



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento DE ENGENHARIA Mecânica

Estudo da Função dos Controladores Lógicos Programáveis numa Gestão 4.0

Diogo Miguel Tavares Ribeiro

(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

**Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial**

Orientadores:

Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:

Presidente:

Doutor José Manuel Prista do Valle Cardoso Igreja

Vogais:

Doutora Ana Inês da Silva Oliveira

Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes

Dezembro de 2022

Dedico esta dissertação aos meus pais e à minha família que me têm apoiado em todos os momentos da minha vida.

Agradecimentos

A realização da presente dissertação só foi possível graças aos diversos apoios e incentivos, que não poderia deixar de mencionar e agradecer.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Sociedade Central de Cervejas, por ter aceitado a minha sugestão de projecto e ter confiado em mim para coordenar toda a implementação. Agradecer também a todas as equipas que participaram na implementação do projecto e contribuíram com diversas ideias originais, que permitiram melhorar significativamente todo o sistema.

À Maria Ribeiro pelo amor, paciência e motivação que me deu ao longo de toda a concretização da dissertação.

À minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio que sempre deram, por me terem guiado ao longo da vida e por serem uma referência de esforço e dedicação.

Ao Professor Doutor Mário Mendes pela disponibilidade e orientação, que foram essenciais ao desenvolvimento do presente trabalho e ao Professor Doutor António Abreu pelas críticas que permitiriam melhorar a construção e organização do mesmo.

Termino assim, mais uma etapa da minha vida, de procura constante pelo conhecimento e desenvolvimento pessoal. Por certo, outra etapa se iniciará com novos desafios e aprendizagens.

Actualmente a indústria enfrenta um mercado cada vez mais exigente e complexo, que necessita de uma velocidade de adaptação nunca observada. Este tipo de necessidade, obriga a que sejam necessárias novas capacidades de gestão e controlo de processos, de forma a assegurar a sobrevivência dos negócios. Os gestores têm procurado o apoio de tecnologias emergentes, para garantir tomadas de decisão conscientes e baseadas no maior número de informação possível.

O paradigma da indústria 4.0, levou à introdução de tecnologias, como a internet industrial das coisas, que garantem a conectividade ao longo das diferentes etapas de *supply chain* e providencia, aos gestores, toda a informação que necessitam para realizar o acompanhamento adequado.

Uma transição para a digitalização, oferece diferentes possibilidades, que permitem aumentar a produtividade e eficiência dos processos. No entanto, origina uma série de desafios ao inserir alterações significativas no *modus operandi* de todos os intervenientes, desde o chão de fábrica à gestão de topo.

O objectivo deste trabalho foi o estudo e apresentação do controlador lógico programável, como um dos elementos-chave no apoio à implementação da gestão 4.0. Para isso, foi apresentado um modelo estrutural, suportado por diferentes tecnologias da indústria 4.0, que visa a apoiar as diferentes equipas na digitalização da indústria e tem como base a utilização dos controladores lógicos programáveis já existentes. Além disso, foi ainda elaborado e apresentado um caso de estudo que pretende demonstrar a implementação de um sistema baseado no modelo estrutural desenvolvido, de forma a apoiar as diferentes equipas na melhoria contínua dos processos ao fornecer informações de forma organizada e estruturada, facilitando deste modo a sua análise e utilização para a tomada de decisão.

Palavras-chave: indústria 4.0, internet industrial das coisas, *supply chain*, controlador lógico programável, eficiência.

Currently, the industry faces an increasingly demanding and complex market, which requires high speeds of adaptation like it has never been seen before. This kind of needs requires new management and process control abilities in order to ensure the business continuity. Managers have sought the support of emerging technologies, to ensure conscious decision-making based on the highest quantity of information possible.

The industry 4.0 paradigm has led to the implementation of technologies such as the industrial internet of things, which guarantee connectivity throughout different stages of the supply chain and provides managers with all the information they need to monitor it.

The digitalization transition offers different possibilities, which allow to increase both productivity and efficiency of the processes. However, it creates multiple challenges by introducing significant changes in the modus operandi of all stakeholders, from shop floor to top management.

The goal of this work was to study and present the programable logic controller, as one of the key elements in supporting the implementation of a management 4.0. For this, it was presented a structural model, based on the existing programable logical controllers, supported by different technologies from industry 4.0 that aims to help the different teams, in the industrial digitalization. Additionally, a case study was also developed and presented that intends to demonstrate the implementation of a system based on the developed structural model, to support different teams in the continuous improvement of processes by providing structured and organized information, facilitating thus its analysis and use for decision making.

Palavras-chave: industry 4.0, industrial internet of things, *supply chain*, programable logical controller, efficiency.

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas e Siglas	ix
1. Introdução	1
1.1 Contextualização do problema	1
1.2 Motivações	2
1.3 Objetivos de Investigação e Pertinência do Estudo	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Estado da Arte.....	5
2.1 Introdução	5
2.2 A evolução da gestão na indústria	5
2.3 Metodologias e ferramentas de gestão Industrial	7
2.3.1 Lean	8
2.3.2 TPM - Total Productive Maintenance	11
2.3.3 TQM – Total Quality Management	14
2.3.4 Ferramentas da gestão tradicional	16
2.4 Quarta revolução industrial	19
2.4.1 Business Intelligence	20
2.4.2 Serviços Cloud	22
2.4.3 IoT – Internet of Things	22
2.4.4 Sistemas Ciberfísicos	23
2.4.5 Big Data	25
2.4.6 Inteligência Artificial	26
2.4.7 Cibersegurança Industrial	29
2.5 Papel do PLC na Indústria 4.0	31
3. Modelo Estrutural dos Pilares da Gestão 4.0.....	35
3.1 Introdução	35
3.2 Representação gráfica do modelo estrutural da Gestão 4.0 na indústria ...	36
3.2.1 Aquisição de dados	37
3.2.2 Pilares do modelo estrutural da gestão 4.0	42
3.2.2.1 Produção 4.0	42
3.2.2.2 Manutenção 4.0	44
3.2.2.3 Qualidade 4.0	46
3.2.2.4 Competências 4.0	48
3.2.2.5 Cybersegurança 4.0	50

3.2.3 Tratamento e Análise de Dados	52
4. Caso de Estudo: Digitalização de uma linha de enchimento	55
4.1 Introdução	55
4.2 Caracterização da empresa	55
4.3 Contextualização do caso de estudo a implementar	57
4.3.1 Análise do método de trabalho anterior à implementação do sistema	58
4.3.2 Arquitectura do sistema a implementar	61
4.3.2.1 Componentes utilizados	63
4.3.2.2 Software utilizado	65
4.4 Desenvolvimento e implementação do caso de estudo	67
4.4.1 Etapa 1: Arranque do projecto	68
4.4.2 Etapa 2: Infraestrutura e aquisição de dados	70
4.4.3 Etapa 3: Definição de casos de estudo a implementar	71
4.4.4 Etapa 4: Tratamento de dados e desenvolvimento de casos de estudo	73
4.4.5 Etapa 5: Treino e operação	83
4.5 Demonstração de resultados e próximos passos	83
5. Conclusões	87
5.1 Conclusões	87
5.2 Trabalhos futuros	88
Referências.....	89
Anexo 1 – Folha de Análise de Problema.....	94

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação gráfica do papel do PLC na ligação entre os sistemas de automação e os sistemas de gestão.	2
Figura 2 - Interligação entre os diferentes elementos da Gestão 4.0.	6
Figura 3 - Ferramentas da gestão "tradicional".....	7
Figura 4 - Representação estrutural do TPS. Adaptado de (João et al., 2008)	9
Figura 5 - 8 Pilares do TPM (sugerido por JIPM).	12
Figura 6 - Ferramentas da Indústria 4.0.....	20
Figura 7 - Arquitectura típica de Business Intelligence. Adaptado de (Foley & Guillemette, 2010)).....	21
Figura 8 - Arquitectura das Camadas IoT. Adaptado de (Bhat et al., 2007b).....	23
Figura 9 - Sistema de controlo centralizado. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a)	24
Figura 10 - Sistema de controlo descentralizado. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a).....	24
Figura 11 - Sistema de controlo hierárquico. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a).....	25
Figura 12 - Pirâmide de Automação. Adaptado de (Cortés et al., 2020).	32
Figura 13 - Infraestrutura de controlo. Adaptado de (Azarmipour et al., 2019)	33
Figura 14 - Modelo estrutural original da indústria 4.0.	36
Figura 15 - Fluxograma de estados de acordo com o WS.	41
Figura 16 - Cinco forças de Porter para a avaliação da competição entre empresas.	43
Figura 17 - Esquema com representação dos diferentes tipos de manutenção.	45
Figura 18 - Alinhamento da arquitectura RAMI4.0 com o ciclo de utilização de dados..	52
Figura 19 - Processo de produção de malte.	56
Figura 20 - Processo de produção de cerveja.	57
Figura 21 - Arquitectura caso estudo implementado tendo por base a RAMI 4.0.....	62
Figura 22 - Ambiente de desenvolvimento do software Simatic Step7.....	65
Figura 23 - Ambiente de desenvolvimento do Tia Portal V16.	66
Figura 24 - Diagrama de Gantt do caso de estudo implementado.	68
Figura 25 - Estado das conexões online do PLC centralizado.....	70
Figura 26 - Conversão de velocidade da rotuladora em Ladder.	74
Figura 27 - Detecção de avaria com base nos estados de WS em SCL.....	74
Figura 28 - Cálculo de hectolitros produzidos com base no contador de garrafas e programa seleccionado na enchedora em SCL.....	74
Figura 29 - Esquema de fluxos de informação entre os diferentes equipamentos e softwares de supervisão.	75
Figure 30 - Script criado no WinCC para envio de dados para o servidor SQL.....	76
Figura 31 - Tabela de dados para caso de estudo de balanceamento e eficiência energética de linha criada no servidor SQL.	77
Figura 32 - Modelo de dados de PowerBI para caso de estudo de análise de avarias.	77
Figura 33 - Dashboard desenvolvido para apoiar as equipas a realizar o balanceamento de linha.	78
Figura 34 - Dashboard de consumo de água e vapor no pasteurizador.	79
Figura 35 - Dashboard para identificação do impacto das avarias na linha.....	80
Figura 36 - Dashboard com representação do P&ID da enchedora animado	80
Figura 37 - Gráfico de extracto de cerveja ao longo do enchimento.	81
Figura 38 - Dashboard de alteração e ajuste de parâmetros de controlo.....	82
Figura 39 - Ciclo PDCA para desenvolvimento de dashboards e validação de dados.	82

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação entre ferramentas de gestão e tecnologias da indústria 4.0.....	17
Tabela 2 - Programas de acordo com o WS.....	38
Tabela 3 - Estados de acordo com o WS.....	39
Tabela 4 - Características PLC centralizado.....	63
Tabela 5 - Características do servidor virtual.....	64
Tabela 6 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de balanceamento e eficiência energética.....	72
Tabela 7 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de análise de avarias. ...	72
Tabela 8 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de controlo de parâmetros de enchimento.....	72
Tabela 9 - Estrutura da DB standard de interface.....	73

Lista de Abreviaturas e Siglas

BI	Business Intelligence
CBDM	Cloud-based Design and Manufacturing
CBM	Cloud-based Manufacturing
CEP	Complex Event Processing
CPS	Cyber-Physical System
CPU	Central Processing Unit
DB	Data Base
ERP	Enterprise Resource Planning
ETL	Extract-Transform-Load
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GE	General Electric
IA	Inteligência Artificial
IBM	International Business Machines
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
IVRA	Industrial Value Chain Reference Architecture
JIPM	Japan Institute of Plan Maintenance
JIT	Just in Time
KPI	Key Performance Indicator
LASFA	LAsim Smart Factory
LIC	Limite Inferior de Controlo
LIT	Limite Inferior de Tolerância
LSC	Limite Superior de Controlo
LST	Limite Superior de Tolerância
MES	Manufacturing Execution System
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OLAP	Online Analytic Processing
OPC UA	Open Protocol Communication Unified Architecture
OPI	Overall Performance Indicator
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PHM	Prognosis and Health Management
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PLC	Programable Logical Controller
QoS	Quality of Service
RAMI 4.0	Reference Architectural Model Industry 4.0
RCFA	Root Cause Failure Analysis
RDBMS	Relational Database Management System
SAP	System Applications and Products data processing
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCL	Structured Control Language
SITAM	Stuttgart IT-Architecture for Manufacturing
SQL	Structured Query Language
TB	Terabyte

TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
VLAN	Virtual Area Network
WS	Weihenstephan Standards

1. Introdução

Actualmente, os dados são o maior bem das empresas. A empresa com maior número de dados terá uma vantagem fundamental relativamente à concorrência, visto conseguir fundamentar as suas decisões em previsões cada vez mais precisas. Uma vez que os controladores são o cérebro de todo o processo, e recolhem diariamente inúmeros dados, o seu papel será fundamental numa revolução industrial que tem como base a recolha e tratamento massivo de dados para realização de previsões e estimativas que possam apoiar as tomadas de decisão.

O PLC (Programmable Logic Controller), terá um papel crucial na etapa que a indústria enfrenta. Assim como os processos fabris, toda a *supply chain* irá necessitar de se adaptar a esta nova revolução e as empresas necessitarão de adoptar uma Gestão 4.0, onde todas as decisões tomadas serão baseadas em dados e históricos provenientes dos processos, se pretendem continuar a ser competitivas.

1.1 Contextualização do problema

A evolução tecnológica, impulsionada pela digitalização, tem vindo a alterar o *status-quo* das empresas. Com a globalização, as empresas e indústrias deixaram de competir apenas com os concorrentes locais, para começarem a competir com empresas que podem estar localizadas em qualquer país no mundo. Apesar deste facto afectar a maioria dos negócios, esta dissertação irá focar-se na indústria e seus de desafios.

A necessidade de otimizar e aumentar a competitividade, está a revolucionar os processos existentes na indústria, de forma transversal e com impacto em todas as áreas das empresas.

A última revolução industrial, também apelidada de indústria 4.0, está a transformar significativamente as indústrias, ao convergir duas tecnologias que se desenvolveram de forma independente: a automação industrial e os sistemas de informática. Esta simbiose permite alcançar soluções que até agora estavam fora do alcance das empresas. O PLC é um dos equipamentos mais importantes para a indústria, estando presente em quase todas as fábricas. Este equipamento é responsável por controlar máquinas e processos de fabrico, tendo um papel importante no cumprimento de standards de qualidade e segurança. Uma vez que o PLC recolhe constantemente dados ao longo dos processos, a sua integração será fundamental nesta nova etapa, sendo uma das peças essenciais para a digitalização da indústria. A Figura 1 representa, de forma simplificada, o papel central do PLC na transformação digital em curso, uma vez que funciona como um elo de ligação, entre o chão de fábrica e os sistemas de gestão e análise no topo da pirâmide. Além disso, a Figura 1 pretende representar, o papel que as diferentes tecnologias presentes na indústria 4.0 irão ter na digitalização da gestão “tradicional”, ou seja, na gestão não baseada em ferramentas digitais.

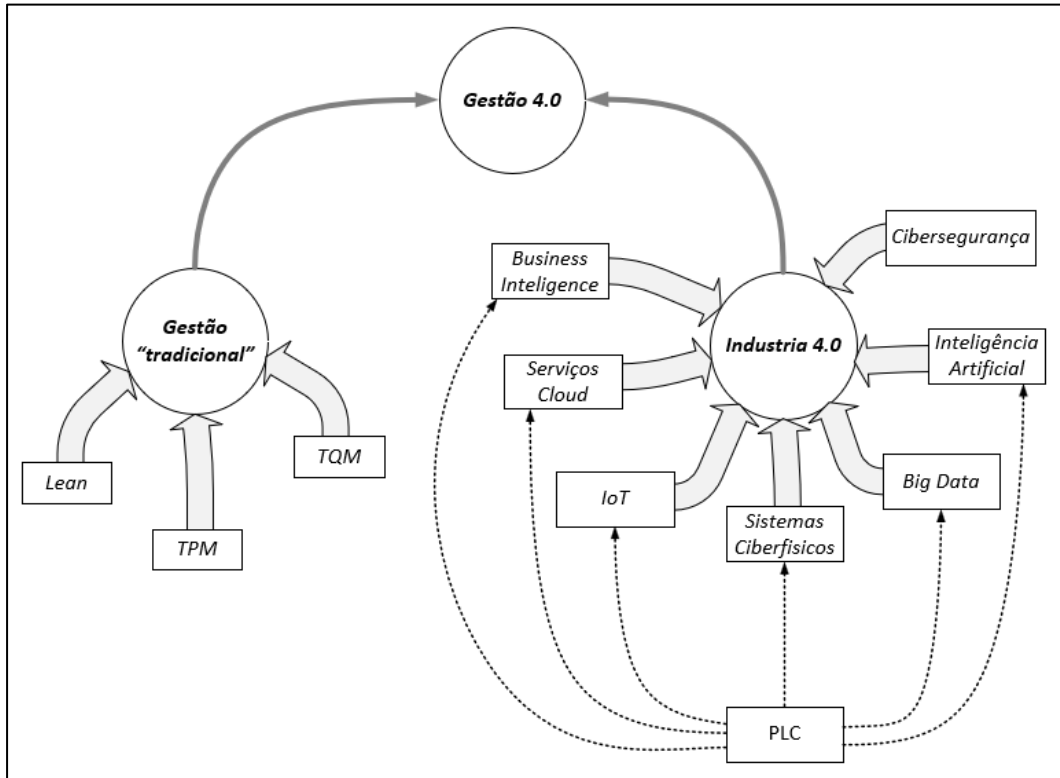


Figura 1 - Representação gráfica do papel do PLC na ligação entre os sistemas de automação e os sistemas de gestão.

O aumento da conectividade oferece inúmeras possibilidades, entre as quais a recolha de dados sem necessidade de intervenção humana. Este tipo de tecnologias oferece, pela primeira vez a possibilidade de controlar todas as etapas da *supply chain*, quer seja em tempo real ou através de históricos/registos, provenientes directamente dos diversos equipamentos existentes.

Todas estas soluções oferecem uma perspetiva única aos gestores de negócio, o que consequentemente poderá causar uma mudança de paradigma na tomada de decisões, tanto ao nível do chão de fábrica, como nas equipas de gestão de topo.

1.2 Motivações

A 4ª revolução industrial oferece diversas soluções, que prometem melhorar significativamente as empresas. Muitas das soluções apresentadas focam-se na venda e implementação de novos equipamentos, com capacidades consideradas “inteligentes”, negligenciando as soluções e oportunidades existentes no próprio chão de fábrica das indústrias. Este tipo de abordagem leva a investimentos avultados que em muitos casos não podem ser suportados, ou não oferecem viabilidade do ponto de vista económico.

