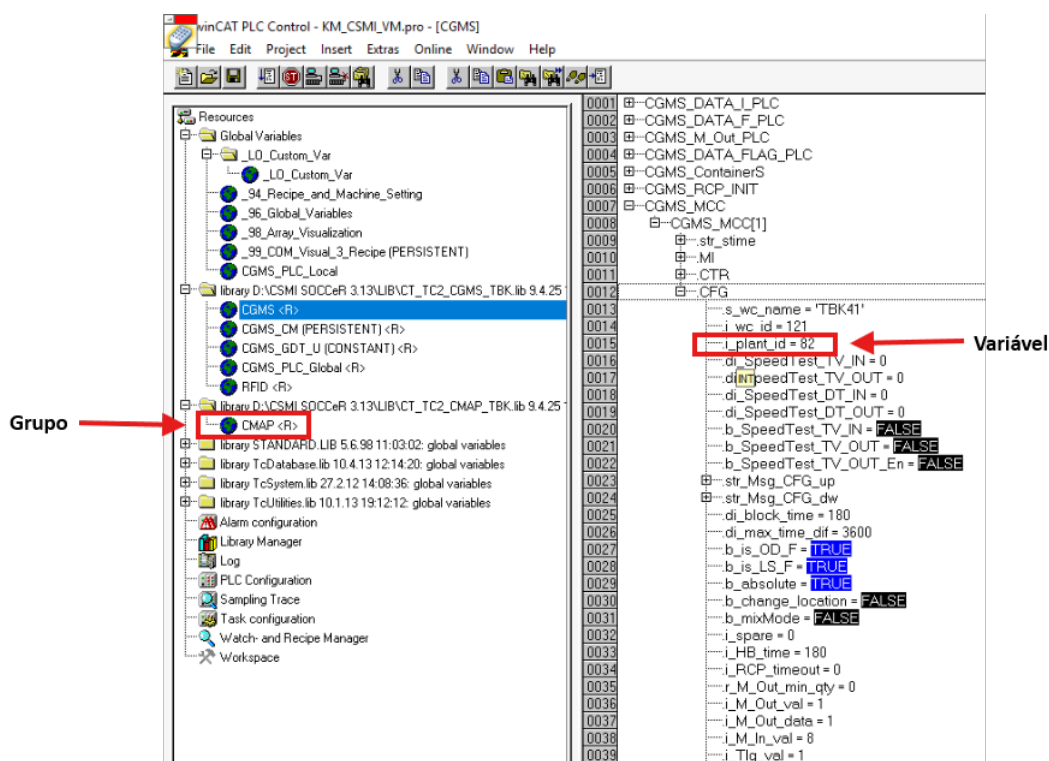


Figura 5: UI do CSMI

Na Figura 5, é possível observar um exemplo de uma variável (ou *node*) e de um grupo. Uma variável representa uma unidade de dados essencial para a execução de ações no sistema, estas podem ser modificadas manualmente ou automaticamente, em resposta à alteração de outras variáveis. Já um grupo corresponde a um conjunto organizado de variáveis, facilitando a sua gestão e manipulação em conjunto, sobretudo em cenários de teste ou simulação.

Originalmente, os testes eram realizados de forma manual diretamente no CSMI, com técnicos a manipular diretamente as variáveis e os estados de máquina para validar comportamentos específicos. Esta abordagem, embora funcional, exige tempo e intervenção humana significativa, além de apresentar riscos de inconsistência entre execuções. A automatização deste processo, mantendo o CSMI como ponto de entrada para sinais de simulação, constitui um dos principais objetivos deste projeto.

Nas figuras 6 e 7, é possível observar duas variáveis que, no contexto de um dos testes, são comparadas no final da execução para validar o sucesso do teste. Na primeira imagem, antes da execução do teste, as variáveis apresentam valores distintos. Já na segunda imagem, após a execução do teste, verifica-se que ambas têm o mesmo valor, confirmando que o teste foi executado com sucesso.

0001	CGMS_RCP[1].str_header.bi_master_id.low = 293167
0002	CGMS_RCP_PLC[1].str_header.bi_master_id.low = 0
0003	

Figura 6: UI do CSMI

0001	CGMS_RCP[1].str_header.bi_master_id.low = 293167
0002	CGMS_RCP_PLC[1].str_header.bi_master_id.low = 293167
0003	

Figura 7: UI do CSMI

3.1.1.2 CGMS Client

O CGMS (Continental Global Manufacturing System) Client é executado em computadores industriais instalados junto a cada máquina. Este cliente disponibiliza uma interface gráfica que permite aos operadores validar, registar e monitorizar as operações de produção de forma eficiente e intuitiva. Este cliente inclui:

- **Validação de materiais:** garante que o material inserido na máquina corresponde ao requisitado na ordem de produção.
- **Validação de ferramentas:** verifica se as ferramentas usadas estão calibradas e adequadas à operação.
- **Receitas de produção:** carrega parâmetros específicos para a configuração da máquina.
- **Gestão de perdas:** regista ocorrências como rejeições ou falhas durante o processo produtivo.

O CGMS *Client* comunica com o CGMS *Server*, garantindo que os dados registados localmente estão sincronizados com os sistemas centrais. Além disso, fornece aos operadores visibilidade em tempo real sobre o estado da produção, alarmes e instruções operacionais.

Order GUI | Release | Version : 1.5.8.17063 | Build Time 8/23/2024 3:43:08 PM | Client Listener: 1003

TBK41

TBK41 - Tire Building KM 41

Objetivo	Produção	Previsão	Evolução	03h:31
02 18.abril	0	10 (0)	23	10
01 18.abril	0	0 (0)	-	N.A.

Falha WokCenter Status 2d:05:51

Descanso (200-00) Refeições Planeadas 0d:00:02

Ordens Perdas Material Tooling Receita Graficos Alarmes Histórico

Mostrar ordens concluídas

Nº Ordem	Descrição da Ordem	Estado da ordem	Nº da Receita	Código SAP	Qte Planeada	Qte Concluída
CT2JUDOYKY	5000 0Q9 E?#	A Correr	284812	982670302500	5	62

CONFIGURAR (F1) INICIAR (F2) ESPECIF (F3) IMPRIMIR (F4)

A perda está a ser processada. Novo MessageBoxID=13577 Serviço Sem Utilizador LOTV00TC00060 (1/1) 18/04/2025 21:31:43

Figura 8: Ecrã Inicial do CGMS Client

3.1.1.3 CGMS Server

O CGMS Server é o sistema responsável por gerir os dados operacionais de cada célula de produção. Este servidor processa e armazena os dados vindos dos clientes CGMS e das interfaces CSMI, mantendo um registo completo de tudo o que ocorre na fábrica: ordens de produção, falhas, validações, parâmetros operacionais e resultados dos ciclos produtivos.

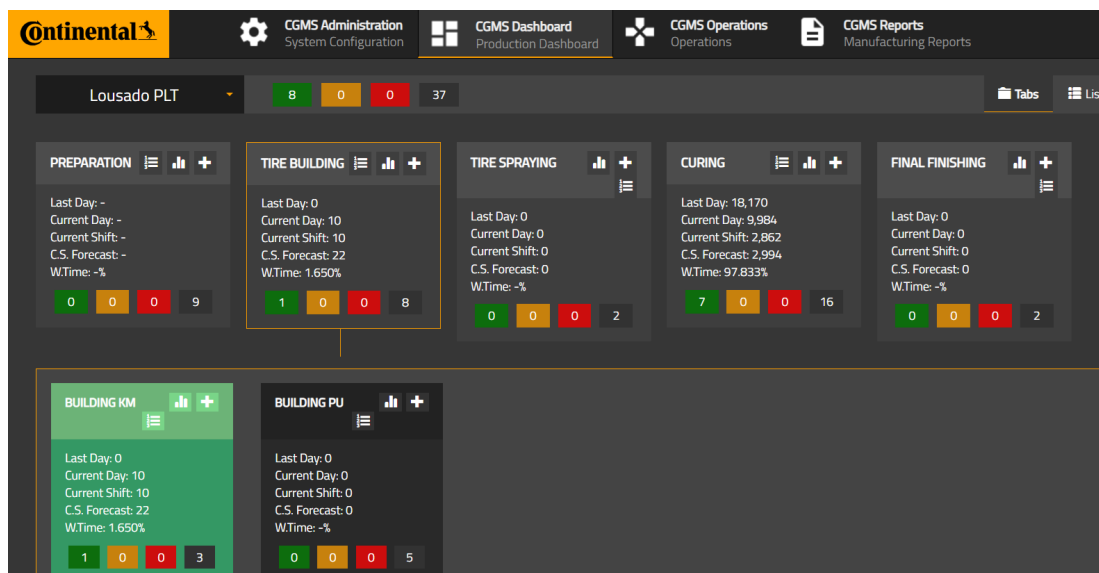


Figura 9: Dashboard do CGMS Server

O CGMS Server constitui o núcleo dos sistemas locais, assegurando o funcionamento coordenado das linhas de produção e a integração com os sistemas corporativos superiores.

3.1.1.4 Ferramenta de testes - FISH

A ferramenta de testes, é um componente essencial para suportar a simulação e validação dos sistemas industriais da Continental, especialmente no contexto da Indústria 4.0. Esta aplicação é concebida para simular o comportamento das máquinas reais e permitir a realização de testes em ambientes controlados, sem afetar diretamente as operações fabris.