A primeira motivação deste trabalho centra-se no desenvolvimento de uma arquitectura que permita às empresas entender, quais os principais aspectos a considerar durante a transição para uma era digital, assim como, assinalar os diversos factores a ter em atenção de forma a minimizar possíveis riscos e impactos negativos.

Serve ainda como motivação, apresentar um dos principais componentes que deverá estar no centro da digitalização da indústria, o PLC, assim como as potencialidades associadas à sua utilização na digitalização das empresas.

Por fim, importa ainda referir, que ao longo dos últimos anos, as equipas de gestão têm vindo a adoptar metodologias *lean* nas suas fábricas, de modo a reduzir desperdícios e otimizar as suas operações. Nesta vertente, a digitalização oferece oportunidades únicas, uma vez que, muitos dos métodos e ferramentas utilizadas dependem da recolha de dados. Ao realizar essa recolha automaticamente, deixa de existir a necessidade de registos manuais passíveis de erro, que poderiam originar conclusões erradas.

1.3 Objetivos de Investigação e Pertinência do Estudo

O tema Indústria 4.0, tem sido amplamente discutido e abordado em diversos artigos e teses académicas, sendo que, a grande maioria se foca na conectividade e atribuição de inteligência a processos, com recurso a novos equipamentos e novas soluções, menosprezando as potencialidades e oportunidades já existentes.

De uma forma geral, o tema tem sido abordado de duas formas distintas: através de análises técnicas extensivas, com foco numa tecnologia ou solução em específico, mas sem abordar os impactos para a gestão e crescimento das empresas, ou, por outro lado, através de análises económicas, onde são detalhados os ganhos e desafios associados à digitalização, mas sem nenhuma abordagem técnica pertinente.

Um dos objetivos desta dissertação é apresentar uma análise que permita entender, de um ponto de vista técnico e económico, quais as vantagens e desvantagens associadas às diferentes soluções, que constituem a indústria 4.0.

Ao longo dos anos, as diversas revoluções industriais causaram alterações significativas na gestão dos negócios e empresas, dado que, cada revolução marcou a indústria, tanto do ponto de vista tecnológico como do ponto de vista de gestão. Assim, é fundamental ligar a Indústria 4.0 à gestão.

Á semelhança de outras ferramentas e tecnologias, é essencial definir um método de implementação, para garantir a sua correcta utilização. Deste modo, o segundo objectivo da dissertação passa por definir uma estrutura base para a aplicação da Gestão 4.0 nas indústrias.

Ambos os objectivos visam a utilizar o PLC como componente base e essencial à implementação de diversas tecnologias alinhadas com a indústria 4.0 e gestão 4.0.

Além da recolha e apresentação de informação de cariz técnico-científico, será abordado um caso de estudo, que se encontra em implementação numa indústria alimentar e utiliza o PLC como base para aquisição de todos os dados necessários. Através da demonstração do caso de estudo, será possível apresentar algumas soluções, que as indústrias poderão implementar, com benefícios significativos para a gestão dos seus processos. O caso de estudo em questão, aborda de forma prática os seguintes pontos:

- Elaboração de uma arquitectura que usa os PLCs existentes nas máquinas, como fonte de dados;
- Desenvolvimento de software que permite centralizar e tratar os diferentes dados;
- Implementação de uma interface visual, que permita apresentar as informações de forma que seja possível a sua análise e interpretação;
- Aplicação de ferramentas de gestão, de modo a realizar cálculos de indicadores de performance com base em dados provenientes das máquinas;
- Demonstração de ganhos reais obtidos com a utilização da solução implementada.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação apresentada está estruturada em 5 capítulos, através dos quais é defendida a importância do PLC para a indústria e para a gestão das empresas, assim como seu contributo para uma nova era industrial.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução e contextualização do problema a abordar, as motivações que serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho, assim como os objectivos de investigação pretendidos.

No capítulo 2 - Estado da Arte, é realizada toda a revisão literária necessária ao desenvolvimento da dissertação.

Este capítulo tem como foco, as diversas tecnologias inerentes à 4ª revolução industrial, assim como o enquadramento de diversas tecnologias, metodologias e filosofias utilizadas no modelo estrutural apresentado. O capítulo inicia-se com uma visão macro do ponto de vista da gestão industrial e termina com a demonstração da última camada antes dos equipamentos de campo, o PLC.

No capítulo 3, denominado por modelo estrutural dos pilares da gestão 4.0, é apresentado um modelo original onde estão representadas as diferentes camadas que constituem a base para a introdução da gestão 4.0 na indústria. Ao longo do capítulo são apresentados diferentes constituintes do modelo, assim como as ferramentas e métodos associados à sua implementação. No final do capítulo são apresentadas tecnologias que têm vindo a ser desenvolvidas com o objectivo de apoiar, concretamente, as equipas de gestão.

No capítulo 4 é apresentado um caso de estudo, em implementação numa indústria cervejeira, onde foram aplicados alguns dos conceitos abordados ao longo da dissertação. A solução é analisada do ponto de vista técnico, incluindo as decisões tomadas e respectivas justificações. São também apresentados os resultados obtidos com a realização deste caso de estudo, assim como ganhos reais para as equipas de gestão e operação. Por fim, são definidos os próximos passos para a expansão do sistema na fábrica.

A dissertação termina com o capítulo 5, onde são apresentadas as conclusões, resultantes do desenvolvimento deste extenso trabalho, assim como possíveis opções para a utilização desta dissertação em trabalhos futuros

2.Estado da Arte

2.1 Introdução

A indústria esteve sempre directamente ligada á evolução tecnológica, sendo muitas vezes responsável não só pelo uso da tecnologia, como também pelo seu desenvolvimento e descoberta. A 3ª revolução industrial caracterizou-se pela automatização e controlo dos processos industriais, sendo o PLC um dos principais equipamentos utilizados para alcançar os objectivos pretendidos. Os sistemas e soluções implementados durante a 3ª revolução industrial desenvolveram-se de forma independente dos sistemas de IT (Information Technology). Ambos os sistemas começaram a convergir, quando surgiu a necessidade de conectar equipamentos e fábricas entre si, de modo a criar uma rede de informação em tempo real.

Com a globalização e internacionalização de empresas e negócios, é cada vez mais importante ter informação em tempo real relativamente ao estado das fábricas e das linhas de produção, quer estas estejam localizadas a apenas alguns metros ou a milhares de quilómetros de distância. Assim, actualmente estamos a assistir á 4ª revolução industrial. Esta última revolução industrial é caracterizada pela utilização de elementos físicos existentes nos ambientes industriais, em conjunto com elementos digitais presentes nas infraestruturas de IT, de modo a alcançar uma representação virtual dos processos de produção e permitir a recolha de dados de forma automática e em tempo real, acerca do estado dos equipamentos existentes no chão de fábrica.

Actualmente, a sobrevivência das empresas e negócios está directamente ligada à capacidade de se manter “online”. A digitalização impacta não só as equipas de operação, como também as equipas de gestão. As cadeias de valor estão actualmente a ser transformadas em sistemas interconectados, em constante mudança, que integram informação de forma continua com o objetivo de melhorar a produção e a distribuição. Assim, o objectivo principal é a conexão do mundo físico ao mundo digital(Moufaddal et al., 2019).

A gestão da *supply chain* digital pode ser definida como um conjunto de tecnologias inovadoras que tem a capacidade de alterar o modo tradicional de efectuar os diferentes processos, com o objectivo de atingir a integração dos diferentes intervenientes permitindo a criação de um novo modelo de negócio (Agrawal & Narain, 2018). Com os desenvolvimentos e transformações físicas e conceptuais dos diferentes equipamentos, existe a necessidade de reestruturar, não só as infraestruturas como também toda a *supply chain* e respectivos processos.

2.2 A evolução da gestão na indústria

A globalização criou diversos desafios aos negócios, uma vez que as empresas têm de competir não só com as empresas locais, como também com as empresas internacionais,

originando muitas vezes competições desequilibradas. De forma a garantir o sucesso, os gestores têm de assegurar que os processos têm o mínimo de desperdícios possíveis. Além de garantir a eficiência dos processos, é cada vez mais fundamental para as empresas assegurar a sustentabilidade ambiental dos seus processos industriais, estando esta cada vez mais ligada à aceitação por parte dos consumidores finais. A indústria 4.0, tem como objectivo auxiliar na implementação de soluções, que permitam resolver desafios cada vez mais complexos.

Na Figura 2, pretende-se utilizar modelo apresentado anteriormente e salientar a gestão 4.0 (assinalado a verde), com o objectivo de entender os diferentes componentes presentes na mesma. Em resumo, a gestão 4.0 integra as tecnologias presentes na indústria 4.0 nas ferramentas de gestão “tradicional”, sendo que a gestão “tradicional” serve de base para a “construção” da Gestão 4.0 e a indústria 4.0 fornece todos os dados e ferramentas essenciais para a sua digitalização.

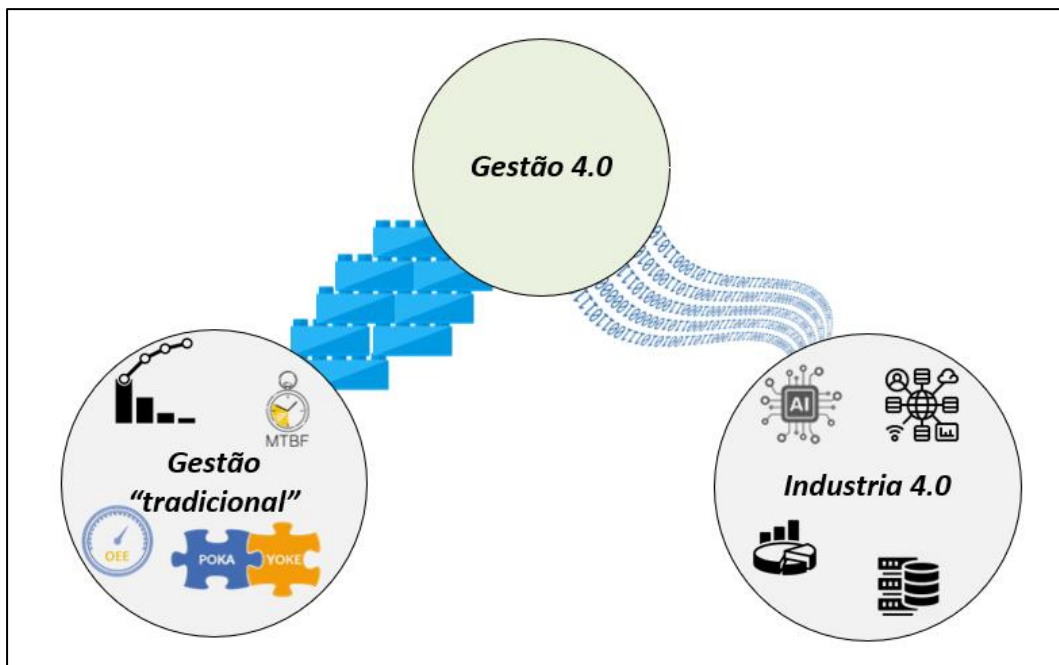


Figura 2 - Interligação entre os diferentes elementos da Gestão 4.0.

A conectividade existente na indústria 4.0 permite ligar toda a *supply chain*, numa só rede. Por outro lado, a visualização de dados permite ter uma perspectiva global do estado e respetiva performance de toda a cadeia. Isto poderá levar à criação de *supply chains* inteligentes, capazes de se adaptar a ambientes cada vez mais competitivos (Frazzon et al., 2019).

Em junho de 2015, a Mckinsey&company publicou um artigo intitulado “Manufacturing’s next act”(Baur & Wee, n.d.) onde apresentaram o “Digital Compass”, que tem por objectivo identificar as oito áreas principais para criação de valor e os respectivos meios de alavancagem de acordo com um ponto de vista baseado na indústria 4.0.

De um ponto de vista macro, as alavancas apresentadas baseiam-se na flexibilidade, dinâmica e otimização de recursos com o objectivo de aumentar a produtividade, sem comprometer a qualidade nem a rapidez de entrega de modo a aumentar o rendimento do negócio.

De seguida, serão apresentados três das principais metodologias utilizadas na gestão industrial “tradicional”, para melhorar a eficiência dos processos e empresas.

2.3 Metodologias e ferramentas de gestão Industrial

Ao longo dos anos, as equipas de gestão têm procurado melhorar os seus sistemas com o objectivo de atingir maior rentabilidade nos processos. Muitos desses métodos têm por base o aumento de eficiência operacional através da redução de desperdícios, com a finalidade de alcançar a optimização.

A Figura 3, procura representar os principais métodos utilizados na gestão para garantir a eficiência e respectiva optimização das diferentes etapas do negócio, estando o “operador” no centro, uma vez que os diferentes métodos e filosofias apenas são possíveis de implementar se existir uma alteração comportamental nos diferentes intervenientes, caso contrário toda a viabilidade poderá ser comprometida.



Figura 3 - Ferramentas da gestão "tradicional".

2.3.1 Lean

A filosofia *lean*, assim designada pelo TPS (*Toyota Production System*), baseia-se na ideologia de produzir um fluxo contínuo com o princípio de que, uma pequena fração de tempo e esforço dedicados ao processamento de um produto, acrescentavam valor ao mesmo (Monden, 2012). Por sua vez, o *lean thinking* tem como objectivos a qualidade e flexibilidade do processo, reforçando a sua capacidade de competir num cenário cada vez mais exigente e globalizado (João et al., 2008). As empresas e em particular as indústrias, tem adoptado cada vez mais a gestão *lean* de modo a aumentar não só os níveis de produtividade como também a qualidade dos seus produtos.

De acordo com (Womack & Jones, 1997), o *lean* segue 5 princípios fundamentais: criar valor, definir a cadeia de valor, otimizar o fluxo, implementar o sistema pull e procurar a perfeição. (Pinto, 2014), detectou algumas lacunas no modelo anterior, uma vez que o mesmo apenas considera a cadeia de valor do cliente. Tendo em conta que numa organização existem diversas cadeias de valor, o desafio real está na criação de valores. Além disso, ao seguirem os cinco princípios, as organizações tendem a entrar em ciclos infundáveis de redução de desperdícios ignorando a criação de valor através da inovação de produtos, serviços e processos. Deste modo, (Pinto, 2014), identificou sete princípios do *lean*:

- **Conhecer quem servirmos:** É fundamental conhecer todos os *stakeholders* e não se concentrar apenas na satisfação do cliente. Empresas que não tenham em consideração as necessidades e interesses dos seus colaboradores ou fornecedores, não conseguem ser economicamente sustentáveis a longo prazo. Além disso, devido ao impacto na cadeia de valor, é importante ter em consideração o cliente final, mesmo quando este não está directamente ligado à empresa.
- **Definir os valores:** À semelhança do princípio anterior, é extremamente importante manter a satisfação de todas as partes interessadas (p.ex. colaboradores, accionistas, etc.), uma vez que os mesmos podem condicionar a sobrevivência do negócio. Deste modo, actividades que eram consideradas desperdício necessário, podem passar a ser classificadas como valor-acrescentado, porque criam valor para outras partes que não o cliente.
- **Definir cadeias de valor:** Devido à necessidade de satisfazer todos os *stakeholders*, é essencial definir as diferentes cadeias de valor, sendo que nenhuma se deverá sobrepor às demais e a empresa deverá procurar sempre o equilíbrio.
- **Otimizar o fluxo:** Sincronizar os diferentes meios envolvidos com o objectivo de criar valor para todas as partes.
- **Implementar o sistema pull:** O sistema pull baseia-se na ideia de que os processos funcionam de acordo com os pedidos efectuados pelos diferentes *stakeholders*, evitando que as empresas “empurrem” para as etapas seguintes aquilo que julgam ser a necessidade destas.
- **Procura pela perfeição:** Devido à constante mudança e aumento de expectativas, é essencial garantir a constante evolução e incentivar a melhoria continua a todos os níveis da organização.
- **Inovar constantemente:** Garantir inovação constante com o objectivo de criar valor, quer seja através do produto, do serviço ou dos processos.

O TPS tem disso utilizado como base para implementação do *lean thinking* em diversas empresas (João et al., 2008). Na Figura 4 está representado a estrutura geral do TPS.

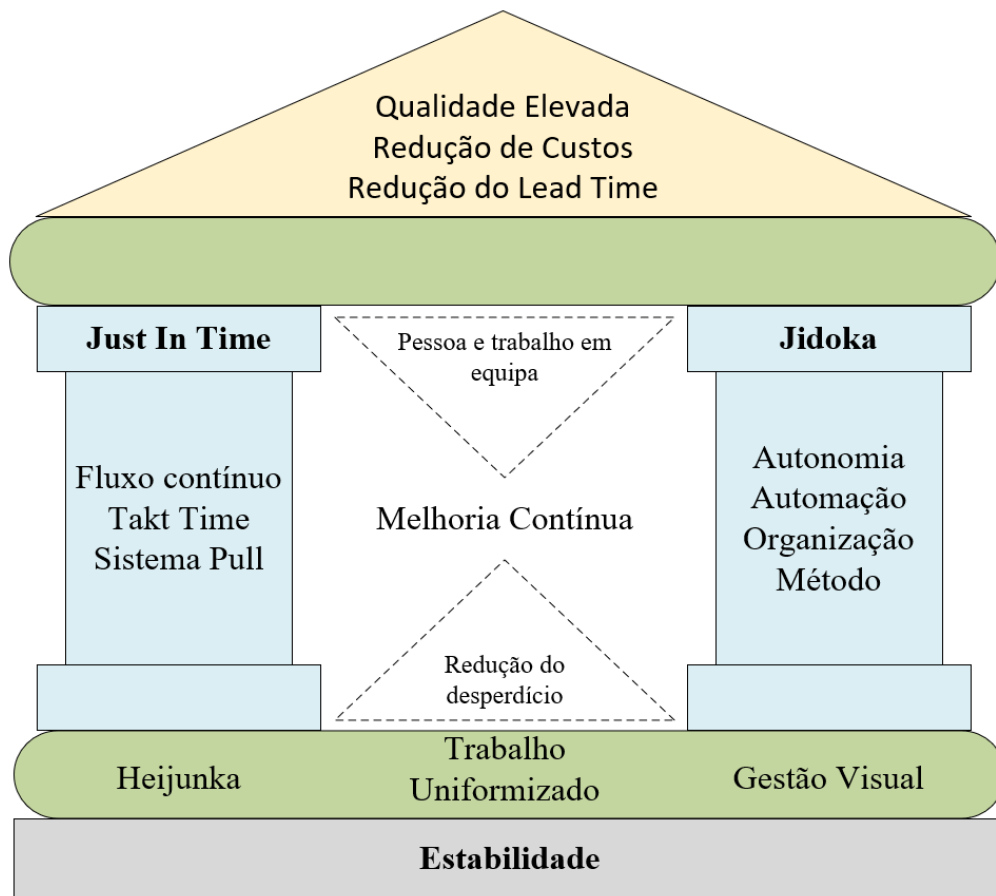


Figura 4 - Representação estrutural do TPS. Adaptado de (João et al., 2008)

Da estrutura apresentada anteriormente, destacam-se os seguintes elementos: Estabilidade, JIT (*Just in Time*), *Jidoka* e a Melhoria Contínua.