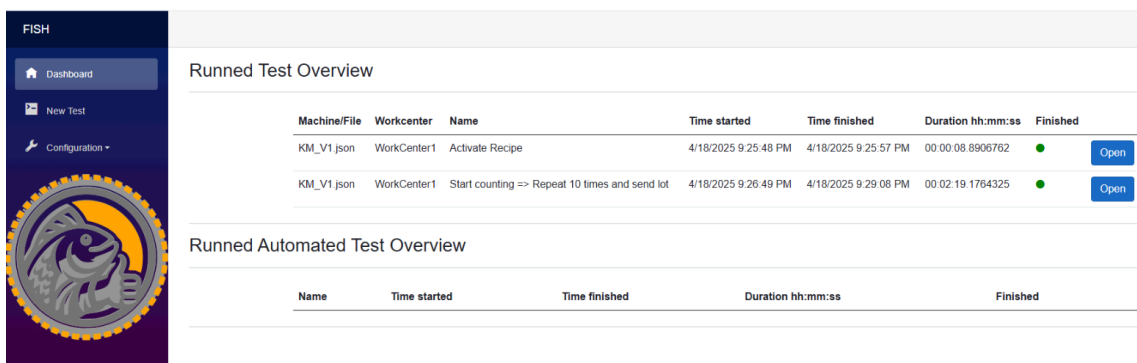
A arquitetura da *Test Tool* é modular e compreende três componentes principais:

- **OPC UA Client:** Este componente estabelece ligação direta com o servidor OPC UA implementado no ambiente do PLC, permitindo a leitura e escrita de variáveis de máquina. Desta forma, a ferramenta consegue interagir com os sistemas simulados da mesma forma que uma máquina real o faria, assegurando que os testes reproduzam com precisão os comportamentos esperados.
- **Machine Simulator:** Este componente é responsável pela simulação de estados de máquina, permitindo criar e controlar cenários como início de produção, paragens, falhas de validação de material, alarmes de rastreabilidade, entre outros. Esta capacidade é fundamental para validar se o CGMS e o CSMI respondem corretamente a situações específicas. A simulação pode ser configurada com base em perfis de máquina previamente definidos, facilitando a reprodutibilidade dos testes.

- **Human Interface:** Este componente fornece uma interface gráfica para o utilizador interagir com o sistema. Através dela, é possível selecionar testes, configurar parâmetros, visualizar resultados e monitorizar o comportamento do sistema em tempo real.

Além disso, a ferramenta de testes integra-se com repositórios GitHub, onde as configurações de teste são armazenadas e sujeitas a controlo de versões. Esta funcionalidade assegura que todas as alterações feitas aos cenários de teste sejam rastreáveis e auditáveis, contribuindo para uma validação mais transparente e estruturada.

A comunicação entre a ferramenta de testes e os restantes componentes do sistema ocorre através do protocolo OPC UA, o que garante compatibilidade com diferentes instâncias de PLCs e ambientes virtualizados, reforçando a escalabilidade e adaptabilidade da solução.



The screenshot displays the FISH testing tool interface. On the left is a dark sidebar with navigation options: 'Dashboard', 'New Test', and 'Configuration'. Below these is a circular logo featuring a fish. The main content area is titled 'Runned Test Overview' and contains a table with the following data:

Machine/File	Workcenter	Name	Time started	Time finished	Duration hh:mm:ss	Finished	
KM_V1.json	WorkCenter1	Activate Recipe	4/18/2025 9:25:48 PM	4/18/2025 9:25:57 PM	00:00:08.8906762	●	Open
KM_V1.json	WorkCenter1	Start counting => Repeat 10 times and send lot	4/18/2025 9:26:49 PM	4/18/2025 9:29:08 PM	00:02:19.1764325	●	Open

Below this is the 'Runned Automated Test Overview' section, which has a table with the following headers:

Name	Time started	Time finished	Duration hh:mm:ss	Finished
------	--------------	---------------	-------------------	----------

Figura 10: Ferramenta de Testes

A ferramenta de testes encontra-se atualmente em desenvolvimento num ambiente de testes isolado, com o objetivo de garantir a estabilidade, segurança e controlo durante a fase de construção e validação da solução. Esta infraestrutura de testes foi implantada numa máquina virtual, que simula as condições de funcionamento do ambiente produtivo real, sem interferir diretamente com os sistemas em operação.

Dentro desta máquina virtual estão instalados três componentes fundamentais: a própria ferramenta de testes, o CSMI e o *CGMS Client*. Esta configuração permite testar e simular fluxos de produção completos de forma autónoma, assegurando que todas as comunicações e validações ocorrem de acordo com os requisitos funcionais estabelecidos.

A máquina virtual está ligada a um servidor local de desenvolvimento onde está alojado o *CGMS Server*, o qual permite a validação da comunicação e o teste dos fluxos de dados simulados.

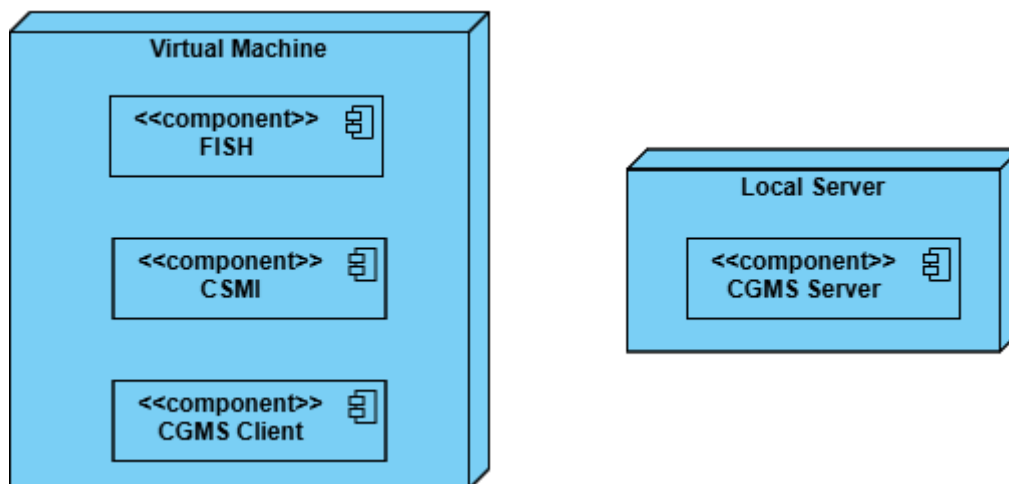


Figura 11: Diagrama de Implantação

O design proposto surge como resposta às limitações identificadas no sistema atual, nomeadamente a ausência de testes automatizados e a dificuldade em simular condições produtivas de forma reproduzível e segura. A solução concebida baseia-se na criação de um ambiente de testes modular, escalável e configurável, sustentado por uma ferramenta de testes automatizada (FISH) que interage diretamente com os componentes-chave do sistema produtivo da Continental: o CSMI e o CGMS.

Este ambiente foi implantado num cenário virtual controlado, que replica as condições reais de produção sem interferir com o ambiente fabril em operação. Com esta abordagem, o sistema proposto garante maior fiabilidade, reprodutibilidade e eficiência na validação de software e hardware industriais, constituindo uma base sólida para futuras evoluções no contexto da Indústria 4.0.

3.1.2 Análise do Sistema

Esta secção apresenta a representação do sistema atual implementado na Continental, identificando os principais componentes envolvidos na gestão e supervisão da produção. Os diagramas seguintes (Figuras 12, 14 e 13) ilustram a arquitetura funcional do sistema, bem como os fluxos de comunicação e interações entre os módulos, com especial enfoque no papel do FISH enquanto ferramenta de testes. Esta análise permite compreender os desafios existentes e estabelece a base para o design da solução proposta.

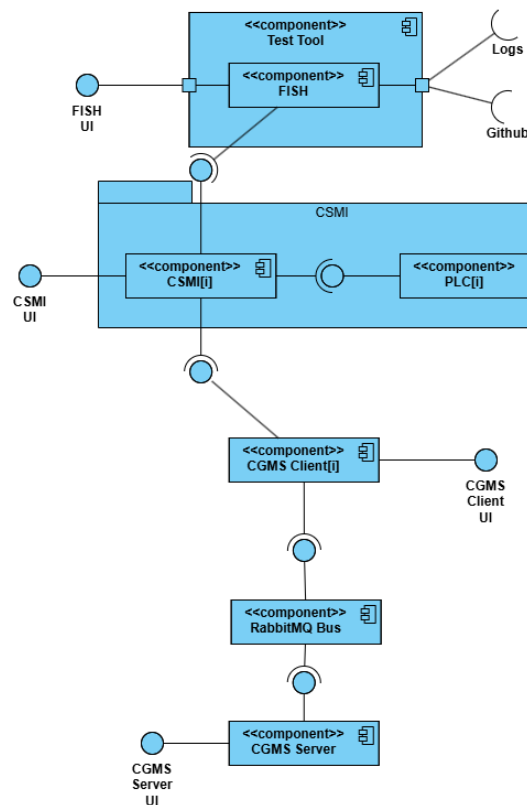


Figura 12: Análise do Sistema

Na Figura 12, são apresentadas várias interfaces gráficas utilizadas por diferentes perfis de utilizadores dentro do sistema:

- **FISH UI:** Utilizada pelos testers com o objetivo de simular e validar o comportamento das máquinas em ambiente de testes.
- **CSMI UI:** Geralmente utilizada por engenheiros, esta interface permite o desenvolvimento e monitorização do código que implementa as funcionalidades e lógica operacional das máquinas.
- **GMS Client UI:** Interface destinada aos operadores de produção, permitindo-lhes acompanhar em tempo real o estado das máquinas e executar operações associadas às ordens de fabrico.
- **CGMS Server UI:** Utilizada por administradores e gestores de produção, esta interface disponibiliza uma visão global da linha de produção e da performance das máquinas, permitindo uma gestão centralizada e estratégica.