Estabilidade

A estabilidade é a base central do TPS, estando esta representada na base da estrutura. De acordo com (Deming, 1982), os objectivos da gestão não podem ser alcançados através de sistemas instáveis. Por outro lado, os desperdícios apenas conseguem ser eliminados e consequentemente reduzir custos, através de sistemas desenhados para serem estáveis (Pinto, 2014).

JIT – *Just in Time*

Um dos pilares do modelo TPS é o JIT. Em resumo, o JIT segue a ideologia de produzir e entregar o item certo no tempo e quantidade certa, de acordo com a necessidade (Womack & Jones, 1997). A aplicação do JIT baseia-se no sistema *pull*, apresentado anteriormente, onde o cliente “puxa” a produção de acordo com a sua necessidade, sendo que o sistema opera com um tempo de ciclo o mais próximo do *takt time*. O JIT procura que a produção seja feita com zero defeitos, sem tempo de setups, zero stocks, zero movimentos e lote

unitário(Hopp & Spearman, 2004). A implementação do JIT permite que exista produção e entrega de produtos, com reduzidos prazos de entrega, de modo a satisfazer as necessidades do cliente. Além disso, permite reduzir diversos desperdícios habitualmente encontrados na indústria, como o excesso de produção, tempos de espera, defeitos e transportes (Womack & Jones, 2003).

Jidoka

O segundo pilar do modelo apresentado é o *Jidoka* (termo japonês que significa “automação”). O *Jidoka* permite que o operador tenha autonomia para parar uma máquina e/ou processo sempre que ocorre um problema na produção (Rewers et al., 2016). Assim, o problema é eliminado no instante em que ocorre, diminuindo a probabilidade de propagação do mesmo. O *Jidoka* permite ainda que o foco do operador não esteja limitado a uma única máquina, podendo este supervisionar diversos equipamentos em simultâneo (Tisbury, 2014).

De forma geral, o *Jidoka* pode ser definido como “automação com toque humano” em oposição a máquinas que apenas operam com monitorização de um operador (Nirali et al., 2017).

Melhoria Contínua

De forma simplificada, o *lean* consiste não só em eliminar as “gorduras” existentes em forma de desperdícios, como também no conhecimento e identificação de toda a cadeia de valor e respectivas oportunidades de melhoria, de forma a cativar o conceito de “melhoria contínua”. A melhoria contínua pode ser definida como um compromisso para eliminar todo o desperdício existente, de forma continuada e apoiado em pessoas e sistemas simples (João et al., 2008).

Segundo a filosofia *lean*, existem três actividades que não acrescentam valor ao processo: *Muda*, *Mura* e *Muri*, sendo estas o desperdício, a desigualdade e o excesso, respectivamente. Deste modo, a *Toyota* identificou sete fontes de desperdício (Liker, 2004):

- **Sobreprodução:** Ocorre sempre que existe uma produção em excesso, ou a mesma é efectuada cedo de mais, resultando em fluxos irregulares de materiais e informação (João et al., 2008).
- **Inventário:** Uma das consequências da sobreprodução é o inventário excessivo. O excesso de matérias-primas, produtos acabados ou produtos em vias de fabrico resulta no aumento de custos de armazenamento.
- **Tempo de espera:** Tempo em que as pessoas, materiais ou produtos ficam a aguardar disponibilidade, para conseguirem avançar no processo. Este tipo de desperdício pode ser causado por diversos problemas como avarias, falta de ferramentas, falta de peças, etc. Por exemplo, um tempo de mudança de produto, elevado pode estar relacionado com a falta de formação dos operadores (M. H. Ahmed, 2013).

- **Transporte:** É essencial assegurar que todas as movimentações existentes são necessárias, de forma a evitar movimentos que não acrescentam valor. A maioria dos desperdícios existentes na indústria estão relacionados com *layouts* deficientes (Hamed & Soliman, 2017). Assim é fundamental garantir a criação de *layouts* que permitam um fluxo adequado entre as diferentes estações.
- **Sobreprocessamento:** Ocorre quando existe um excesso de etapas num determinado processo (Hamed & Soliman, 2017). Assim é importante assegurar que todas as etapas do processo acrescentam valor ao produto e caso não aconteça, devem-se estudar formas de eliminar a etapa em questão.
- **Movimentação:** O operador necessita de ter todas as ferramentas necessárias organizadas e ao seu alcance. A desorganização das estações de trabalho resulta em despreocupação pela ergonomia, deslocações excessivas, falta de atenção, levando conseqüentemente à existência de um mau desempenho (João et al., 2008).
- **Defeitos:** O custo da qualidade é mais do dobro do custo de fabricar o produto bem à primeira (M. Ahmed, 2013). Os defeitos devem ser sempre eliminados, uma vez que levam a atrasos no processo, avarias ou no pior cenário, insatisfação por parte do cliente. De modo a minimizar a probabilidade de falha e aumentar a quantidade devem-se procurar desenvolver procedimentos de trabalho *standard* (Hamed & Soliman, 2017) e garantir que os defeitos são eliminados no momento em que ocorrem.

Além dos desperdícios mencionados anteriormente, segundo (Hamed & Soliman, 2017), o não aproveitamento do potencial humano pode ser classificado como o 8º desperdício. Os líderes devem ser motivados a ensinar e desenvolver os outros, de modo a promover a criação de líderes e não de seguidores (M. H. Ahmed, 2013). Por outro lado, o conhecimento existente nos operadores e técnicos de manutenção devem ser aproveitados para melhorar processos e máquinas.

2.3.2 TPM - Total Productive Maintenance

Contrariamente ao *lean* que não tem uma área de actuação específica, o TPM (*Total Productive Maintenance*) foca-se na melhoria dos processos de manutenção e baseia-se na realização de tarefas de manutenção preventiva, ou seja, reparações e verificações diárias, efectuadas pelo operador, com o objectivo de reduzir avarias no equipamento e conseqüentemente paragens na linha (de Oliveira et al., 2008). Este tipo de autonomia, permite que as avarias sejam resolvidas de forma rápida e eficaz uma vez que não existe a necessidade de esperar pelas equipas de manutenção. Dado que a manutenção pode representar entre 20% e 40% do valor adicional de um produto (Eti et al., 2004), a sua melhoria origina ganhos significativos do ponto de vista financeiro.

De acordo com a definição original (Nakajima, 1988), existem 5 metas fundamentais:

1. Maximizar a eficiência e eficácia dos equipamentos.
2. Desenvolver um sistema de manutenção produtiva para a vida útil dos equipamentos.

3. Envolver os departamentos que planeiam, projectam e efectuam a manutenção dos equipamentos.
4. Envolver todos os colaboradores da empresa, desde os membros da direcção ao chão de fábrica.
5. Utilizar a motivação como forma de promoção, através da realização de actividades autónomas.

Segundo o JIPM (*Japan Institute of Plan Maintenance*) o TPM é dividido em 8 pilares, representados na Figura 5.

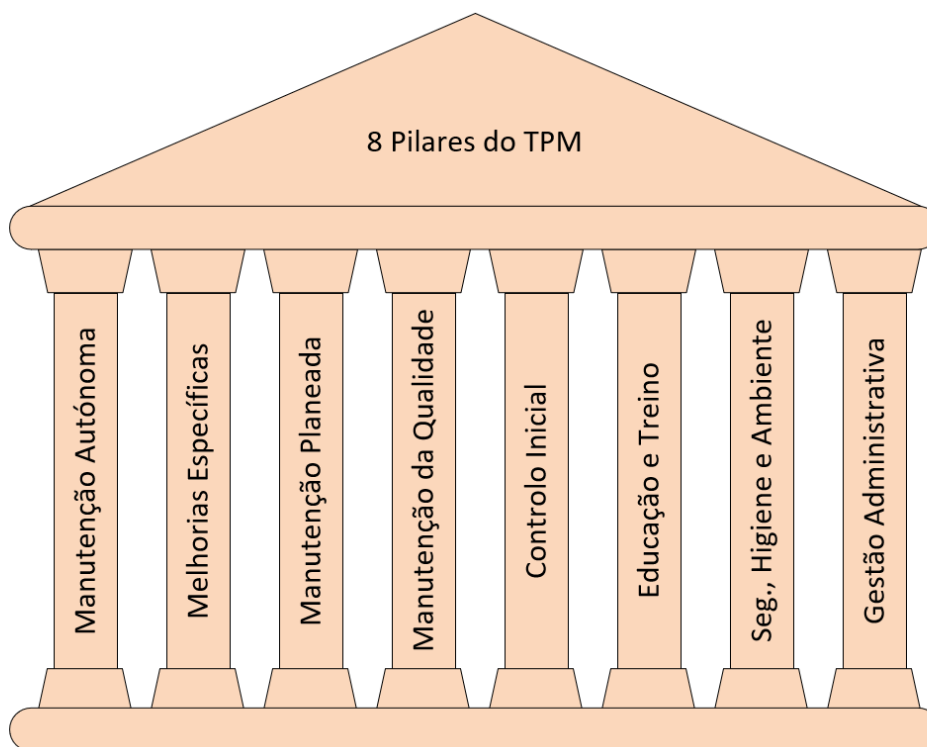


Figura 5 - 8 Pilares do TPM (sugerido por JIPM).

De acordo com (Jain et al., 2014a) os 8 pilares podem ser descritos da seguinte forma:

- **Manutenção autónoma:** Promover o *ownership* por parte do operador, ficando este responsável por tarefas como limpeza, apertos, ajustes e inspecções do equipamento.
- **Melhorias específicas:** Identificar sistematicamente formas de reduzir os diversos desperdícios e trabalhar na mitigação de perdas através da aplicação de ferramentas como os “5 Porquês” ou FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*).
- **Manutenção planeada:** Melhorar a eficiência da manutenção planeada ao longo da vida útil do equipamento, de modo a melhorar o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time To Repair*).
- **Manutenção da qualidade:** Atingir zero defeitos ao acompanhar as diversas falhas existentes nos equipamentos e respectivas causas raiz.

- **Controlo inicial:** Aplicar o conhecimento e experiência obtidos a novos equipamentos, com o objectivo de garantir que os mesmos atingem a performance óptima de forma célere.
- **Educação e treino:** Garantir o alinhamento dos colaboradores com os objectivos da empresa e permitir, o desenvolvimento das suas aptidões em diversas valências, desde as ferramentas e tecnologias ao controlo de qualidade.
- **Segurança, Higiene e Ambiente:** Garantir a existência de um ambiente de trabalho seguro, eliminando incidentes e acidentes.
- **Gestão administrativa:** Melhorar a sinergia entre as diferentes áreas do negócio e focar as equipas na redução de custos, ao aplicar ferramentas de organização como por exemplo os 5s.

De forma a garantir um acompanhamento da evolução da qualidade das actividades efectuadas, é necessário a existência de indicadores que permitam às equipas quantificar os impactos e facilmente identificar desvios. Para isso, o TPM utiliza KPIs (*Key Performance Indicators*) como o MTBF e o MTTR para avaliar a eficácia dos seus processos de manutenção. Além disso, utiliza indicadores como o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) para determinar o impacto que as actividades estão a ter num determinado equipamento e/ou linha de produção. O OEE tem por objectivo a medição da eficácia de um equipamento, ou processo, tendo por base a disponibilidade, performance e rácio de qualidade (Williamson, 2006).

O OEE pode ser calculado através da expressão:

$$OEE(\%) = DO * TD * TQ * 100$$

Em que, DO (Disponibilidade Operacional) pode ser calculado através da expressão:

$$DO = \frac{\text{Tempo utilizado na produção}}{\text{Tempo disponível para produzir}}$$

A TD (Taxa de Desempenho) pode ser calculada com a expressão:

$$TD = \frac{\text{Unidade produzidas}}{\text{Taxa de produção standard} * \text{Tempo utilizado na produção}}$$

Por fim, a TQ (Taxa de Qualidade) é calculada através da expressão:

$$TQ = \frac{\text{Produtos sem defeito}}{\text{Total de produtos}}$$

Assim, o TPM é utilizado para maximizar a eficácia dos equipamentos ao longo da sua vida útil, ao assegurar que os mesmos operam na sua condição óptima. Em última análise, os três objectivos principais do TPM são zero defeitos, zero acidentes e zero avarias (Nakajima, 1988). Por outro lado, o TPM baseia-se no envolvimento de todos os colaboradores para atingir os objectivos. Segundo (Jain et al., 2014b) o envolvimento total dos colaboradores, a manutenção autónoma efectuada por operadores, as actividades de

equipa para melhorar a fiabilidade dos equipamentos e a melhoria contínua são os princípios que estão na base do TPM.

De acordo com (Jain et al., 2014b), a implementação do TPM nas empresas tem os seguintes benefícios directos e indirectos:

- Benefícios directos:
 - Aumento da produtividade e eficiência da fábrica
 - Redução dos custos de produção
 - Redução de acidentes
 - Correção de reclamações do cliente
 - Satisfação considerável do cliente
 - Aplicação de medidas de controlo de poluição
 - Aumento da qualidade do produto
 - Aumento da consistência
- Benefícios indirectos:
 - Aumento dos níveis de confiança nos colaboradores
 - Aumento do *ownership* por parte dos operadores
 - Local de trabalho limpo e arrumado.
 - Mudança de atitude dos operadores em prol das necessidades da empresa
 - As experiências e conhecimentos são partilhados entre colaboradores
 - Todos os colaboradores trabalham em conjunto para atingir os objectivos da empresa
 - Implementações horizontais de novos conceitos em todas as áreas da empresa.

Em resumo, o TPM é uma das abordagens principais para promover a estabilidade na produção uma vez que, o equipamento com uma boa manutenção tem uma menor probabilidade de avariar ou gerar defeitos de qualidade (Tortorella et al., 2021).

2.3.3 TQM – Total Quality Management

Garantir a qualidade do produto é crucial para a sobrevivência do negócio, uma vez que a qualidade do produto está diretamente ligada à imagem da empresa. Assim como o TPM tem o seu foco nos processos de manutenção, o TQM (*Total Quality Management*), foca-se na qualidade dos diferentes processos existentes nas empresas. De acordo com (Shiba et al., 1993), o TQS é um sistema em constante evolução que inclui práticas, ferramentas e métodos de formação, de forma a permitir às empresas assegurar a satisfação do cliente num mundo em mudança constante.

A eliminação de erros no processo de fabrico torna-se indispensável na fase inicial (qualidade na origem), ie “fazer bem à primeira vez”. Desta forma, contraria-se a ideologia tradicionalmente conhecida pela verificação depois do facto, ou seja: produzir um produto, de seguida inspeccioná-lo, separar os materiais conformes dos materiais não conformes e por fim tentar recuperar (*rework*) os produtos fora dos limites de qualidade (João et al., 2008). De acordo com (Mukherjee, 2006) o TQM é constituído por 8 blocos principais:

1. Agir de acordo com as necessidades do cliente, ao entender o que o este procura nos produtos ou serviços prestados.
2. Desenvolver uma relação interna de cliente-fornecedor
3. Medir o valor acrescentado de todos os processos e subprocessos, incluindo custos associados.
4. Fazer bem à primeira vez, conforme mencionado anteriormente. Para isso é necessário a implementação de controlos de processo estatísticos e/ou metodologias sigma.
5. Garantir que os 7 zeros são alcançados: zero desprezo, zero stock, zero atrasos, zero papel, zero paragens, zero defeitos e zero acidentes.
6. Focar na prevenção, de forma a mitigar a repetição de erros. Todos os erros devem ser analisados de modo a encontrar a causa raiz e eliminar a mesma.
7. Envolver todos os participantes da organização, incluindo fornecedores, vendedores e clientes.
8. Satisfazer todos os intervenientes em simultâneo, incluindo não só clientes e fornecedores, como também a sociedade e o país.

A melhoria contínua da qualidade assume que tanto as equipas de qualidade como as equipas de liderança usem activamente ferramentas de qualidade nas actividades de melhoria e nas tomadas de decisão (Gitlow et al., 1989).

Devido à sua versatilidade, as ferramentas de qualidade podem ser aplicadas ao longo das diferentes etapas do processo. De acordo com (Kuendee, 2017), as 7 ferramentas de qualidade podem ser descritas da seguinte forma:

- **Fluxograma:** Demonstração gráfica das diferentes etapas do processo, na sequência correcta. Através da utilização de um fluxograma é possível identificar os pontos críticos de controlo, sugerir áreas de melhoria e apoiar na explicação e resolução de problemas (Magar & Shinde, n.d.).
- **Folha de verificação:** Formulário estruturado e desenhado para recolher e analisar dados. Sendo uma ferramenta genérica, pode ser aplicada em diversas situações.
- **Diagrama de Pareto:** A análise de Pareto é uma ferramenta que permite determinar quais os problemas numa organização ou equipamentos que estão a causar o maior impacto (Frank Cervone, 2009). Nesta análise, os problemas são apresentados graficamente, organizados por ordem decrescente de acordo com a frequência que ocorrem. A análise de Pareto baseia-se na regra 80-20, ou seja, 80% dos problemas ocorrem devido a 20% das causas (Talib et al., 2010). Este tipo de análise permite auxiliar na resolução das principais causas dos problemas ao possibilitar a eliminação de 80% dos problemas através da resolução de 20% das causas.
- **Histograma:** Gráfico utilizado para demonstrar distribuições de frequências, ou seja, permite perceber quantas vezes é que um determinado valor se repete num conjunto de dados.
- **Diagrama de Ishikawa:** Ferramenta gráfica que permite identificar possíveis causas, para um determinado efeito e/ou problema. Possibilita ainda a organização das diferentes análises em categorias.

- **Diagrama de dispersão:** Gráfico que combina duas ou mais variáveis, através de coordenadas cartesianas, com o objectivo de permitir a percepção das diferentes relações existentes.
- **Carta de controlo:** As cartas de controlo permitem o diagnóstico e correção de diversos problemas de produção resultando em ganhos significativos na qualidade dos produtos e respectiva redução de desperdícios (Nguyen Thanh et al., 2014). A carta de controlo é realizada através de dados recolhidos por amostras extraídas do processo, tendo por objectivo verificar se o processo está sob controlo.