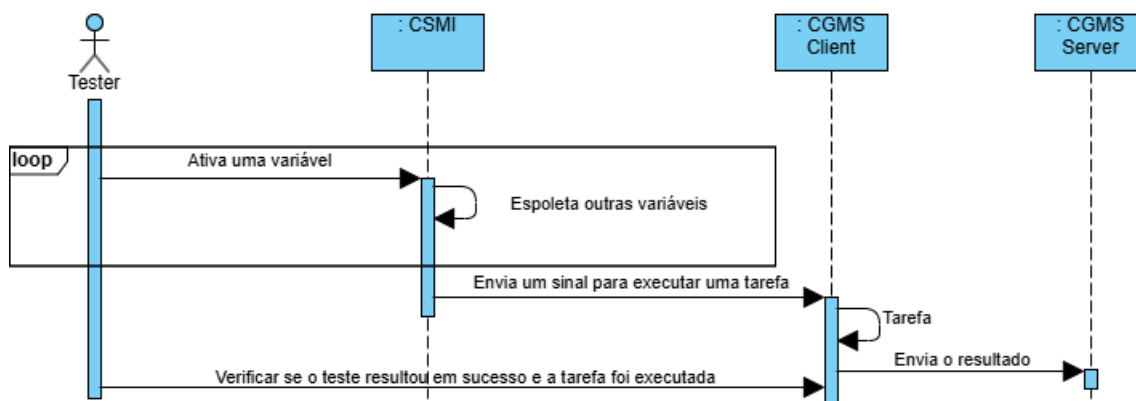


Figura 13: Diagrama de Processos do Sistema

Na Figura 13, uma tarefa corresponde a uma ação final que o sistema executa após a conclusão bem-sucedida de todas as etapas de validação do teste. Exemplos típicos incluem a ativação de uma receita ou o início da produção de um determinado material.

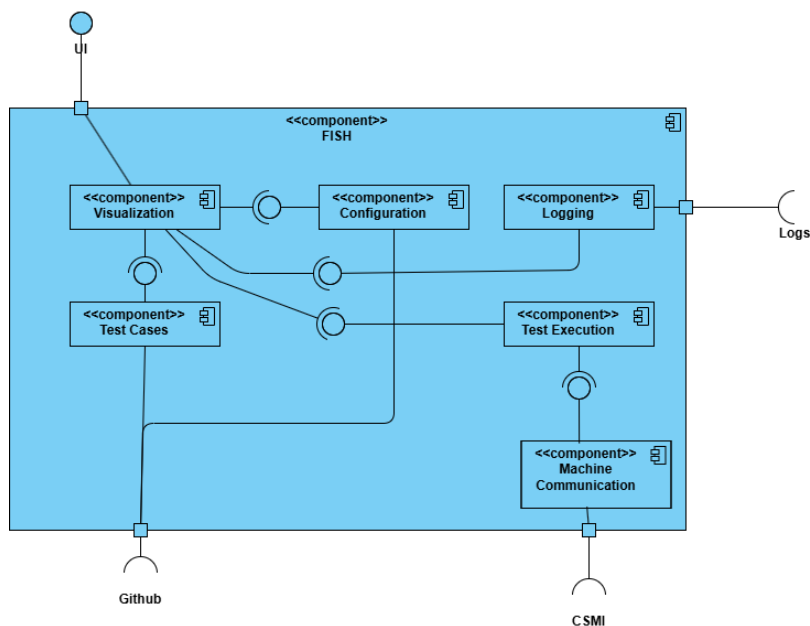


Figura 14: Análise do FISH

Na Figura 14, é possível observar a estrutura modular do FISH, composta por diversos componentes com responsabilidades específicas:

- **Visualization:** Trata da interface gráfica da aplicação, permitindo ao utilizador visualizar e interagir com os testes de forma intuitiva.
- **Configuration:** Gera as definições da ferramenta, incluindo o nome repositório GitHub onde os testes estão armazenados, o token de acesso, o endereço IP da máquina virtual onde a ferramenta está a correr, entre outros parâmetros essenciais.
- **Logging:** Regista todas as atividades executadas na ferramenta, permitindo a rastreabilidade e análise posterior dos testes realizados.

- **Test Cases:** Responsável por obter os ficheiros de teste armazenados no GitHub e armazená-los localmente para execução.
- **Test execution:** Controla a lógica de execução dos testes, seguindo os passos definidos nos casos de teste e monitorizando os seus resultados.
- **Machine Communication:** Gere a comunicação com o CSMI via protocolo OPC UA, enviando e recebendo dados em tempo real para simular ou verificar o comportamento das máquinas.

A estrutura atual do sistema apresenta uma limitação significativa em termos de complexidade e eficiência na execução de tarefas. Conforme ilustrado na Figura 13, para que uma tarefa seja concluída com sucesso, é necessário seguir uma sequência rígida de passos. Esta sequência envolve a ativação manual de uma variável, que por sua vez desencadeia um conjunto de outras variáveis de forma encadeada, exigindo precisão na ordem de execução. Este encadeamento torna o processo moroso, propenso a erros e difícil de manter, especialmente quando se pretende automatizar cenários de teste de forma fiável.

3.2 Design do Sistema

Tendo por base os pontos fracos identificados na arquitetura atual, nomeadamente a realização manual dos testes, a dificuldade em simular de forma fiável cenários produtivos e a necessidade de validação consistente de software, foi concebida uma solução orientada à criação de um ambiente de testes automatizado e configurável.

Este design visa garantir maior reprodutibilidade, redução de erro humano e rapidez na validação de novas versões de software e configurações industriais.

Diagramas representativos do sistema estão apresentados nas Figuras 15, 16 e 17.

Nas figuras, os componentes a azul representam partes do sistema que não foram alteradas, os componentes a amarelo indicam elementos modificados no âmbito do projeto, e os componentes a verde correspondem às funcionalidades novas desenvolvidas.

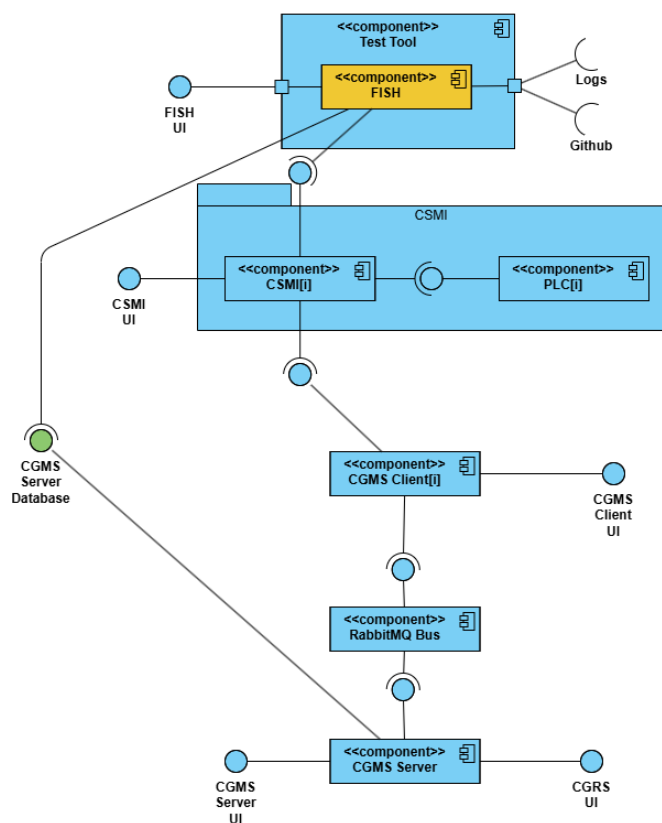


Figura 15: Design do Sistema

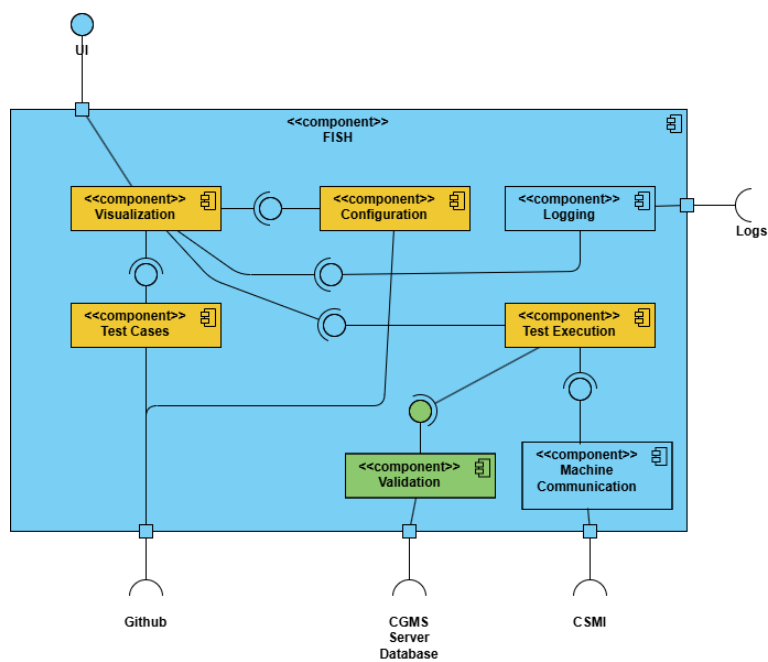


Figura 16: Design do FISH

Na Figura 16 observa-se a introdução de um novo componente denominado *Validation*, cuja principal função é estabelecer ligação à base de dados do CGMS Server. Este componente

permite criar o lot necessário para viabilizar a execução do teste relacionado com a validação de materiais, garantindo assim que todos os pré-requisitos da simulação estão devidamente cumpridos.