O TQM utiliza diversos métodos para atingir os objectivos pretendidos, no entanto, devido à diversidade existente nas empresas é importante a adaptação aos cenários em causa. De acordo com, existem 5 princípios para a correcta implementação organizacional do TQM nas empresas:

1. **Foco no cliente:** A satisfação do cliente deve estar no centro das empresas, sendo importante recolher e analisar continuamente o *feedback* disponibilizado pelo cliente e actuar de acordo com a necessidade.
2. **Planeamento de processos:** É importante integrar as necessidades do cliente no planeamento de processos. O planeamento deve ser revisto periodicamente e ajustado sempre que necessário, sendo este essencial para garantir a coesão das diferentes actividades existentes.
3. **Gestão de processos:** Devem ser utilizadas técnicas que permitam controlar os custos inerentes aos diferentes processos, de modo a assegurar a estabilidade e capacidade de satisfação, das necessidades dos clientes.
4. **Melhoria de processos:** Devido à evolução constante da indústria, um processo que hoje é excepcional, provavelmente será pouco eficiente no futuro, caso não existam melhorias ao longo da sua vida útil, sendo importante garantir a melhoria continua.
5. **Participação total:** As empresas são as pessoas que nelas trabalham. Assim, é fundamental garantir que as equipas de liderança assumem a implementação do TQM e consequentemente formam os colaboradores, de modo a dotar os mesmos de capacidades que contribuam para o sucesso organizacional.

2.3.4 Ferramentas da gestão tradicional

Conforme apresentado anteriormente, as diversas metodologias e filosofias baseiam-se na aplicação de um conjunto de ferramentas, para melhorar os processos e negócios. Devido à grande variedade de ferramentas existentes, optou-se por seleccionar as ferramentas que têm vindo a utilizar as tecnologias da indústria 4.0 para seu proveito. Na Tabela 1 estão apresentadas as ferramentas seleccionadas, assim como as respectivas tecnologias utilizadas, para melhorar os benefícios inerentes à sua aplicação.

Tabela 1 - Relação entre ferramentas de gestão e tecnologias da indústria 4.0

	Business Intelligence	Serviços Cloud	Internet of Things	Sistemas Ciberfísicos	Big Data	Inteligência Artificial	Cibersegurança
JIT	X	X	X		X	X	
Jidoka		X			X	X	X
Kanban	X	X		X			
Manutenção Preditiva		X	X	X			X
Folha de verificação	X	X			X		X

As tecnologias apresentadas na tabela anterior, serão explicadas em detalhe ao longo deste capítulo, sendo que, de seguida serão apresentadas as ferramentas de gestão.

JIT 4.0

Sendo um dos pilares do *lean*, a utilização do JIT tem o objectivo de produzir com qualidade, a quantidade correcta e colocar a mesma à disposição do cliente, assim que existe a necessidade, no entanto a aplicação do JIT nem sempre é possível, devido a diversas perturbações que ocorrem ao longo da *supply chain* (p.ex: falta de matéria prima, avarias na produção, atrasos no transporte, etc.)(Mayr et al., 2018).

Por outro lado, a aplicação de tecnologias presentes na indústria 4.0 permite a conectividade entre os diferentes intervenientes e possibilita a actualização, em tempo real, do estado de cada uma das etapas existentes, originando um fluxo de informação contínuo e automático, que tem como foco o cliente. (Valamede & Akkari, 2020).

A aplicação de soluções IoT (*Internet of Things*) permite recolher grandes quantidades de dados. Por outro lado, a utilização de técnicas de *Big Data* e *Data analytics* aplicadas a ambiente *cloud*, que serão analisadas em detalhe ao longo do capítulo, permitem identificar tendências e prever as necessidades de produção (Ding & Jiang, 2018). Devido à flexibilidade das soluções IoT é possível integrar diferentes tecnologias e fontes de dados em simultâneo, de forma a correlacionar as diferentes dependências existentes com o objectivo de oferecer uma visão geral do estado em tempo real, da *supply chain*.

Jidoka 4.0

Assim como o JIT e conforme apresentado anteriormente, o Jidoka é um dos pilares do *lean*. Segundo o Lean Enterprise Institute, Jidoka, também apelidado autonomia, significa automação com inteligência humana (Lean Enterprise Institute, n.d.). Ao dotar os equipamentos de “inteligência” permite que os produtos com defeito possam ser identificados e rejeitados autonomamente, sem a necessidade de intervenção constante por parte do operador.

Contrariamente ao Jidoka tradicional, o Jidoka 4.0 utiliza tecnologias como *Machine Learning* e *Data Analytics* para prever potenciais falhas. Erros potenciais podem ser previstos antes de acontecer e o possível impacto no produto ou qualidade do processo podem ser avaliadas resultando na prevenção de desvios de qualidade(Deuse et al., 2020). Este tipo de soluções consegue identificar padrões que permitem não só prever falhas como

também identificar erros que não seria possível detectar através das metodologias tradicionais.

Kanban 4.0

A recolha de dados e informação é uma das etapas fundamentais da indústria 4.0. Contrariamente ao que ocorria no passado, nesta última revolução industrial a recolha é realizada de forma autónoma e sem qualquer intervenção humana. Através da manipulação de dados é possível apresentar diversa informação em tempo real directamente no chão de fábrica, contribuindo significativamente para a implementação de ferramentas de gestão visual.

O Kanban é uma das ferramentas utilizadas pela gestão *lean* que se baseia na utilização de cartões para organizar a sequência de produção. Num sistema Kanban, cada estação de trabalho produz e entrega produtos ou componentes apenas quando recebe um cartão Kanban da workstation anterior. Por outras palavras o trabalho apenas é realizado quando é realmente necessário.(Jarupathirun et al., 2009a)

Com a indústria 4.0 é possível implementar o e-kanban. Este sistema funciona como um painel de controlo que fornece uma visão do estado de cada estação de trabalho, o que permite a visibilidade em tempo real dos pedidos de cada fase do processo(Naciri et al., 2022).

Num artigo publicado no *International Conference on IT* (Jarupathirun et al., 2009b), foi demonstrada a implementação de um e-kanban numa empresa de produção de habitáculos para uma marca de carros japonesa. Inicialmente a empresa em questão utilizava o Kanban tradicional sendo que, devido às movimentações necessárias era comum perder cartões o que resultava em atrasos na produção. Com a implementação do e-kanban, além de eliminar o risco de perda de cartões, foi possível reduzir o *lead time* de 255 minutos para 190 minutos entre outros ganhos, originando poupanças significativas para o negócio.

Manutenção Preditiva

A melhoria da manutenção, associada ao TPM, é uma das áreas onde a indústria 4.0 pode contribuir de forma mais significativa. A integração da indústria 4.0 na gestão da manutenção permite a transição das falhas e manutenção periódica para a manutenção preditiva e políticas de manutenção proactiva, resultando em benefícios técnicos e económicos(Mosyurchak et al., 2017). Tecnologias como o IoT e a computação na *cloud* permitem uma monitorização mais eficiente das condições de operação, mitigando o desperdício de recursos resultando em decisões mais assertivas(Zheng et al., 2021). Por outro lado, análise de dados e simulações de manutenção podem melhorar o planeamento e prever os diferentes estágios do ciclo de vida dos equipamentos, enquanto a realidade aumentada pode auxiliar na execução de diagnósticos e inspeções(Silvestri et al., 2020).

Folha de verificação 4.0

Actualmente, por mais eficazes e organizados que os sistemas de qualidade sejam, continuam a necessitar de tempo para identificar os erros na produção. Assim, existe uma

falha entre o momento exacto em que o erro acontece e o momento em que é identificado. Com o aparecimento de diversos sensores e sistemas de medição é possível realizar inspeções mais activas. Deste modo, a correção dos problemas pode acontecer de forma mais ágil(Lemos, n.d.).

Num artigo publicado em 2020 para o *Internacional Conference on Tehnology Management*, é apresentado um caso de aplicação da qualidade 4.0 numa empresa na África do Sul, com o objectivo de ajudar a empresa a eliminar o desperdício aplicando sistemas *lean* e de TQM (Total Quality Management) baseados nas tecnologias da indústria 4.0(Siphoro et al., 2020). Nesse mesmo artigo, concluíram que a aplicação de práticas *lean* e de qualidade tradicionais ajudaram a melhorar a situação e reduzir a variabilidade, mas a integração de práticas baseadas na indústria 4.0, trariam resultados ainda melhores como flexibilidade nas operações ao utilizar software e tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) para gerir recursos e stocks ou mitigar a variação durante a produção através da utilização de SOP (*Standard Operating Procedure*) digitais.

De acordo com o que foi apresentado anteriormente, as tecnologias presentes na indústria 4.0, podem ser integradas nas ferramentas de gestão tradicional, de modo que seja possível alcançar melhores resultados em menor tempo. De seguida será apresentada a 4ª revolução industrial, assim como todas as tecnologias associadas à mesma.

2.4 Quarta revolução industrial

A indústria 4.0 é uma revolução dos processos que mudaram e definiram o mundo ao possibilitar a colaboração através da troca de informação em tempo real. As cadeias de valor integram informação de modo a permitir um avanço constante na produção e distribuição(Moufaddal et al., 2019).

Uma das citações mais importantes na gestão é atribuída a Peter Drucker -“*If you can't measure, you can't improve it*”- ou seja, se não for possível medir não é possível melhorar, demonstrando de forma clara, um dos aspectos mais importantes na aplicação de qualquer ferramenta ou método de optimização, a medição. Conforme abordado anteriormente, todas as ferramentas da gestão “tradicional” utilizam frequentemente a medição de forma a entender não só o estado dos diferentes processos, como também os impactos que estão a ter nos mesmos.

Conforme será demonstrado de seguida, as tecnologias existentes na indústria 4.0 dependem da recolha e processamento de dados e podem, por sua vez fornecer toda a informação e medições necessárias à implementação de diferentes ferramentas de apoio à gestão. A indústria 4.0 irá impulsionar a aplicação de ferramentas de melhoria ao providenciar dados em contínuo e em tempo real, o que permitirá, análises mais rápidas através da utilização de algoritmos que tenham a capacidade de tomar decisões correctas, de forma quase instantânea(Tissir et al., 2020). Num artigo publicado em 2019, Bajaji, Venkumar, Sabitha e Amuthaguka (Balaji et al., 2046), afirmam que as ferramentas da

indústria irão ajudar os produtores a alcançar um estado *lean* que seria difícil de atingir no passado e impossível de considerar utilizando iniciativas convencionais e processos manuais.

A Figura 6 pretende ilustrar as principais ferramentas e tecnologias que constituem a indústria 4.0. Além disso, pretende ainda representar a interligação existente entre as mesmas, sendo comum a conexão entre diversas tecnologias aquando da implementação de uma solução ligada à indústria 4.0

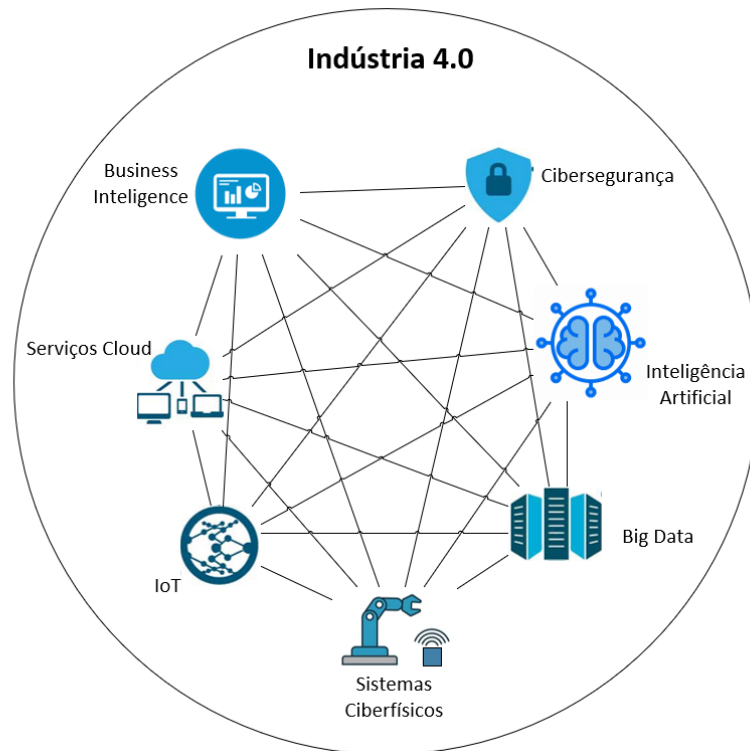


Figura 6 - Ferramentas da Indústria 4.0.

2.4.1 Business Intelligence

O BI (*Business Intelligence*) é uma combinação de processos, políticas, culturas e tecnologias utilizadas para reunir, manipular, armazenar e analisar dados provenientes de fontes externas e internas tornando informações acessíveis, com o objectivo de aumentar o conhecimento e auxiliar no processo de tomada de decisão (Foley & Guillemette, 2010).

Devido à complexidade inerente aos sistemas de BI, é fundamental definir uma arquitectura de acordo com a necessidade do sistema a implementar. Na Figura 7 está representada uma arquitectura tipicamente utilizada em aplicações de BI.

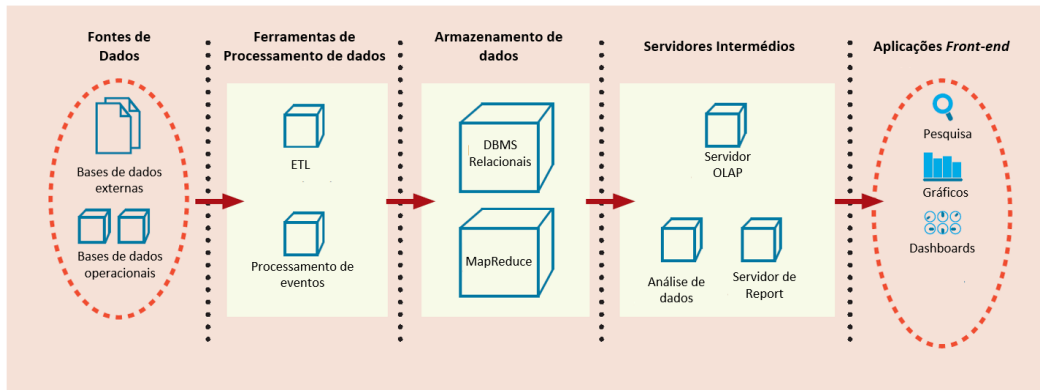


Figura 7 - Arquitetura típica de Business Intelligence. Adaptado de (Foley & Guillemette, 2010).

De acordo com (Chaudhuri et al., 2011), a arquitetura de BI divide-se em 5 grandes grupos:

- **Fontes de dados:** Os dados utilizados em aplicações de BI podem ter origem tanto internamente (p.ex: dados de produção), como externamente (p.ex: dados de vendas). Devido à grande variedade de dados existente, pode ser desafiante garantir a organização e estruturação dos mesmos.
- **Ferramentas de processamento de dados:** As tecnologias utilizadas para preparar e organizar os dados recolhidos, são habitualmente designadas por ETL (*Extract-Transform-Load*) e tal como o nome indica são ferramentas que recolhem, transformam e carregam dados de forma estruturada e organizada. Existem ainda ferramentas como o CEP (*Complex Event Processing*) que foram desenvolvidas para situações que exigem processamento de dados em tempo real.
- **Armazenamento de dados:** Após tratados, os dados utilizados pelo BI são armazenados em bases de dados alojadas em servidores. Uma das ferramentas tipicamente utilizadas para armazenamento e consulta é a RDBMS (*Relational Database Management System*). Por outro lado, com a crescente digitalização das empresas existe um aumento significativo de dados designado por *Big Data*. Devido às limitações existentes na RDBMS foram desenvolvidas ferramentas baseadas em *MapReduce* que permitem armazenar e consultar dados com velocidades superiores.
- **Servidores intermédios:** Como complemento às bases de dados existem servidores intermédios especificamente desenvolvidos para diferentes cenários de BI. Servidores OLAP (*Online Analytic Processing*) permitem uma visão multidimensional dos dados nas aplicações ao possibilitar operações como agregação e filtro. Servidores de report permitem resumir aspectos fundamentais para o negócio como as vendas por região comparadas com as vendas do ano anterior. Servidores de análise de dados oferecem a possibilidade de desenvolvimento de modelos preditivos que conseguem prever aspectos críticos para o negócio com base em históricos existentes.
- **Aplicações Front-end:** Por fim as aplicações *front-end* permitem a interação, de forma simples, entre o utilizador e os dados. Uma vez que estas aplicações são a camada final é essencial que o seu desenvolvimento seja efectuado com foco nas necessidades do utilizador, de modo a incrementar os benefícios obtidos.

Actualmente os negócios e indústrias geram grandes quantidades de dados diariamente. Como tal, é impraticável para as equipas de gestão obter informações relevantes em tempo útil sem a utilização de ferramentas que tratem, organizem e apresentem informação como é o caso das ferramentas de BI (Fortulan et al., n.d.).

2.4.2 Serviços *Cloud*

A produção baseada em serviços *cloud* é uma tecnologia em ascensão, que terá um papel fundamental na indústria 4.0, ao possibilitar a flexibilidade necessária para sistemas em constante alteração (Thames & Schaefer, 2016). A utilização de servidores físicos para alojar as diversas aplicações existentes actualmente na indústria, limita o crescimento e expansão do negócio, visto que implica investimentos consideráveis sempre que surgem necessidades de alteração. Por outro lado, ao utilizar a virtualização e tecnologias *cloud* as empresas deixam de estar limitadas pela sua infraestrutura e conseguem alocar e partilhar recursos de acordo com a necessidade. Além disso, a computação *cloud* permite utilizar e tratar grandes quantidades de dados (L. da Xu et al., 2018).

O conceito CBM (*Cloud-based Manufacturing*), é um dos paradigmas em ascensão e pode ser descrito como um modelo de produção conectado, que explora o acesso a recursos diversificados e partilhados, com o objectivo de criar linhas de produção ciberfísicas temporárias e reconfiguráveis com maior eficiência, custos de ciclo de vida menores e com a possibilidade de alocar recursos de acordo com a necessidade do mercado (Thames & Schaefer, 2016). Além da versatilidade, a utilização do CBM permite a utilização e processamento de grandes quantidades de dados, conhecidos como *Big Data* para criar ferramentas BI de apoio à tomada de decisão.

Um conceito semelhante ao CBM é o CBDM (*Cloud-based Design and Manufacturing*) que expande o conceito desde as linhas de produção até ao desenvolvimento do produto. Num sistema CBDM o desenvolvimento do produto é efectuado através da recolha e partilha de informação através de redes sociais e plataformas *open source*, que permitem não só reduzir custos de desenvolvimento como incorporar as necessidades do cliente no produto, resultando em taxas de adesão significativamente superiores (Thames & Schaefer, 2016).