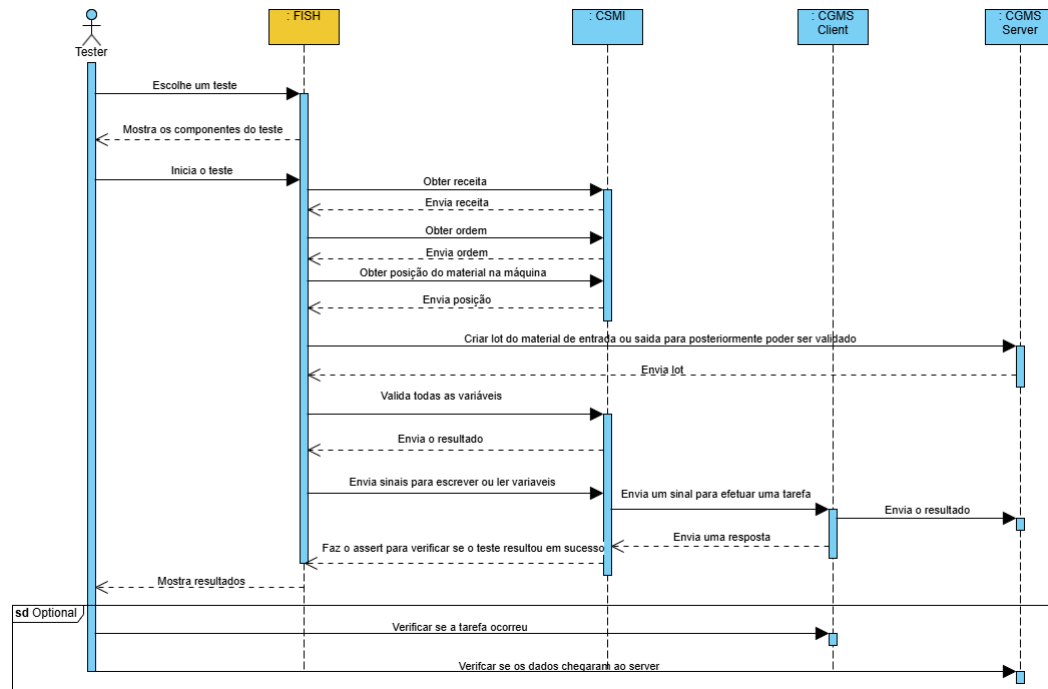


Figura 17: Diagrama de Sequência do FISH - Design

Na Figura 17 é possível observar as diferenças face à Figura 13, nomeadamente na fase inicial do teste, onde são obtidos os dados necessários para a criação do lot indispensável à validação de materiais. Posteriormente, o teste é executado de forma automática, acionando as variáveis predefinidas e realizando verificações (*asserts*) para validar se os resultados correspondem aos esperados. No final, o utilizador pode consultar os resultados diretamente na ferramenta FISH. Adicionalmente, é possível, de forma opcional, utilizar o *CGMS Client* e o *CGMS Server* para confirmar a execução e o sucesso do teste.

4. Implementação da Solução

Este capítulo descreve o processo de desenvolvimento do ambiente de testes automatizado e configurável no contexto da Continental. Com base na análise do sistema existente e nos requisitos definidos previamente, a solução foi concebida de forma a garantir a integração harmoniosa com os componentes já implementados, nomeadamente o CSMI, o CGMS e a ferramenta de testes.

A implementação decorreu num ambiente de testes isolado, recorrendo a máquinas virtuais que replicam as condições reais de produção. Esta abordagem permitiu testar e validar os diferentes módulos da aplicação de forma segura e controlada, assegurando a consistência dos resultados sem interferir com os sistemas em operação.

Ao longo deste capítulo são apresentadas as principais fases do desenvolvimento, os desafios encontrados e as decisões técnicas que sustentaram a construção da solução final.

4.1 Fases do Desenvolvimento

O desenvolvimento da solução foi conduzido com base numa abordagem modular, centrada na adaptação progressiva da ferramenta de testes a cada tipo de máquina existente nas unidades produtivas da Continental. Este processo permitiu validar de forma mais rigorosa os comportamentos esperados de cada máquina, assegurando que a ferramenta pudesse simular, de forma representativa, os diferentes estados e interações que ocorrem nas operações reais.

Para cada máquina foram implementadas e testadas funcionalidades como:

- **Ativação de Receitas:** Permite simular a ativação de uma receita de produção no sistema, garantindo que os parâmetros corretos sejam enviados e reconhecidos pelas máquinas virtuais.
- **Simulação de Produção:** Emula o comportamento de uma máquina ao produzir unidades, permitindo observar o aumento de quantidade produzida como se estivesse em operação real.
- **Simulação de Perdas:** Emula o comportamento de uma máquina em situações de inatividade, simulando períodos de tempo em que não está efetivamente a produzir.
- **Geração de Alarmes:** Testa a capacidade do sistema em reagir a situações anómalas, como por exemplo uma avaria ou condições fora de padrão, ativando alarmes específicos.
- **Validação dos Materiais:** Verifica se os materiais atribuídos às posições de entrada ou saída são válidos e reconhecidos pelo sistema. Requer a existência de um lot previamente criado na base de dados.

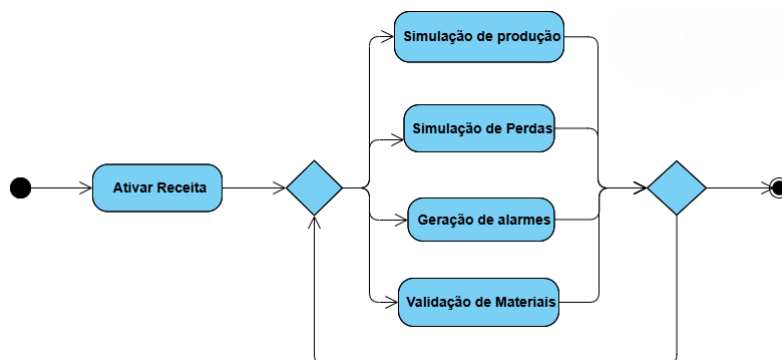


Figura 18: Ordem das Funcionalidades

4.2 Estrutura do Ficheiro de Testes

Para suportar a execução automatizada de testes no ambiente de simulação, foi definido um modelo estruturado em formato JSON que descreve, de forma detalhada, os cenários de teste aplicáveis a diferentes máquinas de produção. Este ficheiro permite configurar de forma programática os casos de teste a executar, bem como os passos e condições envolvidas na simulação de operações reais.

4.2.1 Bloco Testes Automáticos

Este bloco representa a definição geral de um conjunto de testes automatizados. Cada entrada neste array corresponde a uma simulação a ser executada, onde se especificam principalmente o nome do teste automático, o número de repetições do teste e o conjunto dos testes incluídos no teste automático.

A seguir apresenta-se um exemplo representativo de um bloco de testes automatizado.

```

1  {
2  "automTests": [
3  {
4  "name": "Test Apex automatically",
5  "repetitions": 1,
6  "timeOutInMillis": 0,
7  "timeLevels": [
8  {
9  "iD": 0,
10 "testCaseNames": [
11 {
12 "wcName": "WorkCenter1",
13 "tcName": "Activate Recipe"
14 }
15 ]
16 },
17 {
18 "iD": 1,
19 "testCaseNames": [
20 {
21 "wcName": "WorkCenter1",
22 "tcName": "Start Producing"
23 }
24 ]
  }
  ]
  ]
  }

```

```
25     },
26     {
27       "id": 2,
28       "testCaseNames": [
29         {
30           "wcName": "WorkCenter1",
31           "tcName": "Activate Alarm"
32         }
33       ]
34     },
35     {
36       "id": 3,
37       "testCaseNames": [
38         {
39           "wcName": "WorkCenter1",
40           "tcName": "Activate Autoloss"
41         }
42       ]
43     },
44     {
45       "id": 4,
46       "testCaseNames": [
47         {
48           "wcName": "WorkCenter1",
49           "tcName": "Validate Materials"
50         }
51       ]
52     }
53   ]
54 }
55 ]
56 }
```

Este bloco permite a execução sequencial de todos os testes definidos, evitando a necessidade de iniciar cada teste individualmente.

4.2.2 Estrutura de um Caso de Teste

Cada caso de teste é constituído pelo nome, pelo o número de vezes que se irá repetir, uma lista de "Nodes"(variáveis OPC UA) e as secções (sequência de componentes de testes).

A lista dos *Nodes* contém todas as variáveis que serão utilizadas nos componentes dos testes. Cada Nó é constituído primariamente:

- Tipo de dados: Cada número corresponde a um tipo, os principais são o 1, 2 e o 10 que são respetivamente String, Boolean e Int.
- ID: Este id é o id do nó no ficheiro json.
- ID do OPC: Este id é do OPC UA.