2.4.3 IoT – *Internet of Things*

O IoT (*Internet of Things*) pode ser descrito como uma rede de objectos como equipamentos, instrumentos, veículos ou edifícios que contêm electrónica, software, sensores e conectividade à rede, de tal modo que lhes permite recolher e trocar dados entre si (Bhat et al., 2007a). O termo I-IoT (*Industrial-IoT*), resulta da expansão do IoT à indústria, com o objectivo de melhorar a produtividade, eficiência, segurança e “inteligência” nos processos de fabrico (H. Xu et al., 2018a).

Um dos aspectos essenciais do IoT é a definição da arquitectura, que deve garantir a existência de conectividade entre o mundo físico e o mundo virtual. O desenho da arquitectura envolve diversos factores como a rede, a comunicação e os protocolos necessários. Além disso, deve-se ter em consideração não só as diversas camadas como também a escalabilidade e operabilidade entre dispositivos (Bhat et al., 2007b). Na Figura 8, está representado um exemplo de arquitectura a utilizar na implementação de uma solução IoT, onde é possível identificar 4 camadas distintas: a camada de sensores e equipamentos, a camada da rede, a camada dos serviços e a camada da interface.

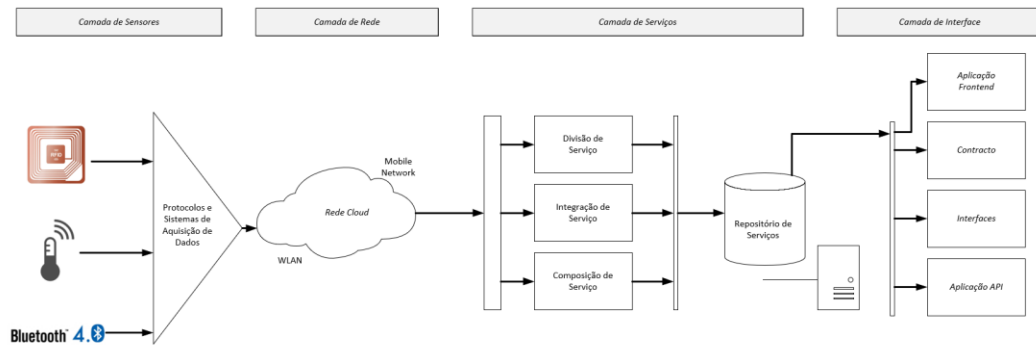


Figura 8 - Arquitectura das Camadas IoT. Adaptado de (Bhat et al., 2007b).

Devido à grande flexibilidade existente em sistemas baseados em IoT, é possível aplicá-los a uma enorme variedade de negócios e indústrias. Um exemplo disso, é o uso de tecnologias IoT na agricultura, onde são utilizados sensores que monitorizam o clima e o solo em tempo real, com o objectivo de otimizar o consumo de água e consequentemente reduzir custos de produção (Kassim, 2020). Outro sector que pode beneficiar do uso de tecnologias IoT é o sector energético. Através da utilização de soluções de recolha de dados e informações acerca do estado actual da rede eléctrica, é possível analisar os pontos fracos e reforçar os mesmos, de modo a reduzir o risco de falhas energéticas numa determinada região (Motlagh et al., 2020).

2.4.4 Sistemas Ciberfísicos

A atribuição de “inteligência” aos diversos componentes só apresenta benefícios substanciais, caso seja possível conectar esses mesmos componentes a sistemas de controlo e análise, existindo assim a necessidade de um sistema ciberfísico, também conhecido como CPS (*Cyber-Physical System*). De acordo com (Jazdi, n.d.) o CPS é constituído por:

- **Sistemas cibernéticos:** incluem as aplicações computacionais utilizadas para monitorizar, controlar e recolher dados dos processos, sendo que muitos sistemas utilizam serviços *cloud* para armazenamento e tratamento de dados.
- **Sistemas físicos:** compostos tanto por sensores e actuadores inteligentes, como por um dos componentes mais importantes no controlo de processos, o PLC, sendo este utilizado para recolher feedback de sensores e executar instruções sequenciais de modo a comandar diversos tipos de actuadores como válvulas e motores.

Na implementação de CPS existem três grandes tipos de estruturas: estrutura de controlo centralizado, estrutura de controlo descentralizado e estrutura de controlo hierárquico (H. Xu et al., 2018b).

A Figura 9 ilustra a estrutura de um sistema centralizado, que utiliza um controlador para monitorizar diversos sensores e actuadores. Cada subsistema é constituído por sensores e

actuadores denominados por S e A respectivamente que por sua vez estão conectados a um controlador que recebe os dados (H. Xu et al., 2018b).

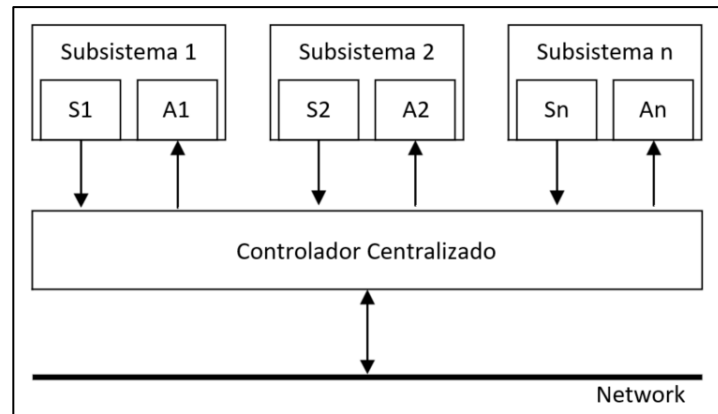


Figura 9 - Sistema de controlo centralizado. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a)

A Figura 10 representa a estrutura de um sistema descentralizado. A principal diferença face ao sistema anterior, é a utilização de controladores diferentes para cada subsistema, que por sua vez estão interligados através de uma rede de campo. Estes tipos de sistemas, são utilizados em situações onde existem processos muito específicos, que necessitam de controladores e funções especialmente dedicadas (H. Xu et al., 2018b).

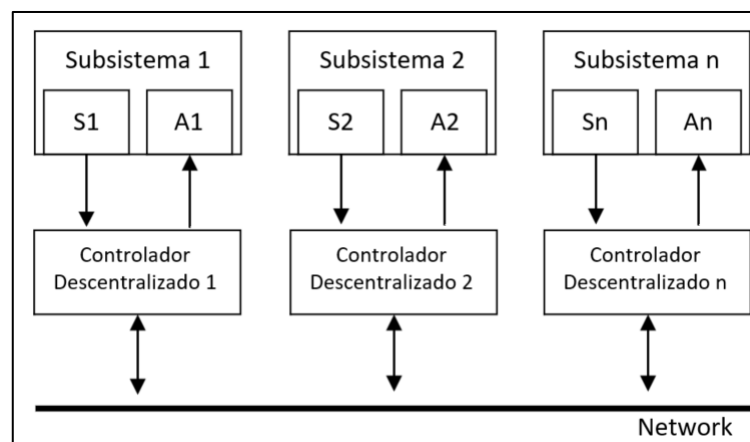


Figura 10 - Sistema de controlo descentralizado. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a)

Por fim, a Figura 11 representa um sistema de controlo hierárquico que utiliza uma estrutura multi-camada e é normalmente utilizado em sistemas de grande dimensão e complexidade. Neste sistema existem controladores para cada subsistema que por sua vez estão conectados a um sistema de monitorização e controlo de alto nível, que recolhe informação e controla os diferentes processos (H. Xu et al., 2018b).

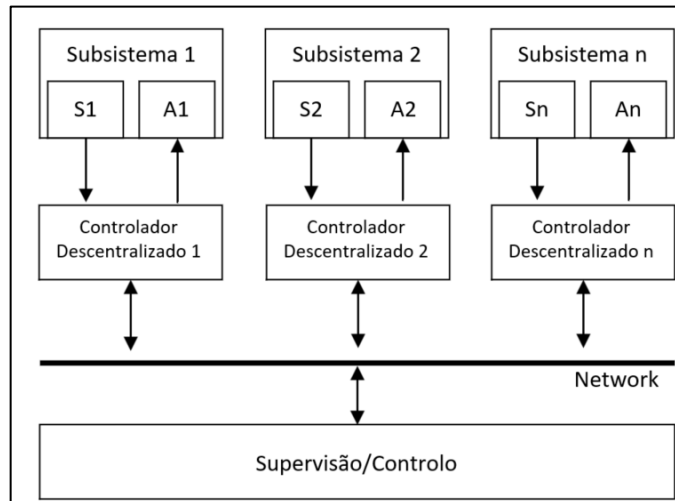


Figura 11 - Sistema de controlo hierárquico. Adaptado de (H. Xu et al., 2018a)

O caso de estudo apresentado no capítulo IV, utiliza uma adaptação de uma estrutura de controlo hierárquico, como base para a sua arquitectura.

2.4.5 *Big Data*

Big Data é um conceito relativamente recente, que define uma tecnologia que procura analisar e armazenar grandes quantidades de dados (Nunan & di Domenico, 2017).

As ferramentas apresentadas anteriormente geram (IoT e CPS) ou dependem da utilização (Serviços cloud e Business intelligence) de enormes quantidades de dados.

De acordo com (Khare & Totaro, n.d.), o *Big Data* está dividido em 4 dimensões designadas por 4 V's:

- **Volume:** A existência de equipamentos cada vez mais conectados como os dispositivos IoT origina grandes quantidades de dados que têm de ser recolhidos e armazenados. Estes dados, contêm diversas informações associadas a um determinado processo. A este contexto de informação, dá-se o nome de meta-data.
- **Variedade:** Devido à grande variedade de sensores e equipamentos existentes, existe uma grande quantidade de tipos de dados a ser recolhidos o que origina desafios na fase de tratamento. Assim, é fundamental garantir que a meta-data é desenvolvida e implementada, de forma que exista uma relação e coerência entre os diferentes tipos de informação.
- **Velocidade:** A velocidade de criação de dados no chão de fábrica é extremamente elevada, existindo situações em que são enviados dados várias vezes por segundo, originando diversos desafios, uma vez que os dados devem ser tratados previamente à entrada de novos dados. Além disso, existem constantes variações nas velocidades de aquisição, relacionadas com factores como o funcionamento de processos ou linhas de produção.

- **Veracidade:** É essencial garantir que todos os dados recolhidos e guardados são fidedignos e que são identificados erros quando os mesmos ocorrem, uma vez que muitas das tomadas de decisão, têm por base esses mesmos dados.

Além dos 4 V's apresentados anteriormente, é usual incluir uma quinta dimensão no Big Data, o Valor que representa a vantagem existente para o negócio em utilizar determinados dados, sendo essencial para entender quais os benefícios e impactos de usar esses dados na tomada de decisão (Witkowski, 2017).

Um exemplo da utilização de Big Data na indústria foi o modelo piloto de previsão do número de caixas implementado pela DHL, que visa a simplificar o planeamento do volume de parcelas por transporte, ao utilizar os dados recolhidos para prever os números de encomendas num determinado local (Witkowski, 2017).

2.4.6 Inteligência Artificial

A IA (Inteligência Artificial) está presente no nosso quotidiano e impacta o nosso dia a dia de inúmeras formas. Pode ser definida como um conjunto de técnicas e ferramentas, que incluem ciência computacional, modelos estatísticos e matemáticos e tem por objectivo, a criação de sistemas tecnológicos com capacidade para resolver e efectuar tarefas normalmente associadas a humanos (Konar, 2000).

Em finais de 2017 foi atingido um marco importante na evolução da IA, quando o programa AlphaZero, desenvolvido pela Google Deepmind, derrotou o Stockfish que até à data era o programa de xadrez mais avançado do mundo. Esta derrota, marcou a área da IA, porque o programa Stockfish, utilizava uma base de dados de jogadas pré-concebidas e desenvolvidas por humanos, para decidir qual a melhor jogada a fazer em cada momento do jogo. Por outro lado, o AlphaZero apenas recebeu as regras de xadrez e foram dadas instruções para que maximizasse as vitórias face às derrotas. Depois, colocaram o software a jogar contra si mesmo de modo a aprender autonomamente como atingir o objetivo, tendo-se tornado o melhor programa de xadrez do mundo, após algumas horas de treino. Uma vez que aprendeu sozinho, o AlphaZero efectou jogadas completamente originais e únicas, que nenhum humano tinha considerado antes, sendo que, essas jogadas foram utilizadas porque o programa “aprendeu” que ao utilizá-las, teria maior probabilidade de atingir a vitória (Kissinger et al., 2021).

Em 2020, um grupo de investigadores do (*Massachusetts Institute of Technology*) anunciaram a descoberta de um novo antibiótico, capaz de eliminar estirpes de bactérias que até então se tinham revelados resistentes a todos os antibióticos. Esta descoberta foi alcançada através do uso de IA que “aprendeu” os atributos das moléculas previsivelmente antibacterianas, sendo que de seguida analisou um conjunto de 61000 moléculas aprovadas pela agência oficial americana, tendo apenas três objectivos: tinha de prever antibióticos eficazes, não podiam ser semelhantes a antibióticos existentes e não podiam ser tóxicos. De entre 61000 moléculas, apenas uma correspondia aos critérios (Kissinger et al., 2021).

Conforme demonstrado pelos dois exemplos anteriores, a IA baseia-se na utilização de grandes quantidades de dados para que se consiga desenvolver e melhorar autonomamente. No seguimento das diversas ferramentas apresentadas anteriormente, hoje a indústria produz quantidades massivas de dados e armazena-os em serviços *cloud*, com enormes capacidades de computação. De acordo com (Bécue et al., 2021) o uso de IA na indústria divide-se em três categorias: monitorização, optimização e controlo.

Monitorização baseada em IA

Os sistemas de monitorização são usuais na indústria, sendo utilizados para identificar ou prever falhas tanto no produto como nos equipamentos. Através do uso de *machine learning* (algoritmos desenvolvidos para atribuir uma capacidade de aprendizagem autónoma a máquinas), é possível utilizar os dados provenientes da produção, para criar modelos que tenham a capacidades preditivas. Alguns exemplos usados na indústria são:

- **Controlo de Qualidade:** Em indústrias que possuam linhas de produção, é comum existirem equipamentos que inspecionam o produto através de sistemas de visão artificial. O uso de IA possibilita a automatização do controlo de qualidade, ao permitir que todo o produto final seja inspecionado, assegurando que apenas uma fração dos defeitos chegam ao cliente, quando comparado com os métodos tradicionais (Kumar et al., 2020). Além de verificar a qualidade do produto, a utilização de sistemas de inspeção visual permite analisar diversas características como geometria, acabamentos, qualidade da embalagem, cor e textura (Bécue et al., 2021).
- **Manutenção preditiva:** O uso de algoritmos para prever a manutenção dos equipamentos, tem sido um tema em crescimento nos últimos anos. Ao prever quando efectuar a manutenção dos equipamentos, permite não só minimizar o tempo de paragem, como reduzir custos de manutenção. Um exemplo da utilização deste tipo de manutenção, é o motor GENx da empresa GE (*General Electric*) equipado com 5000 sensores que produzem entre 5-10 TB (*Terabyte*) de dados, permitindo que os sistemas da GE, baseados em IA, consigam prever falhas antes de as mesmas ocorrerem e agendar manutenções de forma proactiva (Thapar, 2019).
- **Monitorização de inventário:** Actualmente, diversas empresas utilizam sistemas baseados em IA para monitorizar os seus inventários com o objectivo de reduzir custos. A empresa *Lowe's Company Incorporated*, desenvolveu um robô embutido com visão artificial, que tem a capacidade de analisar prateleiras de lojas e detectar autonomamente, se os produtos estão no local correcto e/ou se existem rupturas de *stock* (Bécue et al., 2021).

Optimização baseada em IA:

Além de efectuar a monitorização, sistemas baseados em IA podem ajudar a resolver problemas complexos e apoiar a tomada de decisão. Com a conectividade existente nas fábricas, é finalmente possível cruzar dados provenientes dos equipamentos, com dados de mercado. De seguida seguem alguns exemplos da forma como a IA pode ser utilizada para apoiar a optimização da indústria:

- **Planeamento de tarefas:** Um dos problemas mais comuns e na indústria está relacionado com a sequência de trabalhos a efectuar. Por norma, numa indústria existem diferentes produtos e/ou formatos que têm de ser fabricados e um dos desafios é decidir qual a sequência de trabalhos que deve ser implementada, de modo a garantir a optimização da produção, quer ao nível de custos como de tempo e qualidade (Bécue et al., 2021). Através da utilização de IA, é possível testar virtualmente milhares de combinações possíveis numa fração do tempo e alcançar sequências óptimas que visam a reduzir tempos e custos de produção.
- **Antecipar a gestão de *supply chain*:** A gestão de *supply chain* tradicional divide-se em dois passos fundamentais, primeiro são utilizadas ferramentas estatísticas para prever a procura e depois essas previsões servem de *input*, para desenvolver planos de produção e *stock*. Ao utilizar ferramentas de IA é possível alterar o processo, para que contenha apenas um passo, onde são desenvolvidos algoritmos que aprendem, com base em dados provenientes de equipamentos, inventários, mercado e redes sociais, com o objectivo de optimizar a produção e inventário em tempo real, de acordo com a procura (Makkar et al., 2020).
- **Desenvolvimento de Produtos:** Com o aumento da complexidade, é cada vez mais desafiante desenvolver novos produtos. A IA pode ser utilizada para apoiar os engenheiros e designers no desenvolvimento do produto, onde estes poderiam criar as especificações e restrições de um determinado produto e a IA criaria o desenho óptimo. Empresas como a Airbus e a Autodesk já utilizaram este processo para criar uma partição numa cabine de avião, cujo *design* imita a estrutura celular e o crescimento ósseo, o que permitiu aumentar a sua resistência e reduzir o peso em 45% (Autodesk, 2015).

Controlo baseado em IA:

Os sistemas de controlo estão na base da indústria moderna e a sua melhoria, permite obter benefícios significativos para o negócio. De seguida, são apresentados alguns exemplos onde a IA pode apoiar na melhoria destes sistemas:

- **Robôs:** Os robôs são utilizados na indústria, para uma grande variedade de aplicações como montagem, pintura, armazenamento entre outras. Tradicionalmente os robôs são programados através de uma série de pontos, num espaço bidimensional ou tridimensional. Este tipo de programação, leva a que os robôs apenas sejam capazes de efectuar um conjunto de movimentos pré-definidos. Com a utilização de sistemas de visão artificial e IA, é possível desenvolver robôs que se adaptam ao ambiente ao seu redor e conseguem efectuar correções de forma autónoma, sem intervenção do operador (Bécue et al., 2021).
- **Veículos autónomos:** A indústria usa diversos tipos de veículos e robôs autónomos, para servir de apoio a tarefas como transporte de material ou recolha e embalagem (Bechtsis et al., 2018). Actualmente é comum utilizar drones voadores, para realizar inspeções a infraestruturas e sistemas de IA, que permitem realizar mapeamentos de áreas ou recolher informações acerca de inventários.
- **Redes eléctricas inteligentes:** As redes eléctricas inteligentes, baseiam-se em sistemas de distribuição de energia inteligentes, que recolhem dados de

equipamentos como medidores inteligentes, sistemas de carregamento, sistemas de armazenamento de energia e infraestruturas de distribuição (Santofimia-Romer et al., 2011). Ao utilizar os dados em conjunto com a IA, é possível prever consumos e falhas, com o objectivo de implementar soluções que permitam que a rede se adapte, de modo a garantir a qualidade e consistência do serviço.

2.4.7 Cibersegurança Industrial

Conforme abordado ao longo deste capítulo, a introdução da indústria 4.0 levou a alterações significativas nas fábricas e linhas de produção. Estes avanços tecnológicos na indústria, permitem obter benefícios na produtividade, mas em simultâneo criam novos riscos. O aumento da digitalização e conectividade na *supply chain* expõem as empresas a incidentes não intencionais e a ataques planeados, como por exemplo manipulação da rede eléctrica, acesso não autorizado a dados ou inclusive controlo total sobre determinados processos ou equipamentos (Franke & Wernberg, 2020), o que pode pôr em risco tanto as instalações como as pessoas.

Os equipamentos e processos industriais sempre estiveram isolados. Pelo que, muitas empresas desenvolveram protocolos de comunicação proprietários, que garantem a comunicação entre o PLC e respectivos sensores e actuadores. Por outro lado, a cibersegurança tem-se focado em assegurar a proteção das redes de IT contra acessos não autorizados, através da utilização de sistemas e equipamentos que garantam a proteção contra ataques externos ou contra *malwares*. No entanto, a digitalização depende da conectividade dos seus equipamentos, o que origina novos desafios, como por exemplo o aumento crescente de acessos a dispositivos IoT (Culot et al., 2019).

Devido ao facto de ser um tema relativamente recente na indústria, é comum existirem equipamentos no chão de fábrica, que não foram desenvolvidos tendo em consideração a cibersegurança, o que origina riscos consideráveis. Segundo (Institute of Electrical and Electronics Engineers & IEEE Industrial Electronics Society, n.d.) as características mais comuns, em equipamentos industriais, que comprometem a segurança são:

- **Ciclos de vida útil muito longos:** A maioria dos equipamentos e sistemas industriais apresentam ciclos de vida de 10 a 20 anos. Este factor faz com que existam muitos equipamentos obsoletos em utilização, que dependem de tecnologias antigas, com diversas vulnerabilidades que possibilitam ataques de forma relativamente simples.
- **Custos de substituição elevados:** A substituição de equipamentos industriais, apenas com base no aumento da segurança é difícil de justificar, uma vez que, na maioria dos casos, o *upgrade* para sistemas mais recentes não oferece qualquer vantagem ou retorno do ponto de vista financeiro, visto que não alterar o funcionamento dos processos existentes.
- **Limitações de concepção:** A maioria dos sistemas industriais existentes nas fábricas, não foram desenhados com foco na cibersegurança, uma vez que foram desenhados para operar de forma isolada do exterior.

- **Impossibilidade de aplicação de patches de segurança:** As actualizações ou *upgrades* de segurança, são uma prática comum em sistemas informáticos, para minimizar riscos. No entanto, este tipo de procedimento é complexo de implementar em equipamentos industriais, uma vez que pode originar erros e avarias nos mesmos e conseqüentemente originar paragens difíceis de resolver.
- **Utilização de protocolos inseguros:** A maioria dos protocolos de comunicação usados na indústria foram desenvolvidos com o intuito de serem fiáveis e simples, sem ter em consideração aspectos de segurança como por exemplo a encriptação de comunicações.

Devido a todas as vulnerabilidades existentes nos equipamentos industriais, têm ocorrido diversos ataques a sistemas industriais, com impactos significativos, não só para o negócio, como para a segurança das pessoas e instalações. Seguidamente serão apresentados alguns exemplos de ataques que ocorreram nos últimos anos.

Sistema tratamento de água de Maroochy, em Queensland – Austrália

Um dos primeiros ataques de que há registo, ocorreu em março de 2000 e focou-se num sistema de tratamento de água, numa região na Austrália.

Durante uma das monitorizações diárias, um dos trabalhadores detectou uma série de problemas no novo sistema de tratamento de água. Estes problemas incluíam, falhas nas comunicações rádio que enviavam sinais para as estações de bombagem, falhas de funcionamento nas bombas e alarmes de notificação de falhas que não estavam a ser recebidos (Hemsley & Fisher, 2018).

Durante um período de 3 meses, o ataque permitiu controlar 150 estações de bombagem de esgotos, que por sua vez causaram o despejo, de milhões de litro de água não tratada, em canais e parques.

Fábrica de enriquecimento de urânio – Irão

Em 2010 ocorreu um marco na história da cibersegurança, com a introdução da primeira “arma” de ciberguerra. Ao contrário de todos os vírus informáticos, que tinham sido utilizados até então e se focavam, na espionagem industrial, o Stuxnet (nome atribuído ao vírus utilizado para o ataque), foi desenvolvido especificamente para se infiltrar em sistemas industriais e destruir equipamentos.

Este vírus extremamente complexo, foi desenhado para atacar especificamente PLCs e SCADAs (Supervisory Control and Data Acquisition) da Siemens, utilizados para controlar centrifugas existentes em processos de enriquecimento de urânio.

Antes de iniciar o ataque, o Stuxnet recolheu informações do PLC, como o modelo, número de série, detalhes de configurações e inclusive efectuava comparações do programa, de modo a garantir que se tratava do alvo correcto. Além disso, assegurava ainda que o sistema de supervisão, correspondia ao expectável (Langner, 2011).

Após garantir estas condições, o ataque iniciou-se com a recolha de dados provenientes do PLC. Durante esta fase, que demorou algumas semanas, não existiu qualquer impacto na instalação, uma vez que o objectivo era apenas monitorizar e recolher dados. De seguida, o vírus começou a efectuar alterações, no software do PLC, de forma silenciosa e em simultâneo, reproduziu os dados recolhidos previamente no sistema de supervisão, de modo que os operadores não conseguissem detectar o ataque. Por fim, o novo software implementado, acelerou as centrífugas para velocidades excessivas, o que causou fissuras nas mesmas e consequentemente a sua destruição.

Este ataque causou diversos prejuízos para a fábrica e riscos significativos de segurança para as pessoas, apesar de não existirem registos da existência de incidentes. Até hoje, não foram identificados os responsáveis pelo ataque, nem pelo desenvolvimento do vírus.

Rede de distribuição de energia – Ucrânia

No dia 23 de dezembro de 2015, um ciberataque levou a que, cerca de 230 000 pessoas ficassem sem electricidade, durante 6 horas.

O ataque desligou 30 subestações e fez com que o SCADA, utilizado para controlar a rede, ficasse inoperável, aumentando, consideravelmente o tempo de resolução do problema, uma vez que todo o restauro de energia, teve de ser realizado de forma local e completamente manual.

Os atacantes utilizavam um *malware* conhecido como BlackEnergy, para explorar vulnerabilidades em macros existentes em documento do Microsoft Excel.

Este, foi o primeiro ataque com sucesso a uma rede de distribuição eléctrica e marcou a história da cibersegurança por duas razões: primeiro porque o ataque foi realizado utilizando técnicas básicas e pouco complexas, o que revelou as vulnerabilidades existentes nestes sistemas e em segundo, porque demonstrou o impacto que os ataques têm não só para as empresas, como também para os países (Hemsley & Fisher, 2018).

2.5 Papel do PLC na Indústria 4.0

De forma resumida, um PLC é constituído por uma fonte de alimentação, um CPU (*Central Processing Unit*) e por um conjunto de interfaces com o exterior. Estas interfaces dividem-se entre entradas/saídas e de comunicação. As interfaces são consideradas entradas (inputs), se fornecem informação ao PLC e saídas (outputs), se são actuados pelo mesmo. As interfaces de comunicação, podem ser efectuadas através de protocolos de comunicação, ou estar incorporadas através de um display.

A pirâmide de automação, apresentada na Figura 12, baseia-se no standard IEC 62264 utilizado para definir um modelo de interface entre sistemas de controlos industriais e sistemas empresariais. A pirâmide está dividida em 5 níveis e pretende representar hierarquicamente os diferentes equipamentos existentes num sistema automático (Cortés et al., 2020). Ao analisar a pirâmide, é possível verificar que o PLC se encontra perto da base da mesma e é o responsável por conectar todos os sistemas de controlo e gestão aos equipamentos de campo.

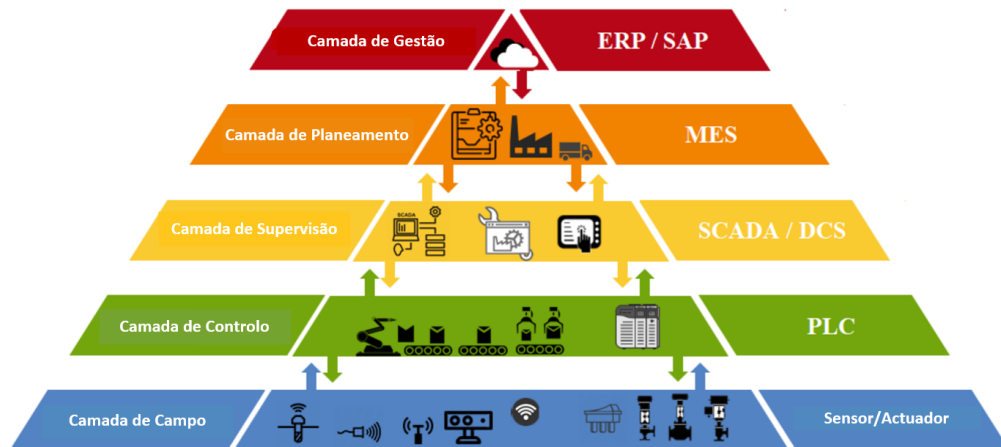


Figura 12 - Pirâmide de Automação. Adaptado de (Cortés et al., 2020).

Os PLCs, têm sido um componente fundamental para a indústria e estão na base da automatização dos processos industriais. Mesmo com a introdução da indústria 4.0, podemos assumir que o PLC continuará a ser indispensável para a grande maioria dos sistemas (Langmann & Rojas-Peña, 2016a). Para fazer face às exigências da digitalização, os PLCs mais recentes começam a vir equipados com diversos protocolos de comunicação como OPC UA (*Open Protocol Communication Unified Architecture*), MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e Modbus TCP/IP (*Modbus Transmission Control Protocolo/Internet Protocol*).

Devido à sua versatilidade, os PLCs auxiliam na implementação de diferentes ferramentas da Indústria 4.0, ao fornecerem os dados que estão na base das mesmas.

A Figura 13, demonstra uma arquitectura que possibilita a conexão a sistemas *cloud*, tendo em consideração a cibersegurança. Além disso, inclui a existência de uma *layer* de abstração entre *software* e *hardware*, que aumenta a flexibilidade do PLC e garante a QoS (Quality of Service) (Azarmipour et al., 2019).

Com o desenvolvimento da indústria 4.0, começou a existir a necessidade de criar e desenvolver arquitecturas estruturadas que permitam integrar as diferentes tecnologias e ferramentas abordadas ao longo deste capítulo. Devido à sua expansão e desenvolvimento constante, a implementação de tecnologias de indústria 4.0 é cada vez mais complexa e incorpora uma grande variedade de vertentes e áreas de estudo. Como tal, a definição de

standards e métricas é central à convergência da complexidade, em práticas e guias contextualizadas na realidade das organizações (Lin et al., 2019).

Ao longo dos últimos anos, têm sido desenvolvidas diversas arquiteturas. Na Figura 13, procurou-se representar as diferentes arquiteturas, tendo por base a pirâmide de automação, apresentada anteriormente. No entanto, devido á complexidade e flexibilidade exigida pela indústria 4.0, as diferentes camadas da pirâmide ficam difusas, existindo alterações significativas tanto no número de camadas, como na sua constituição (Nakagawa et al., 2021).

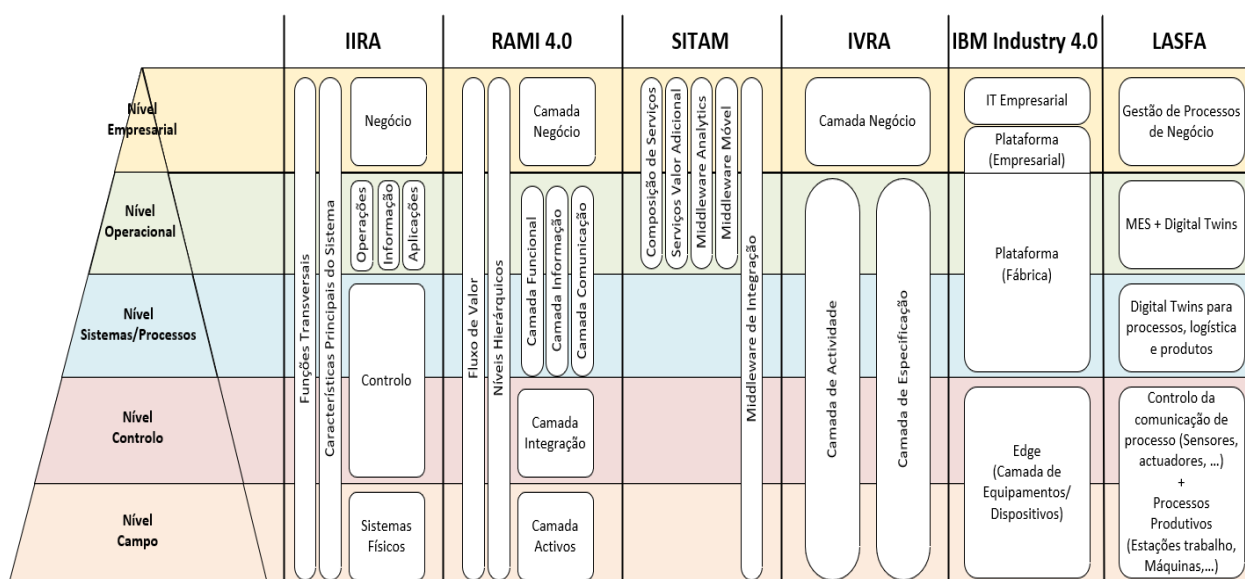


Figura 13 - Infraestrutura de controlo. Adaptado de (Azarmipour et al., 2019)

Arquitecturas como SITAM (Stuttgart IT-Architecture for Manufacturing) e o LASFA (LASim Smart Factory) foram desenvolvidas ao nível académico, enquanto no caso da IIRA (Industrial Internet Reference Architecture), RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industry 4.0), IVRA (Industrial Value Chain Reference Architecture) o seu desenvolvimento foi efectuado na indústria. O IBM (*International Business Machines*) Industry 4.0 é uma arquitectura desenvolvida pela empresa IBM que a comercializa e implementa.

Relativamente às principais diferenças entre as mesmas, pode-se afirmar que cada arquitectura tem a sua especificidade. RAMI 4.0 utiliza diferentes dimensões da indústria 4.0 e descreve todos os componentes principais da mesma (fluxo de valor, níveis hierárquicos e camadas). IVRA oferece uma visão geral de como é possível dividir o conceito de fábrica inteligente, nos componentes que a constituem e como os respectivos módulos se interligam para alcançar as funções pretendidas. De forma similar, o IIRA estabelece os conceitos e a arquitectura geral para as fábricas inteligentes, ao permitir visualizar de forma específica os componentes funcionais, bem como a sua estrutura e inter-relações (Nakagawa et al., 2021). Por outro lado, o SITAM foca-se na integração e

interoperabilidade nas fábricas inteligentes ao apresentar três *middlewares* (integração, mobilidade e analítica). O *middleware* de integração é transversal a todos os níveis da pirâmide e interliga diversos sistemas que acompanham todo o ciclo de vida dos produtos, assim como sistemas de IT, equipamentos físicos e outras fontes de dados (Gröger et al., 2016). O LASFA baseia-se na RAMI 4.0 e foca-se na integração ao utilizar 4 blocos fundamentais que contêm sistemas como ERP (*Enterprise Resource Planning*), MES (*Manufacturing Execution System*) e *Digital Twins* apresentado ainda toda a interligação e fluxo de informação entre os mesmos (Resman et al., 2019). Por fim o IBM Industry 4.0 propõe diversas ferramentas e soluções comerciais para automatizar cada um dos seus blocos e balancear a carga de trabalho entre as suas três camadas (*Edge, Plataforma e Empresarial*) (Bonnaud et al., n.d.).

Independentemente da arquitectura escolhida, o PLC terá um papel essencial na respectiva implementação, uma vez que é o equipamento responsável por interligar os dispositivos de campo a sistemas, como por exemplo, SCADA ou MES. Os PLCs, têm vindo a evoluir de forma a responder às necessidades da indústria 4.0, sendo que actualmente estão equipados com os protocolos e interfaces necessárias para integrar arquitecturas como RAMI 4.0 (Langmann & Rojas-Peña, 2016b).

3. Modelo Estrutural dos Pilares da Gestão 4.0

3.1 Introdução

Ao longo dos últimos anos, a digitalização tem vindo a expandir-se a diversas empresas e negócios. Com a implementação das tecnologias associadas à indústria 4.0, é necessário garantir que os gestores têm as características e conhecimentos necessários, uma vez que terão de se adaptar a máquinas e sistemas cada vez mais inteligentes com a capacidade de efectuar tarefas tipicamente administrativas, com maior qualidade, rapidez e a custo menor.

Actualmente, existem diversos sistemas digitais que permitem recolher e monitorizar grandes quantidades de informação e utilizar os dados recolhidos, para melhorar continuamente os algoritmos existentes. Apesar de ainda ser necessário a supervisão por parte de colaboradores experientes, com a evolução de tecnologias de IA, no futuro será possível para os algoritmos tomar decisões autonomamente de forma mais eficiente, através da utilização de quantidades significativamente superiores de dados e informações.

Devido ao facto de a digitalização ser baseada em inúmeras tecnologias que visam à automatização de tarefas e processos, consequentemente irá existir uma libertação de mão de obra, o que por sua vez, poderá resultar na apreensão face à utilização dessas mesmas tecnologias. Sendo que estas soluções só se tornam realmente eficazes se existir uma compreensão e utilização das mesmas, é essencial que os gestores garantam o envolvimento transversal das pessoas, com o objectivo de garantir não só a aceitação das tecnologias como a sua utilização, aproveitando o respectivo potencial.