A seguir apresenta-se um exemplo representativo de uma lista de *Nodes*/Variáveis.

```
1 {
2   "Nodes": [
3     {
4       "DataLength": 10,
```

```

5     "dataType": 2,
6     "id": 0,
7     "nodeIdOpc": "CGMS_RCP [1] . b_new_OD "
8 },
9 {
10    "DataLength": 10,
11    "dataType": 2,
12    "id": 1,
13    "nodeIdOpc": "CGMS_PLC_GLOBAL_WC1.K_IN_b_trigger_activation"
14 },
15 {
16    "DataLength": 10,
17    "dataType": 10,
18    "id": 2,
19    "nodeIdOpc": "CGMS_RCP [1] . str_header.bi_master_id.low"
20 },
21 {
22    "DataLength": 10,
23    "dataType": 10,
24    "id": 3,
25    "nodeIdOpc": "CGMS_RCP_PLC [1] . str_header.bi_master_id.low"
26 }
27 ]
28 }

```

A lista das *Sections* contém todos os componentes/instruções do teste. Existem vários componentes de teste, sendo uns mais específicos a um tipo de teste, mas os componentes principais são:

- **TestStep**: Tem a função de escrever na variável.
- **ReadCondition**: Tem a função de ler o valor da variável e efetuar um *TestStep* de acordo com o valor.
- **CompareCondition**: Tem a função de compara os valores de duas variáveis e efetuar um *TestStep* de acordo com o resultado.
- **TimerCondition**: Tem a função de temporizar o teste antes de poder prosseguir.
- **AssignCondition**: Tem a função de atribuir o valor de uma variável a outra.
- **WriteLocallyCondition**: Tem a função de guardar localmente o valor de uma variável OPC UA, para ser utilizado posteriormente.
- **CompareLocallyCondition**: Serve para compara o valor de uma variável OPC UA com o valor guardado localmente.
- **LessMoreCondition**: Serve para verificar se o valor de um nó é maior ou menor de que o valor definido.

Abaixo está representado o formato de um *TestStep* e um *ReadCondition*. Os outros componentes seguem a mesma forma que o *ReadCondition* só precisando de alterar/adicionar certas partes.

```

1 {
2   "type": "TestStep",
3   "id": 0,

```

```
4     "InitialStep": true ,
5     "LastStep": false ,
6     "action": {
7         "nodeId": 0 ,
8         "value": true
9     }
10 },
11 {
12     "type": "ReadCondition",
13     "targetNodeId": 0 ,
14     "Type": "Boolean",
15     "followingSteps": [
16     {
17         "type": "TestStep",
18         "id": 1 ,
19         "InitialStep": false ,
20         "LastStep": false ,
21         "action": {
22             "nodeId": 1 ,
23             "value": true
24         } ,
25         "valueForTransitionCondition": true
26     } ,
27     {
28         "type": "TestStep",
29         "id": 2 ,
30         "InitialStep": false ,
31         "LastStep": false ,
32         "action": {
33             "nodeId": 1 ,
34             "value": false
35         } ,
36         "valueForTransitionCondition": false
37     }
38 ]
39 }
```

Conforme ilustrado acima, o componente `ReadCondition` realiza a leitura do nó com o ID 0. Se o valor lido for verdadeiro (True), então executa o `TestStep 1`; caso o valor seja falso (False), executa o `TestStep 2`.

Além dos testes normais de ativação de receitas ou simulação de produção, existe um caso especial — o teste de validação de materiais — que requer uma pré-condição específica: a existência de um lot com o material a validar já inserido no *CGMS Server*. Para garantir esta condição, o ficheiro JSON inclui uma secção dedicada antes do início do teste, onde se especificam os dados do lot a ser criado.

A plataforma de testes comunica diretamente com a base de dados do *CGMS Server* para inserir este lot, garantindo que o ambiente esteja corretamente preparado antes da execução do teste propriamente dito. Esta integração foi necessária para evitar falhas causadas pela ausência de dados de contexto no sistema de produção simulado.

4.3 Execução dos Testes e Validação do Ambiente Simulado

A fase de execução dos testes constitui uma etapa crítica no processo de validação de sistemas industriais, especialmente quando se trata de ambientes de produção altamente automatizados e orientados para os princípios da Indústria 4.0. Neste capítulo, descreve-se a execução dos testes no ambiente de simulação desenvolvido, com foco na verificação da comunicação entre os sistemas envolvidos (FISH, CSMI e o CGMS), bem como na replicação de cenários reais de produção.

Antes da execução de qualquer teste, é realizada uma fase de validação dos *Nodes* especificados, de forma a garantir que todos existem e que os respetivos tipos de dados estão corretamente definidos. Apenas após esta verificação inicial ser concluída com sucesso é que o teste prossegue para execução, assegurando assim a integridade e robustez do processo de simulação.

Testing of Nodes					
Node	Node Identifier	PLC Data Type	Node found	Correct Datatype	Result
0	CMAP_COR[1].IN_b_SimForAllEn	Boolean	●	●	●
1	CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimEn	Boolean	●	●	●
2	CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimValue	Boolean	●	●	●
3	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_CapPlySide.bSimEn	Boolean	●	●	●
4	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_BeltSide.bSimEn	Boolean	●	●	●
5	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_ShapingSide.bSimEn	Boolean	●	●	●
6	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_CapPlySide.bSimValue	Boolean	●	●	●
7	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_BeltSide.bSimValue	Boolean	●	●	●
8	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_ShapingSide.bSimValue	Boolean	●	●	●
9	COM_AI_Vis_to_PLC[59]	Int16	●	●	●
10	CGMS_RCP[1].str_param.Winding_Result_OK	Boolean	●	●	●
11	CGMS_RCP[1].str_param.Phase_Result_OK	Boolean	●	●	●
12	CGMS_RCP[1].b_new_OD	Boolean	●	●	●

Figura 19: Validação das Variáveis com Sucesso

Testing of Nodes					
Node	Node Identifier	PLC Data Type	Node found	Correct Datatype	Result
0	CMAP_COR[1].IN_b_SimForAllEn	Boolean	●	●	●
1	CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimEn	Boolean	●	●	●
2	CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimValue	Boolean	●	●	●
3	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_CapPlySide.bSimEn	Boolean	●	●	●
4	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_BeltSide.bSimEn	Boolean	●	●	●
5	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_ShapingSide.bSimEn	Boolean	●	●	●
6	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_CapPlySide.bSimValue	Boolean	●	●	●
7	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_BeltSide.bSimValue	Boolean	●	●	●
8	CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_ShapingSide.bSimValue	Boolean	●	●	●
9	COM_AI_Vis_to_PLC[59]	Int16	●	●	●
10	CGMS_RCP[1].str_param.Winding_Result_OK	Boolean	●	●	●
11	CGMS_RCP[1].str_param.Phase_Result_OK	Boolean	●	●	●
12	CGMS_RCP[1].b_new_OD	Boolean	●	●	●

Figura 20: Validação das Variáveis a Falhar

Para cada caso de teste, é possível analisar detalhadamente os resultados em múltiplos níveis: o resultado global da execução, os resultados por secção, os resultados de cada repetição dentro de uma secção, os resultados individuais de cada componente do teste, bem como os tempos de execução associados a cada um destes elementos.

Run	Run Result	Section	Section Result	Section Run	Section Run Result	Step	Step Action	Elapsed Time ms	Required Runs	Step Result
▼1	●							443		
		▼ Start the Recipe	●					443		
				▼1	●			443		
						0	Write the Value True into the OPC-Node 0 -> CMAP_COR[1].IN_b_SimForAllEn	10	1	●
						1	Write the Value True into the OPC-Node 1 -> CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimEn	10	1	●
						2	Write the Value True into the OPC-Node 2 -> CMAP_GBL_WC1.st_Interface[1].bMapl_CGMS_Active.bSimValue	17	1	●
						3	Write the Value True into the OPC-Node 3 -> CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_CapPlySide.bSimEn	11	1	●
						4	Write the Value True into the OPC-Node 4 -> CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_BeltSide.bSimEn	11	1	●
						5	Write the Value True into the OPC-Node 5 -> CMAP_GBL_WC1.st_Generic[1].bMapl_Man_ShapingSide.bSimEn	9	1	●

Figura 21: Execução do Teste com Sucesso

Run	Run Result	Section	Section Result	Section Run	Section Run Result	Step	Step Action	Elapsed Time ms	Required Runs	Step Result
▼1	●							76		
		▼ Start the Recipe	●					68		
				▶1	●			68		
No new Recipe was selected to get into production										

Figura 22: Execução do Teste a Falhar

As figuras 21 e 22 ilustram os resultados da execução do teste "Ativar Receita". Os restantes testes seguem um formato idêntico, variando apenas nos nomes e nas ações específicas associadas a cada caso de teste.

Para garantir que os testes foram executados corretamente e que a comunicação entre os sistemas ocorreu como esperado, é possível utilizar a própria ferramenta de testes, que fornece relatórios detalhados com o resultado de cada passo, secção e componente do teste. Esta verificação centralizada é geralmente suficiente para validar o sucesso da execução.

Adicionalmente, e de forma opcional, pode-se consultar o CGMS Client e o CGMS Server para verificar se o comportamento previsto foi desencadeado, como a ativação de uma receita ou o início da produção. No entanto, essas validações manuais funcionam apenas como apoio complementar, uma vez que os mecanismos da própria ferramenta de testes já asseguram rastreabilidade e fiabilidade dos resultados.

Para confirmar se uma receita foi devidamente ativada, pode-se observar a transição do estado da ordem: inicialmente classificada como “Não Pode Iniciar”, deverá passar para o estado “A Correr”, sinalizando que o processo de produção foi iniciado com sucesso.

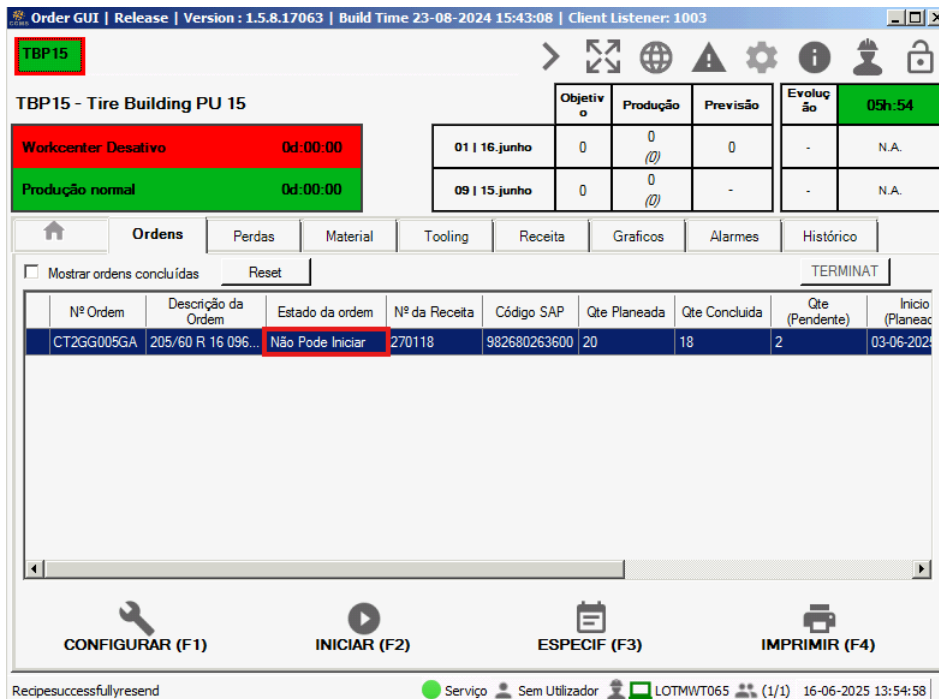


Figura 23: Estado do Sistema Antes da Ativação da Receita

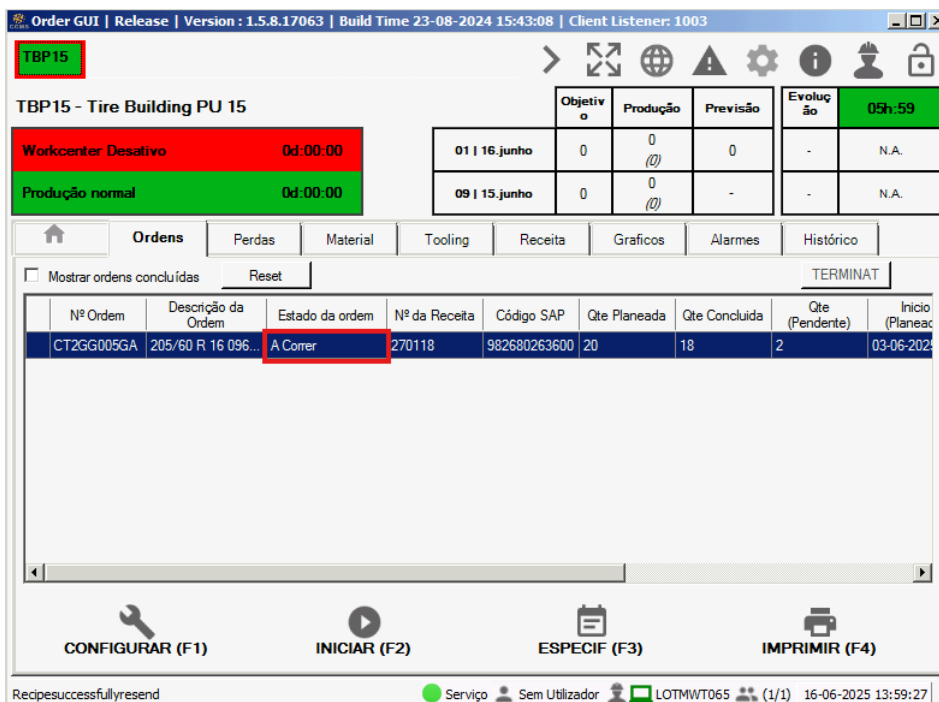


Figura 24: Estado do Sistema Depois da Ativação da Receita

No caso da simulação da produção, após a ativação de uma receita, é possível confirmar inicialmente que a quantidade produzida se encontra a zero. Durante a execução do teste, pode-se observar o aumento progressivo dessa quantidade, o que demonstra que o processo de simulação da produção está a decorrer corretamente e que os sistemas envolvidos estão a comunicar de forma eficaz.

Order GUI | Release | Version : 1.5.8.17063 | Build Time 8/23/2024 3:43:08 PM | Client Listener: 1003

TBP15

TBP15 - Tire Building PU 15

Workcenter Ativo 0d:00:01

Produção normal 0d:00:00

	Objetivo	Produção	Previsão	Evolução	
01 03.junho	20	0 (0)	0	-	N.A.
03 02.junho	0	0 (0)	-	-	N.A.

Ordens Perdidas Material Tooling Receita Graficos Alarmes Histórico

Mostrar ordens concluídas

Nº Ordem	Descrição da Ordem	Estado da ordem	Nº da Receita	Código SAP	Qte Planeada	Qte Concluída	Qte (Pendente)	Início (Planead)
CT2GG005GA	205/60 R 16 096...	A Correr	270118	982680263600	20	0	20	03/06/202

CONFIGURAR (F1) INICIAR (F2) ESPECIF (F3) IMPRIMIR (F4) Criar Ordem (F5)

A perda está a ser processada. Novo M Serviço uih27435 03/06/2025 13:48:25 LOTV00TC00060 (1/1) 03/06/2025 13:50:16

Figura 25: Estado do Sistema Antes da Produção

Order GUI | Release | Version : 1.5.8.17063 | Build Time 8/23/2024 3:43:08 PM | Client Listener: 1003

TBP15

TBP15 - Tire Building PU 15

Workcenter Ativo 0d:00:00

Produção normal 0d:00:09

	Objetivo	Produção	Previsão	Evolução	
01 03.junho	20	18 (0)	36	18	2222
03 02.junho	0	0 (0)	-	-	N.A.

Ordens Perdidas Material Tooling Receita Graficos Alarmes Histórico

Mostrar ordens concluídas

Nº Ordem	Descrição da Ordem	Estado da ordem	Nº da Receita	Código SAP	Qte Planeada	Qte Concluída	Qte (Pendente)	Início (Planead)
CT2GG005GA	205/60 R 16 096...	A Correr	270118	982680263600	20	18	2	03/06/202

CONFIGURAR (F1) INICIAR (F2) ESPECIF (F3) IMPRIMIR (F4) Criar Ordem (F5)

A perda está a ser processada. Novo M Serviço uih27435 03/06/2025 13:48:25 LOTV00TC00060 (1/1) 03/06/2025 14:01:29

Figura 26: Estado do Sistema Depois da Produção

No caso da simulação de alarmes, é possível simular condições específicas que, em circunstâncias reais, gerariam alertas operacionais. Durante o teste, quando essas condições são simuladas, os alarmes esperados devem ser automaticamente acionados e registados no sistema. Este comportamento confirma que o mecanismo de detecção de falhas e o fluxo de comunicação entre o sistema de testes, o CSMI e o CGMS está funcional e em conformidade com o esperado para garantir a fiabilidade da monitorização em contexto produtivo.

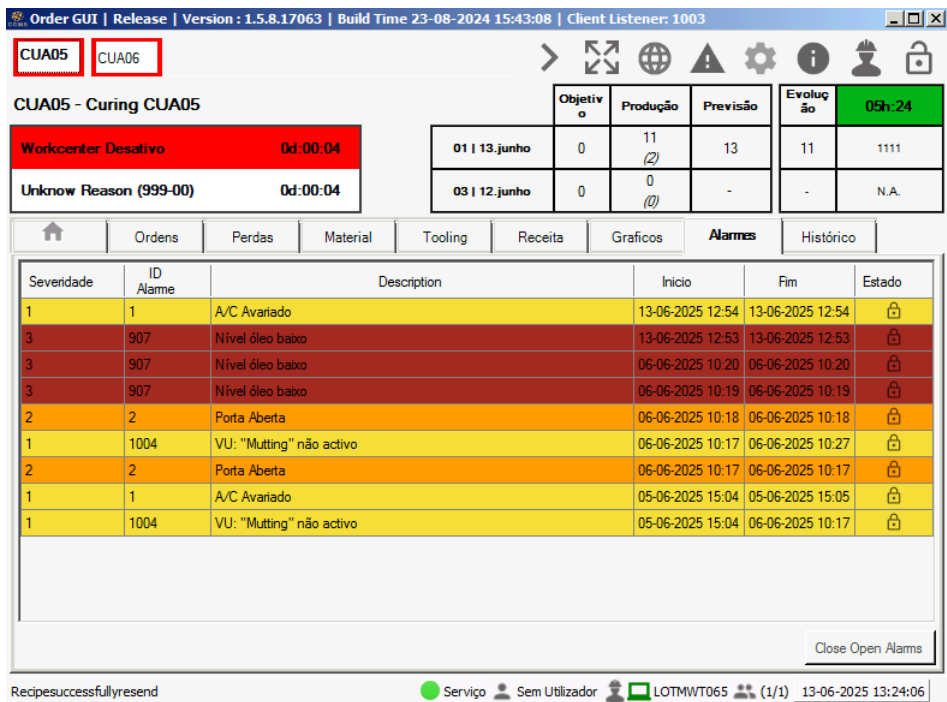


Figura 27: Alarmes

No caso da simulação de perdas, o teste permite simular situações em que uma determinada máquina fique parada, ativando os mecanismos de detecção de perda configurados no sistema. Ao longo da execução, é possível verificar que essas perdas são corretamente registadas e interpretadas.