De acordo com diversos artigos publicados, a gestão 4.0 baseia-se em 6 princípios:

1. **Foco no cliente:** Com a digitalização de produtos e serviços, a ligação entre o cliente e a produção é cada vez maior, visto que as empresas utilizam dados provenientes directamente do cliente para analisar a taxa de aceitação de um determinado produto e possíveis melhorias e desenvolvimentos que satisfaçam o mesmo, de forma eficaz.
2. **Diversificação de canais:** É essencial garantir a expansão dos canais de suporte além dos tradicionais, visto que o cliente procura uma assistência *online* que satisfaça as suas necessidades.
3. **Automação:** A automação de processos e negócios é fundamental na era da digitalização sendo essencial para melhorar processos, aumentar a produtividade, melhorar o serviço e reduzir o trabalho repetitivo.
4. **Análise de Dados:** Todas as ferramentas e soluções de gestão 4.0 baseiam-se na criação e análise de dados em larga escala, sendo esta última essencial para a tomada de decisão.
5. **Equipas de alta performance:** Com a automação e análise de dados existe mais tempo para inovação e melhoria, sendo fundamental garantir a formação dos colaboradores de modo que consigam utilizar as diferentes tecnologias, para identificar problemas e possíveis melhorias.

- 6. Integração de diversos sectores:** A indústria 4.0 oferece a oportunidade de interligar diferentes sectores da empresa, de modo a alinhar estratégias e responder a desafios de forma transversal.

Ao longo deste capítulo, será apresentado um modelo estrutural dos pilares da gestão 4.0, que inclui na sua constituição os princípios apresentados anteriormente.

3.2 Representação gráfica do modelo estrutural da Gestão 4.0 na indústria

Conforme apresentado anteriormente, a gestão 4.0 é um tema complexo que abrange áreas distintas. Assim, a sua implementação pode ser desafiante para as empresas, sendo usual existirem erros que por sua vez resultam em custos consideráveis para o negócio.

A Figura 14, pretende apresentar um modelo estrutural original para apoiar a implementação da gestão 4.0 na indústria. O modelo, tem por base a casa do TPM e a pirâmide de automação, de forma a unir os componentes principais da gestão 4.0: a gestão tradicional e a indústria 4.0.

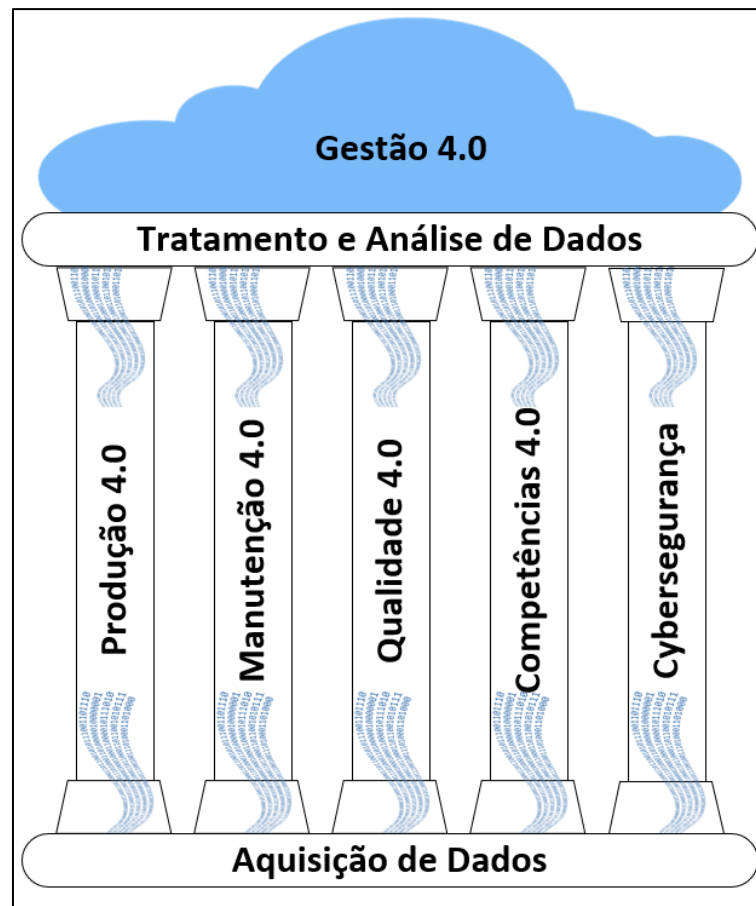


Figura 14 - Modelo estrutural original da indústria 4.0.

O modelo estrutural apresentado está dividido em 3 zonas distintas: a base, os 6 pilares e o topo. Além das zonas, o modelo é constituído por 2 elementos visuais: o fluxo de dados e a cloud, que visam a representar dois elementos fundamentais da gestão 4.0, sendo os

primeiros essenciais a todas as ferramentas e o segundo fundamental para a flexibilidade e acessibilidade das soluções.

De seguida serão apresentados, em detalhe, cada um dos elementos constituintes do modelo apresentado, iniciando-se pela base e terminando no topo do mesmo.

3.2.1 Aquisição de dados

A aquisição de dados é a base do modelo estrutural, uma vez que representa a etapa inicial da gestão 4.0. Conforme abordado anteriormente, as soluções e tecnologias que estão a revolucionar os negócios baseiam-se em dados.

Com o aparecimento do IoT, a origem dos dados deixou de estar limitada aos equipamentos tradicionais, uma vez que possibilitou a ligação directa de componentes à internet. No entanto, devido à sua presença e importância na indústria, o PLC continua a ser uma das principais fontes de dados, sendo o componente principal para aquisição de dados no modelo estrutural apresentado.

Sendo o PLC um dos componentes essenciais no controlo da indústria moderna, os fabricantes de máquinas têm vindo a incluir, na sua programação, algoritmos desenhados especificamente para recolher e enviar dados para sistemas, que posteriormente os tratam e utilizam.

Devido à variabilidade e versatilidade de dados existentes na indústria, foi necessário desenvolver *standards* que permitam uniformizar a constituição e valores dos mesmos. O WS (Weihenstephan *Standards*) foi desenvolvido através de uma parceria entre fabricantes e a universidade técnica de Munique.

O WS permite uma uniformização dos dados a utilizar, sendo esta transversal a diversas indústrias, o que resulta numa redução significativa no tempo de programação e configuração dos dados a utilizar. Além disso, o WS dispõe de mais de 150 classes diferentes de máquinas, associadas aos respectivos dados. Os dados utilizados pelo WS são identificados pela sigla WS no início de cada valor. Por exemplo, a velocidade e contador de uma enchedora de garrafas, que utilize o WS são designados por WS_Mach_Spd e WS_Tot_Bottles respectivamente.

Além de definir que dados devem ser utilizados, o WS visa ainda a definir valores específicos para alguns dados, como é o caso do estado e modo de uma determinada máquina.

Na Tabela 2 e 3, estão representados os estados e programas possíveis, de uma máquina na indústria de bebidas, associados aos respectivos valores.

Tabela 2 - Estados de acordo com o WS.

Valor	Programa	Descrição
0	Undefined	Máquina encontra-se ligada, mas não existe programa selecionado
1	Production	A máquina está a operar conforme designado pelo fabricante
2	Start Up	A máquina tem o programa de arranque selecionado. Durante este período a máquina encontra-se a efectuar todos os passos necessários para o arranque da mesma.
4	Run Down	A máquina tem o programa de paragem selecionado. Durante este período a máquina efectua todos os passos necessários para efectuar a paragem de acordo com o designado pelo fabricante.
8	Clean	A máquina tem o programa de limpeza selecionado. Durante este período a máquina efectua passos necessários para a limpeza da mesma, como por exemplo enxaguamento ou desinfeção.
16	Changeover	A máquina encontra-se a efectuar uma mudança automática, entre programas, de acordo com parâmetros pré-definidos.
32	Maintenance	A máquina tem o programa de manutenção selecionado. Este programa é utilizado pelas equipas de manutenção para efectuar as respectivas tarefas.
64	Break	A máquina encontra-se em avaria. Este programa assegura que a máquina arranca de acordo com o definido pelo fabricante, após resolução da avaria.
128...32768	User Program01 User Program09	Utilizados para definir programas customizados e variam de acordo com a aplicação.

Tabela 3 - Estados de acordo com o WS.

Valor	Programa	Descrição
0	Undefined	Sem estado válido, de acordo com o WS
1	Stopped	A máquina está ligada, mas encontra-se estacionária. Este estado permite que a máquina comunique, mas não se encontra pronta para produzir.
2	Starting	A máquina está a arrancar e a efectuar passos de arranque como por exemplo, posicionamento de eixos para o local inicial.
4	Prepared	A máquina está pronta para arrancar, mas encontra-se num estado de espera. Durante este estado a máquina não tem acumulação nem falta de produto e pode arrancar automaticamente.
8	Lack	A máquina está parada devido a falta de produto na entrada da mesma. Em máquinas com diversas entradas de produtos, este estado refere-se a falta de produto na entrada principal (p.ex: falta de garrafas numa enchedora)
16	Tailback	A máquina está parada devido a acumulação de produto na saída da mesma. Em máquinas com diversas saídas, este estado refere-se à saída principal (p.ex: acumulação de paletes com produto numa paletizadora)
32	Lack Branchline	A máquina está parada devido a falta de produto na entrada da mesma. Em máquinas com diversas entradas de produtos, este estado refere-se a falta de produto em entradas secundárias (p.ex: falta de filme numa embaladora de caixas).
64	Tailback Branchline	A máquina está parada devido a acumulação de produto na saída da mesma. Em máquinas com diversas saídas, este estado refere-se a saídas secundárias (p.ex: acumulação de paletes vazias numa despaletizadora)
128	Operating	A máquina está a produzir de acordo com o definido pelo fabricante.
256	Stopping	A máquina está a ser transferida para o estado de paragem devido a uma rotina de paragem controlada.
512	Aborting	A máquina encontra-se no período entre a ocorrência de uma avaria e o estado resultante após resolução da mesma.
1024	Equipment Failure	A máquina encontra-se parada devido a uma falha interna. Durante este estado a máquina pode apresentar 1 ou mais alarmes indicativos da falha.

2048	External Failure	A máquina encontra-se parada devido a uma falha que ocorreu externamente à mesma. Este tipo de falha difere dos estados de <i>Lack e Tailback</i> mostrados anteriormente e encontra-se muitas vezes associada a falha de serviços utilitários da máquina com ar comprimido ou água.
4096	Emergency Stop	O estado ocorre quando um ou mais botões de emergência são pressionados, o que leva à paragem da abrupta da máquina.
8192	Holding	A máquina encontra-se no período entre a o estado de espera e o estado resultante.
16384	Held	A máquina encontra-se parada devido a um desvio detectado internamente. Neste estado a máquina não está em falha, mas é necessária intervenção por parte do operador que posteriormente deve classificar a paragem como <i>Equipment Failure</i> ou <i>External Failure</i> .
32768	Idle	A máquina encontra-se parada e em espera devido a uma intervenção manual por parte do operador que impede a máquina de arrancar.
65536	Unholding	A máquina encontra-se no período entre o estado <i>Held</i> e o estado <i>Operating</i> .
131072	Suspending	A máquina encontra-se no período entre o estado <i>Suspending</i> e o estado seguinte (<i>Prepared, Lack, Tailback, Lack branchline ou Tailback Branchline</i>).
262144	Unsuspending	A máquina encontra-se no período entre o estado <i>Prepared, Lack, Tailback, Lack branchline ou Tailback Branchline</i> e o estado seguinte <i>Operating</i> 5.
524288	Resetting	A máquina encontra-se no período entra o estado <i>Stopped</i> e o estado <i>Idle</i> .
1048576	Clearing	A máquina encontra-se no período entre o estado <i>Emergency Stop</i> e o estado <i>Stopped</i> .

Além de definir os diferentes estados e programas, o WS utiliza fluxogramas para definir as transições entre os diferentes estados. Na Figura 15, está representado o fluxograma utilizado para implementar os diferentes estados numa máquina.

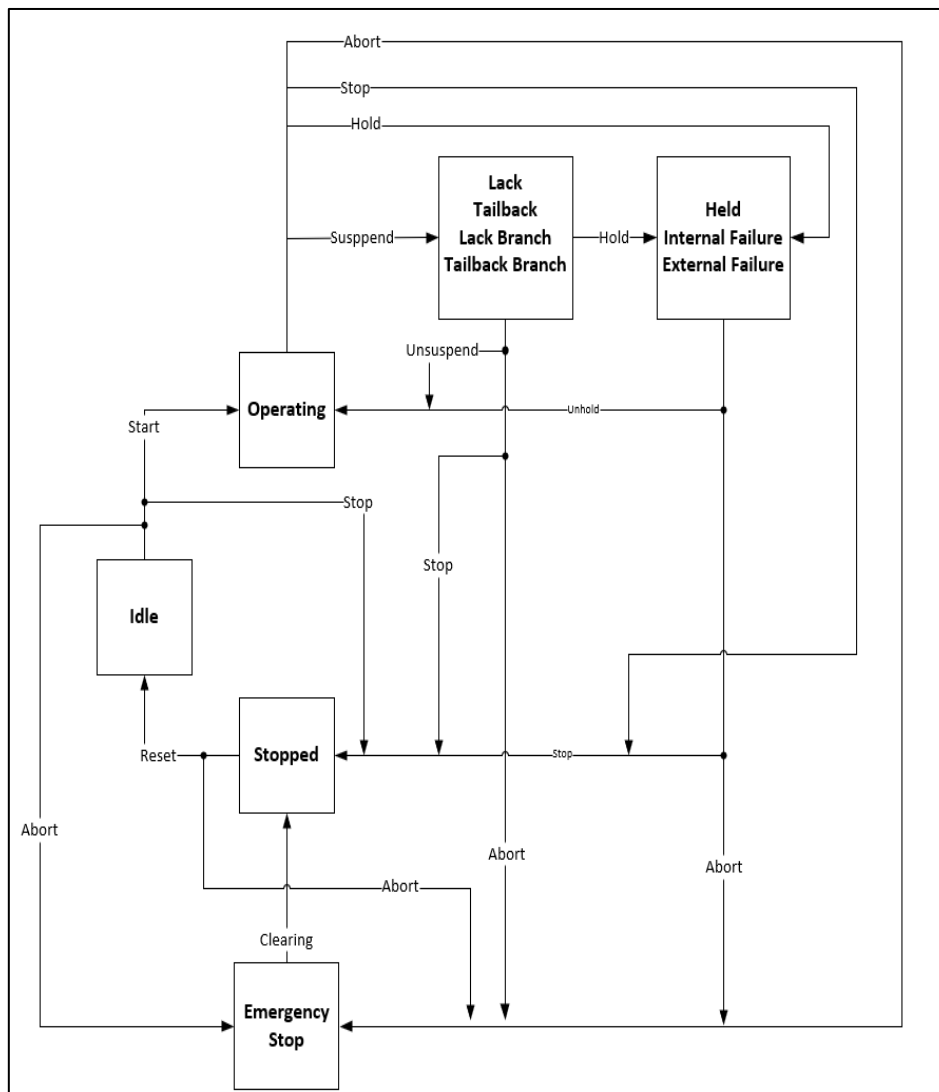


Figura 15 - Fluxograma de estados de acordo com o WS.

Uma vez que o controlo da grande maioria das máquinas é efectuado com recurso a PLCs, fabricantes como a Siemens, desenvolveram livrarias específicas como a “*LWeihstd SIMATIC V1.0.6*” que visam a diminuir significativamente a programação necessária para implementação dos *standards*.

A implementação da aquisição de dados, de acordo com o modelo estrutural apresentado, deve seguir os seguintes passos:

1. **Definir os dados a recolher:** Dependendo da solução, devem-se escolher os dados necessários para implementação da mesma. Devido à grande variedade e quantidade de informação existente em máquinas, é importante definir quais os dados importantes para a solução escolhida.
2. **Selecionar a arquitectura:** Devido à grande variedade de soluções, é essencial definir a arquitectura que melhor se adequa à situação existente. Durante esta fase devem-se ter em consideração factores como, flexibilidade e expansibilidade.

Além disso, visto que o objectivo da maioria das soluções é recolher dados, deve-se escolher a arquitectura que minimize as alterações no software fundamental da máquina, de modo a evitar falhas desnecessárias.

3. **Definir o fluxo de informação:** A maioria das indústrias utiliza diferentes tipos de equipamentos numa linha de produção, sendo estes fornecidos por empresas distintas. Este fator leva a que exista uma grande variedade de equipamentos e protocolos de comunicação. Assim, deve-se definir o fluxo de informação, onde são representados a origem dos diferentes dados necessários, assim como respectivos protocolos e endereços.
4. **Validar os dados recolhidos:** Por último, um dos passos que deve ser sempre assegurado, é a validação dos dados recolhidos, de modo a garantir que a informação em que se vão basear os algoritmos, está correcta e representa a realidade. Deste modo, devem ser criadas *checklists* que permitam garantir a validação de todos os dados recolhidos.

Sendo a aquisição de dados a base do modelo estrutural, é nela que se sustenta o mesmo. Assim, é importante assegurar a existência de uma base sólida, de modo que os restantes componentes estejam estáveis.

3.2.2 Pilares do modelo estrutural da gestão 4.0

3.2.2.1 Produção 4.0

O mais importante para qualquer indústria é assegurar que a produção ocorre de forma eficiente, de modo a garantir que existe resposta face á procura do mercado. Deste modo, o primeiro pilar do modelo estrutural é a produção 4.0.

Com a digitalização e conectividade, surgem novas oportunidades para a indústria e respectivos processos produtivos. Actualmente, diversas indústrias estão a desenvolver cópias virtuais das suas linhas de produção apelidados de *Digital Twins*, com o objectivo de conseguir testar e validar alterações e melhorias antes de as implementar no mundo real, o que reduz significativamente os custo e tempo de desenvolvimento das mesmas. Além disso, ao “alimentar” o *Digital Twin* com dados reais, é possível a melhorar constantemente a qualidade do mesmo.

Por outro lado, além de aumentar consideravelmente o nível tecnológico nas suas linhas de produção, as empresas começam a incorporar tecnologias cada vez mais avançadas nos seus produtos.

Com a capacidade de conectividade existente nos produtos actuais, o modelo de negócio tradicional começa a alterar-se, de modo que a ligação ao produto não termine no momento da venda. Assim, as empresas conseguem recolher dados do produto ao longo da sua vida útil e utilizar os mesmos para melhorar os produtos seguintes e/ou continuar a obter rendimento através da venda de serviços de assistência. O sector automóvel em particular, tem-se focado neste tipo de negócio. Ao implementar conectividade nos seus automóveis,

é possível perceber se um determinado componente está a ter muitas avarias e caso necessário, implementar melhorias de forma proactiva directamente nas linhas de produção, com o objectivo de assegurar a minimização do problema. Outro exemplo, é o modelo utilizado pela Tesla, onde além de receber dados dos seus veículos, comercializa serviços de atualização remota, que o cliente pode adquirir, de modo a garantir que o seu carro recebe as últimas versões de *software* remotamente, ou inclusive, pode optar por alterar as características do mesmo após a venda, como por exemplo a autonomia ou a potência.