+/-	Estado da máquina	Qte	Event end	Event end	Duração [HH:MM:SS]
	Unknow Reason (999-00)	2	13-06-2025 12:53	13-06-2025 13:18	00:19:58
	Pré-aquecimento do molde (553-00)	1	13-06-2025 12:53	13-06-2025 12:53	00:00:07
	Avaria mecânica (611-00)	1	13-06-2025 08:00	13-06-2025 12:50	04:50:04
	Unknow Reason (999-00)	1	12-06-2025 23:59	13-06-2025 08:00	08:00:01
	Avaria mecânica (611-00)	1	12-06-2025 16:00	12-06-2025 23:59	07:59:59
	Unknow Reason (999-00)	1	12-06-2025 08:00	12-06-2025 16:00	08:00:00
	Avaria mecânica (611-00)	2	11-06-2025 16:00	12-06-2025 08:00	16:00:00
	Unknow Reason (999-00)	1	11-06-2025 11:21	11-06-2025 16:00	04:38:15

Figura 28: Perdas

A funcionalidade de validação de materiais permite verificar se o material de entrada ou de saída é adequado para uma determinada posição na máquina. Tal como referido anteriormente, uma condição prévia essencial para a execução deste teste é a existência, na base de dados, de um lote com o material a validar.

Objetivo	Produção	Previsão	Evolução	06h:59
01 16.junho	0 (0)	0	-	N.A.
09 15.junho	0 (0)	-	-	N.A.

Nº Ordem	Descrição da Ordem	Estado da ordem	Nº da Receita	Código SAP	Qte Planeada	Qte Produzida	Qte (Pendente)
CT2GG005GA	205/60 R 16 096V (2636)	Running	270118	982680263600	20	18	2

Nome do Feeder	Estado do Interlock	Validação Status	Num. Unidade de armazenamento	Código SAP	Variant	Issue	Descrição
Breaker Esq.: 1	🔌	✓		982620116300			MPS05-28-170.0-0-9-30-17 ...
Breaker Dir.: 2	🔌	X		982530087400			MPS05-28-160.0 (0874)
Cap Ply 1 : 3	🔌			982540001000			N03300/10.0
Cap Ply 2 : 4	🔌						

Figura 29: Validação de Materiais

5. Conclusões

Este projeto teve como principal objetivo o desenvolvimento de um ambiente de testes automatizado e configurável que permitisse simular com precisão condições reais de produção, contribuindo para a validação eficaz de soluções industriais no contexto da Indústria 4.0. Ao longo desta dissertação, foi descrito o percurso realizado desde a identificação das limitações do sistema atual da Continental até à proposta e implementação de uma solução.

Inicialmente, a análise da arquitetura existente permitiu compreender os vários níveis que compõem o sistema produtivo, nomeadamente os módulos CSMI e CGMS, bem como o papel que cada um desempenha na recolha, tratamento e supervisão de dados de produção. Foi também possível identificar pontos fracos no ambiente de testes atual, como a elevada dependência de processos manuais, a dificuldade em garantir consistência nos resultados e a limitação na simulação de diferentes cenários produtivos.

O desenvolvimento da solução centrou-se na criação de uma ferramenta de testes com capacidade para executar casos de teste específicos por máquina e por processo (como ativação de receitas, início de produção, validação de materiais e ferramentas, entre outros), recorrendo a ficheiros JSON. Esta ferramenta foi implementada num ambiente de testes controlado, numa máquina virtual, em conjunto com o CSMI e o CGMS Client, garantindo a reprodutibilidade dos testes e a validação segura das funcionalidades.

Durante a implementação, foram enfrentados vários desafios técnicos, incluindo limitações na sincronização entre sistemas, requisitos adicionais como a inserção de lots na base de dados do CGMS Server e a necessidade de temporizações específicas para garantir uma comunicação fiável com o CSMI. Estas dificuldades foram ultrapassadas com o ajustamento de condições de teste e a adoção de práticas de simulação mais robustas.

Em termos de impacto, a solução desenvolvida representa um avanço significativo na automatização dos testes na Continental. Permite não só reduzir o esforço manual e o risco de erro humano, como também garantir maior fiabilidade e rastreabilidade no processo de validação de software industrial. Além disso, a abordagem modular da ferramenta de testes facilita a sua adaptação a diferentes máquinas e cenários operacionais.

Por fim, este documento reforça a importância da simulação e da automatização como pilares fundamentais para a modernização de sistemas industriais. Com base na metodologia de Design and Creation, o trabalho contribui para a transição digital da indústria, oferecendo uma solução prática, escalável e alinhada com os princípios da Indústria 4.0.

Bibliografia

- Atlassian (2024). «O que é computação em nuvem? Uma visão geral da nuvem». Em: Accessed: January 3, 2025. url: <https://www.atlassian.com/br/microservices/cloud-computing>.
- Caiza, Gustavo et al. (2019). «Industrial Shop-Floor Integration Based on AMQP protocol in an IoT Environment». Em: pp. 1–6. doi: 10.1109/ETCM48019.2019.9014858.
- Continental (2024). *About Us*. Accessed: November 17, 2024. url: <https://www.continental-tires.com/pt/pt/about-us/>.
- D’Antonio, Gianluca et al. (2017). «PLM-MES Integration to Support Industry 4.0». Em: 517, pp. 129–137. doi: 10.1007/978-3-319-72905-3_12.
- De Barros, Camila C., Arlindo F. Da Conceição e Vladimir Rocha (2023). «Integração de Serviços MQTT Usando Blockchain». Em: pp. 605–606. doi: 10.1109/INDUSCON58041.2023.10374720.
- Ghazivakili, Mohammad, Claudio Demartini e Claudio Zunino (2018). «Industrial data-collector by enabling OPC-UA standard for Industry 4.0». Em: pp. 1–8. doi: 10.1109/WFCS.2018.8402364.
- Gu, Yuefei et al. (2021). «Simulating a production system as an agent-based model: a case study of a gear reducer factory». Em: pp. 198–201. doi: 10.1109/ISRIMT53730.2021.9596880.
- Kenitar, Soukaina Bakhat et al. (2018). «Evaluation of the MQTT Protocol Latency over Different Gateways». Em: 3rd International Conference on Smart City Applications (SCA’), Tetouan, MOROCCO, OCT 10-11, 2018. doi: 10.1145/3286606.3286864.
- Kliasheu, Ivan et al. (2024). «OPC UA as a Key Technology for Industry 4.0 Electric Drives - A Proof of Concept». Em: pp. 1–8. doi: 10.1109/ECCEurope62508.2024.10752057.
- Liu, Huiying et al. (2024). «Formal Verification and Security Analysis of AMQP». Em: IEEE Annual International Computer Software and Applications Conference. Ed. por H Shahriar et al. 48th Annual IEEE International Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC) - Digital Development for a Better Future, Osaka Univ, Nakanoshima Ctr, Osaka, JAPAN, JUL 02-04, 2023, pp. 2177–2182. doi: 10.1109/COMPSAC61105.2024.00349.
- Malega, Peter, Vladimír Gazda e Vladimír Rudy (2022). «Optimization of production system in plant simulation». Em: *SIMULATION* 98.4, pp. 295–306. doi: 10.1177/00375497211038908.
- Muniraj, Santhana Pandiyan e Xun Xu (2021). «An Implementation of OPC UA for Machine-to-Machine Communications in a Smart Factory». Em: *Procedia Manufacturing* 53. 49th SME North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 49, 2021), pp. 52–58. issn: 2351-9789. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.06.009>.
- Objective (2021). *Metodologia Waterfall: vantagens e desvantagens do método cascata*. Accessed: December 14, 2024. url: https://www.objective.com.br/insights/waterfall-vantagens-desvantagens/?utm_source=chatgpt.com.
- Ozan Saltuk, Ismail Kosan (2014). *Design and Creation*. Accessed: December 15, 2024. url: https://www.medien.ifi.lmu.de/lehre/ss14/swal/presentations/topic2-saltuk_kosan-DesignAndCreation.pdf.
- PRISMA (2024). *PRISMA Flow Diagram*. Accessed: December 14, 2024. url: <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-flow-diagram>.

- Reitz, Jan e Jürgen Roßmann (2020). «Automatic Integration of Simulated Systems into OPC UA Networks». Em: pp. 697–702. doi: 10.1109/CASE48305.2020.9216827.
- SAP (2024). «O que é a Indústria 4.0?» Em: url: <https://www.sap.com/brazil/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>.
- Schniewind, Henry (2023). *New Solution Center in Portugal Boosts Expertise in Digital Business Models and Tire Solutions*. Accessed: November 17, 2024. url: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/20230424-lousado-sc/>.
- Smirnov, Denis, Tim Schenk e Jan C. Wehrstedt (2018). «Hierarchical Simulation of Production Systems». Em: pp. 875–880. doi: 10.1109/COASE.2018.8560436.
- Tabim, Veronica M. et al. (2024). «Implementing Manufacturing Execution Systems (MES) for Industry 4.0: Overcoming buyer-provider information asymmetries through knowledge sharing dynamics». Em: *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING* 196. doi: 10.1016/j.cie.2024.110483.
- Überall, Christian, Marcel Bartholet e Roman Khudaybergenov (2021). «Smart & automated production based on MQTT». Em: pp. 1–6. doi: 10.1109/SmartNets50376.2021.9555408.
- Valle-Gómez, Kevin J. et al. (2019). «Software Testing: Cost Reduction in Industry 4.0». Em: pp. 69–70. doi: 10.1109/AST.2019.00018.
- VanNewkirk, John (2020). «In-Line Testing of Highly Panelized PCBAS with Parallel Functional Test». Em: pp. 1–10. doi: 10.23919/PanPacific48324.2020.9059454.
- Velez-Estevez, Antonio, Lorena Gutiérrez-Madroñal e Inmaculada Medina-Bulo (2022). «IoT-TEG 4.0: A New Approach 4.0 for Test Event Generation». Em: *IEEE Transactions on Reliability* 71.3, pp. 1368–1380. doi: 10.1109/TR.2021.3087781.
- Wang, Miaomiao et al. (2021). «Design and implementation of MES system for intelligent manufacturing reducer production line». Em: pp. 502–505. doi: 10.1109/WCMEIM54377.2021.00108.

A. Project Charter

PROJECT CHARTER

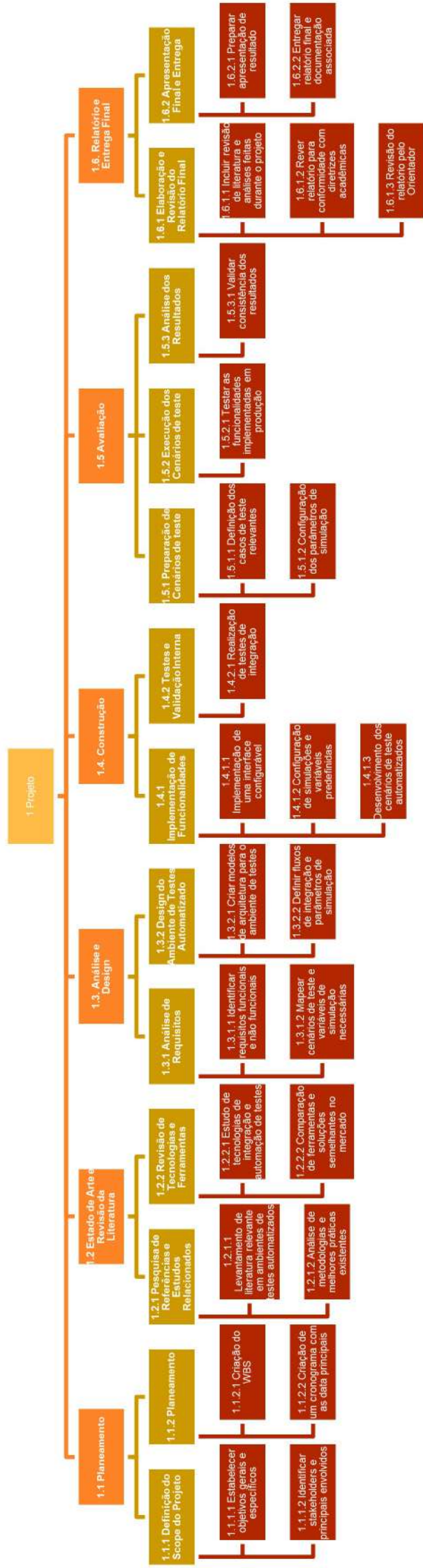
1. Informação geral				
Nome do Projeto:	Enhancing FISH - Fully Integrated Simulation Hub			
Sponsor:	Isabel Azevedo, Nuno Silva, Pedro Morim			
Departamento	Desenvolvimento			
2. Equipa do Projeto				
Cargo	Nome	Departamento	Contact Tel	E-mail
Orientador	Nuno Silva	Informática		nps@isep.ipp.pt
Supervisor	Pedro Morim	Desenvolvimento		pedro.morim@conti.de
3. Stakeholders				
Nome	Poder		Interesse	
Departamento de Desenvolvimento de Software	Alto		Alto	
Departamento de Produção	Médio		Alto	
Departamento de Qualidade	Baixo		Médio	
"Fornecedores" das máquinas	Baixo		Baixo	
4. Âmbito				
Problema / justificação				
<p>Problema e Necessidade</p> <p>Continental's current environment for simulating productive scenarios is limited by its inability to automatically replicate identical test conditions across all released versions.</p> <p>The diverse machinery used in Continental plants further complicates manual testing, making the process difficulty and prone to inconsistencies.</p> <p>The primary goal of this internship is to enhance the existing interface to create a flexible and configurable environment. This environment will be capable of interacting with different machine profiles through an OPC UA connection, thus enabling more accurate and consistent testing across various machine types.</p> <p>Scope and Requirements:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Develop software that can reproduce integration variables for standard machine types by simulating productive environment - Extend the testing capabilities by adding missing test cases. <p>Recreate the productive environment by creating CSMI integration signals for a particular machine type. Use an OPC UA server to write/read CSMI signals. Consume configurations that include production speed, quantity, and number of flagging triggers.</p> <p>Área de Pesquisa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automação de Testes e Simulação Industrial <p>Tópico de Pesquisa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento de um ambiente de testes configurável e automático 				

Objetivos do projeto
<p>Objetivos</p> <ol style="list-style-type: none">1. Consistency in Testing2. Reduced Human Error3. Scalability4. Flexibility and Configurability5. Quality Assurance6. Improved Traceability7. Decrease the workload of the testers / team8. Saving machine tests time
<p>Objetivo Geral</p> <ol style="list-style-type: none">1. Criar um ambiente de testes automatizado e configurável.
<p>Objetivos Específicos</p> <ol style="list-style-type: none">1. Desenvolver a geração automática de variáveis de integração e sinais de controle2. Expandir os cenários de teste para cobrir casos adicionais3. Utilizar variáveis e parâmetros predefinidos para simular condições reais de produção4. Automatizar a replicação de condições de produção5. Reduzir a intervenção manual no processo de testes6. Validar a precisão e consistência dos resultados de testes
<p>Metodologia</p> <ol style="list-style-type: none">1. - Levantamento de Requisitos e Análise Técnica2. - Implementação de Casos de Teste e Configurações Pré-definidas3. - Validação e Otimização da Solução
<p>Perguntas de Pesquisa</p> <ol style="list-style-type: none">1. Quais são as principais metodologias e desafios na implementação de testes automatizados na Indústria 4.0?2. De que forma a simulação de processos produtivos pode melhorar a fiabilidade e eficiência dos testes industriais?
<p>Hipóteses</p> <ol style="list-style-type: none">1. Hipótese Principal: A adoção de testes automatizados na Indústria 4.0 melhora significativamente a consistência e a fiabilidade dos resultados, reduzindo a necessidade de intervenção humana.2. Hipótese Secundária: A utilização de simulação baseada em eventos discretos e simulação baseada em agentes permite testar cenários complexos sem afetar a produção real, reduzindo custos e tempo de inatividade.
Benefícios
<ol style="list-style-type: none">1. Consistência e Confiabilidade nos Testes2. Redução de Erros Humanos3. Escalabilidade do Ambiente de Teste4. Maior Flexibilidade e Configurabilidade5. Garantia de Qualidade6. Melhoria na Rastreabilidade dos Testes7. Redução da Carga de Trabalho e Otimização do Tempo de Teste8. Economia de Tempo e Recursos no Uso de Máquinas Reais

Entregáveis		
Ambiente de Teste Automatizado Conjunto de Casos de Teste Ampliado Relatório de Tese		
5. Tempo		
Milestones / Datas		
Análise Técnica		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Data de Conclusão:</i> 30/03/2025 		
Desenvolvimento do Ambiente de Teste Automatizado		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Data de Conclusão:</i> 01/06/2025 		
Relatório Final e Entrega do Projeto		
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Data de Conclusão:</i> 30/06/2025 		
6. Custo		
Fontes de custo		
7. Pressupostos		8. Restrições
Disponibilidade de Recursos Técnicos e Humanos Acesso a Documentação Técnica		Conformidade com Padrões de Segurança e Qualidade Capacidade do Hardware Existente Integração com o Ambiente Produtivo Real Dependência de Sistemas Externos
9. Riscos		
Riscos identificados		
Atrasos no Desenvolvimento	Complexidade técnica	Cronograma é comprometido
Dependência de Conhecimento Específico	Falta de especialistas em OPC UA	Atraso do projeto
Incompatibilidade Técnica com Equipamentos Existentes	Variedade de tipos e perfis de máquinas	Inconsistências nos testes e resultados imprecisos
10. Aprovação		

	Nome	Assinatura	Data (DD/MM/YYYY)
Orientador	Nuno Silva		
Supervisor	Pedro Morim		
Júri	<i>Undefined</i>		
Notas			

B. WBS



C. Riscos

Project X Risk Register

Positive Risk Response Options	Exploit	Share	Enhance	Accept
Negative Risk Response Options	Avoid	Transfer	Mitigate	Accept
Alternate Response Options	Contingency			

Risk ID	Description	Cause	Effect	Risk Owner	Probability (1-5)	Impact (1-5)	PI Score	Expected Result, No Action	Risk Response Type	Response description
	Description of the risk	Cause of the risk	Effect on the project	Name of person who monitors the risk	Group sourced rough estimate of how likely this is to occur	Rough estimate of how significant the impact of this risk	Probability multiplied by impact	What will happen if the risk becomes an issue and no action is taken	Decision made by group on how to respond to this risk (see above in blue)	How do you know it is time to put the response into play
1	Atrasos no desenvolvimento	Complexidade técnica	Atrasos	Vitor Costa	3	4	12	Não será cumprido as deadlines	Mitigar	Priorizar tarefas críticas e ajustar o cronograma conforme necessário.
2	Falta de Recursos Humanos	Falta de especialistas no tema do projeto	Atrasos	Vitor Costa	2	3	6	Não será cumprido as deadlines	Mitigar	Entrar em contato com especialistas externos, redistribuir tarefas e identificar recursos adicionais.
3	Incompatibilidade Técnica com equipamentos existentes	Variedade de máquinas de produção	Inconsistências nos testes e resultados inesperados	Vitor Costa	2	5	10	Não será obtido os resultados corretos e esperados	Mitigar	Realizar testes de compatibilidade antecipados e ajustar o design do sistema para maior flexibilidade.