Com a implementação de dados em tempo real, é possível implementar soluções que permitam perceber qual o estado geral da linha de produção e quais as máquinas que estão a ter maior impacto na perda de eficiência. Este tipo de informação permite que os operadores tomem decisões informadas e possam actuar na máquina correcta, garantindo uma maior eficácia.

A digitalização da indústria impacta não só a cadeia de valor da empresa como todo o mercado. Segundo Porter, existem 5 forças competitivas que definem o ambiente competitivo do negócio e devem ser tidas em conta, durante a definição da estratégia de uma empresa, estando estas representadas, na Figura 16

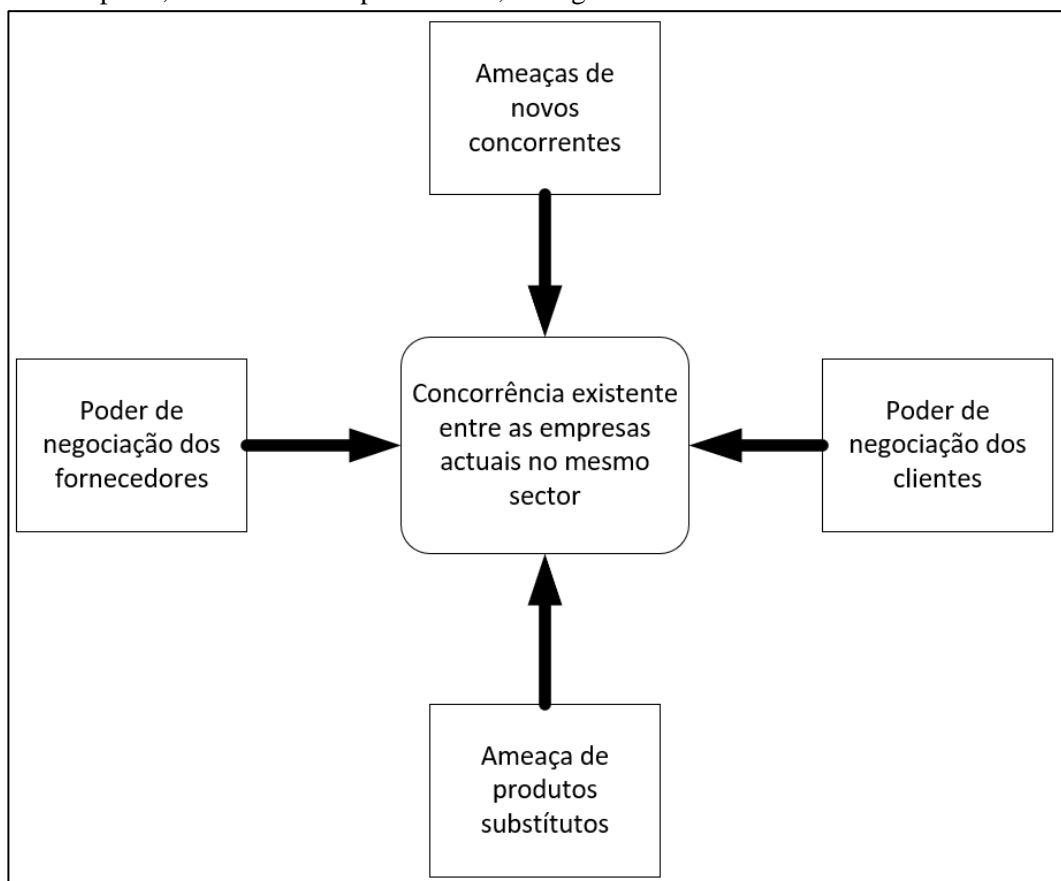


Figura 16 - Cinco forças de Porter para a avaliação da competição entre empresas.

Com a implementação de tecnologia nos produtos, é possível expandir as oportunidades de diferenciação. Este factor associado á capacidade de recolha de dados, permite

implementar melhorias nos produtos seguintes, com enorme rapidez, o que por sua vez permite uma oferta cada vez mais personalizada, afastando a competitividade baseada no preço. Este tipo de característica faz com que deixe de existir um produto substituto específico e em contrapartida, um grande leque de produtos desenhados especificamente para cada cliente. Além disso, permite que a dependência de terceiros, como empresas de análise e estudo de mercado ou empresas de investigação e desenvolvimento, seja cada vez menor, o que consequentemente aumenta a margem de lucro dos produtos e reduz o poder de negociação dos clientes. Por outro lado, se a informação dos produtos estiver disponível para os clientes, poderá causar o efeito contrário, onde o cliente se baseia no histórico e na informação recolhida para tomar decisões de compra conscientes.

Noutra perspectiva, ao incorporar tecnologia em produtos existentes, existe o risco de as empresas entrarem em competição com empresas que nunca foram seus concorrentes directos, podendo provocar disrupções nos mercados actuais.

Por outro lado, a produção inteligente necessita de grandes investimentos ao nível de *software* e desenvolvimento do produto. Isto faz com que os custos fixos aumentem consideravelmente dificultando a entrada de novos concorrentes no mercado. Além disso, a quantidade de dados recolhida irá desempenhar um papel fundamental na melhoria e diferenciação dos produtos, oferecendo vantagens significativas às empresas que operam á mais tempo no mercado.

Por último, ao focar cada vez mais a criação de valor em componentes de *software* em vez de componentes de *hardware*, reduz-se a necessidade física de componentes específicos, o que consequentemente diminui a importância do fornecedor tradicional e por sua vez o seu poder negocial. Por outro lado, devido á elevada complexidade deste tipo de soluções, se a empresa não tiver a possibilidade de desenvolver soluções digitais internamente, terá de se tornar dependente de um nicho de mercado que, neste momento é liderado por grandes empresas tecnológicas, causando o efeito inverso, em que neste caso o fornecedor fica com total poder de negociação.

As fronteiras da indústria indicam uma tendência de crescimento e diferenciação que vai além dos produtos. Assim, ao integrar cada vez mais a informação recolhida a partir de todos os produtos que são vendidos é possível otimizar e melhorar cada vez mais esses produtos e contribuir, não só para indústrias inteligentes, com também para casas e até cidades inteligentes.

3.2.2.2 Manutenção 4.0

O primeiro objectivo das equipas de manutenção é assegurar a minimização das paragens das linhas de produção, onde idealmente todas as paragens devem ser planeadas. Assim, a área da manutenção desempenha um papel crucial, sendo esta o segundo pilar do modelo estrutural.

Em empresas de média e grande dimensão, que tenham como *core business* produzir produtos, a manutenção representa um dos departamentos mais importantes e muito

provavelmente, um dos que tem maior impacto no orçamento global. Apesar de não gerar directamente receitas (exceto em empresas de venda de serviços), a sua optimização tem um grande impacto no negócio, uma vez que origina uma redução nos custos (diminuição das reparações urgentes, excesso de stock, etc.) e em simultâneo aumenta a capacidade de produção (menos tempo de paragem, menos avarias, etc.), originando desta forma, um maior rendimento global da empresa.

Dependendo do autor, a manutenção é classificada de formas distintas. No modelo estrutural apresentado, a manutenção é classificada de acordo com o esquema apresentado na Figura 17, sendo que a mesma se divide em dois grupos principais: a manutenção preventiva e a manutenção correctiva.

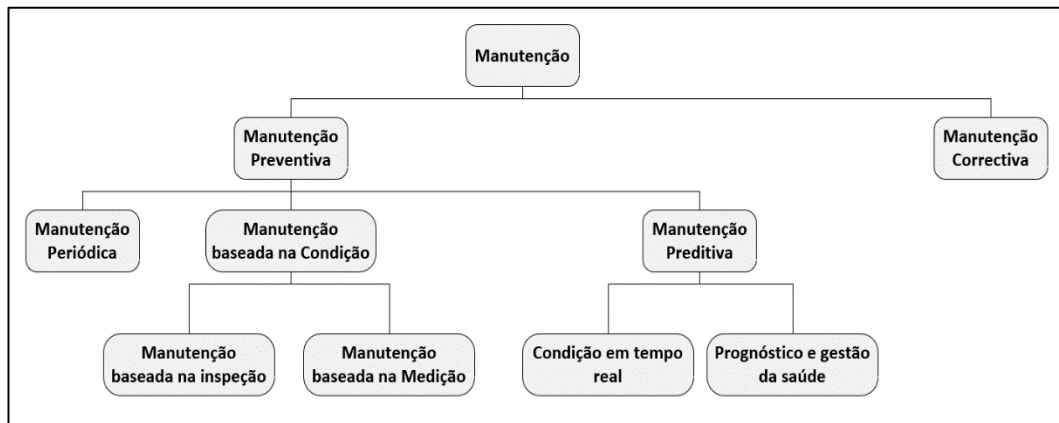


Figura 17 - Esquema com representação dos diferentes tipos de manutenção.

De forma resumida, a manutenção é considerada correctiva sempre que a mesma ocorre de forma disruptiva e não planeada, o que consequentemente origina a paragem da máquina e/ou linha de produção. Por outro lado, a manutenção é considerada preventiva sempre que é efectuada de forma planeada e com base em informação previamente recolhida, não existindo impacto para a produção. A manutenção preventiva divide-se em:

- **Manutenção Periódica:** As tarefas de manutenção são realizadas de forma periódica, de acordo com valores pré-definidos pelo fabricante, baseados no desgaste teórico dos materiais. Uma vez que este tipo de manutenção se baseia em tempos teóricos, pode existir um excesso de manutenção, se o desgaste for menor que o previsto, aumentando custos, ou falta de manutenção se as condições de funcionamento não forem ideais e/ou se ocorrerem situações de desgaste forçado, derivadas de falhas no processo.
- **Manutenção baseada na Condição:** A manutenção baseada na condição pode ser classificada como manutenção baseada na inspeção, quando a mesma se baseia em tarefas de inspeção periódica, onde o técnico inspeciona visualmente um determinado componente e classifica o mesmo de acordo com o seu estado de desgaste, de modo a permitir que as equipas de gestão possam planear a reparação/substituição de acordo com essa informação. Por outro lado, a manutenção baseada na medição baseia-se em tarefas periódicas em que o técnico efectua medições como por exemplo vibração, temperatura ou ruído, permitindo que as equipas de gestão consigam acompanhar a evolução dos valores medidos e

decidir quando efectuar a reparação/substituição. Uma vez que a manutenção é efectuada periodicamente, não é possível detectar quando existe uma alteração repentina do estado do componente.

- **Manutenção Preditiva:** A manutenção preditiva está directamente ligada á indústria 4.0 e utiliza dados em tempo real para analisar o estado efectivo do equipamento/componente. De acordo com o modelo apresentado, pode ser classificada como CBM (*Condition Based Maintenance*) onde o sistema utiliza sensores instalados no equipamento para monitorizar o estado do mesmo e alertar as equipas sempre que os valores de medição apresentam valores fora do intervalo definido. Actualmente começam a existir sistemas mais avançados que aplicam PHM (*Prognosis and Health Management*), onde os sensores são utilizados em conjunto com algoritmos de inteligência artificial e *machine learning* para prever a deterioração do equipamento com base nos dados recolhidos, auxiliando as equipas de manutenção no planeamento das reparações/substituições.

Ao utilizar soluções e ferramentas de manutenção preditiva, é possível monitorizar constantemente o estado da máquina e definir prioridades de manutenção com base em dados reais. Além disso, é possível preparar as manutenções com base nos diagnósticos realizados previamente e efectuar as tarefas de forma cirúrgica, reduzindo custos e tempos de manutenção.

Além da recolha de dados, tecnologias como a impressão 3D estão a criar novas oportunidades. Por exemplo, actualmente existem diversas indústrias que utilizam impressoras 3D para imprimir as peças de substituição necessárias, reduzindo significativamente os custos e tempos de fornecimento. Adicionalmente, este tipo de tecnologia permite que as equipas de engenharia possam incorporar melhorias directamente nos componentes, ou criar ferramentas customizadas para tarefas específicas.

3.2.2.3 Qualidade 4.0

A qualidade dos produtos, tem um grande impacto na competitividade e sucesso do negócio. Com a complexidade dos processos actuais, é essencial que o controlo de qualidade seja realizado ao longo de todo o processo, de modo a garantir a eliminação rápida de desvios. Além disso, devido às elevadas cadências de produção, a identificação de desvios deve ser rápida no sentido de minimizar a quebra de produto. Dada a importância da qualidade para as empresas, o terceiro pilar do modelo estrutural é a qualidade 4.0.

Um dos passos fundamentais para a implementação do controlo de qualidade, é garantir que os critérios de aceitação estão correctamente definidos para cada produto ou processo. Só assim, é possível estabelecer um padrão de comparação e um intervalo de aceitação.

Conforme apresentado no capítulo anterior, as equipas de controlo de qualidade, utilizam diversas ferramentas para efectuar as respectivas análises, sendo estas baseadas em dados provenientes de amostras retiradas periodicamente de acordo com uma calendarização pré-definida. Este tipo de controlo é habitualmente usado na indústria e apesar de ser fiável,

apresenta algumas desvantagens, como por exemplo o facto de existir uma probabilidade de o defeito não se encontrar na amostra analisada ou por vezes, existir a necessidade de parar uma etapa até que a análise seja concluída.

A indústria tem vindo a substituir o controlo baseado em amostragens, por controlo em linha, onde são implementados equipamentos de medição automática que efectuem medições constantes das variáveis de processo e alertam em caso de desvio, sendo que em algumas aplicações, os equipamentos têm autonomia para parar o processo, caso os valores ultrapassem os limites superiores ou inferiores definidos. Com a utilização da medição em linha, é possível assegurar uma medição constante do produto e garantir que todos os produtos são analisados e verificados.

A utilização do controlo em linha, com as ferramentas “tradicionais” de gestão da qualidade permite obter análises mais detalhadas, uma vez que as mesmas são baseadas numa maior quantidade de dados. Segundo o modelo apresentado, a qualidade 4.0 deve basear-se nos seguintes passos:

1. **Definir o processo a analisar:** Durante a definição do processo devem ser identificadas todas as variáveis a medir, assim como possíveis relações existentes entre as mesmas.
2. **Definir os intervalos de tolerância:** Os intervalos de tolerância são importantes para a definição da precisão dos equipamentos de medição, uma vez que a incerteza do equipamento não pode ser superior ao erro admissível.
3. **Validar os dados medidos:** Após a implementação dos equipamentos de medição em linha, é essencial garantir a sua validação em todo o *loop* de controlo, ou seja, caso seja instalado um equipamento com *display* conectado a um PLC e controlado através de um SCADA, a leitura de comparação deverá ser sempre baseada nos valores apresentados no SCADA e não no *display*, visto serem nestes que o sistema se baseia para efectuar o controlo e despoletar alarmes.
4. **Assegurar a verificação/calibração periódica dos equipamentos:** Devido ao desgaste normal dos equipamentos, é importante garantir que os mesmos são verificados e se necessário calibrados, periodicamente. Esta periodicidade deverá ser menor inicialmente e alargada caso se verifiquem poucos desvios ao longo do tempo.

Sendo a qualidade uma área bastante abrangente, existem diversas aplicações e tecnologias que podem auxiliar na transição para um controlo digital, como por exemplo:

- **Análise de dados:** Com a implementação de sistemas de controlo em linha, é possível recolher dados ao longo de todo o processo e efectuar análises pormenorizadas baseadas nos mesmos. Adicionalmente, visto que os dados podem ser recolhidos em tempo real, é possível identificar facilmente diferentes variabilidades e desvios no processo, mesmo que ocorram esporadicamente. Através da utilização dos dados recolhidos, é possível construir automaticamente algumas ferramentas de qualidade como por exemplo gráficos de pareto ou diagramas de dispersão.

- **Inteligência Artificial:** Com a evolução da inteligência artificial, é possível desenvolver algoritmos que utilizem os dados provenientes do campo para identificar desvios e efectuar correções de forma autónoma, com o objectivo de impedir a propagação do erro. Um exemplo disso é a utilização de sistemas baseados em IA, na indústria de bebidas, que identificam falhas no produto produzido e automaticamente efectuam ajustes nas receitas da próxima produção. Outro exemplo do uso de sistemas inteligentes é a utilização de equipamentos baseados em visão artificial, que conseguem “aprender” quais os limites de tolerância de um determinado produto com base em grupos de controlo e posteriormente, rejeitar todos os produtos que estejam fora de especificação.
- **Robôs Autónomos:** Mesmo com o constante desenvolvimento de soluções de controlo em linha, continuam a existir muitas etapas e produtos em que o mesmo não é possível de aplicar, sendo necessário efectuar controlo por amostras. Uma vez que este tipo de controlo é muitas vezes demoroso e composto por diversas etapas, em que o técnico tem de aguardar por resultados antes de poder avançar para a etapa seguinte, existem indústrias onde estão a ser implementados robôs autónomos para efectuar este tipo de trabalho, libertando o operador para tarefas com maior valor acrescentado. Um exemplo dessa aplicação na indústria de bebidas é o uso de um sistema composto por um tapete, uma câmara e um braço robô, onde a caixa de garrafas é colocada num tapete pelo operador e o processo é iniciado. Durante o processo, o braço robô começa por retirar diversas fotografias à caixa de modo a garantir a conformidade da embalagem. De seguida, retira cada garrafa individualmente e fotografa a mesma de vários ângulos, de modo a garantir que a mesma está conforme as especificações. No fim do processo, o sistema emite um relatório identificando quais as garrafas fora de especificação, indicando a respectiva razão. Além de libertar o técnico, este tipo de sistema permite garantir que todas as garrafas são analisadas.

3.2.2.4 Competências 4.0

As revoluções industriais anteriores vieram alterar de forma significativa a vida das pessoas e conseqüentemente o seu modo de trabalhar. Independentemente das previsões existentes, existe uma transversalidade no facto de que muitos dos empregos actuais desaparecerão e serão substituídos por máquinas ou algoritmos. Assim, é importante assegurar o realinhamento das competências das pessoas, contribuindo para a adaptação e evolução das empresas. Por esta razão, o quarto pilar do modelo estrutural é definido pelas competências 4.0.

Com a implementação de equipamentos cada vez mais inteligentes, é importante dotar as pessoas de capacidades que lhes permitam interagir com os mesmos. Actualmente, diversas indústrias têm vindo a utilizar robôs colaborativos ou *cobots* que operam em conjunto com os colaboradores permitindo libertá-los de tarefas repetitivas. Deste modo, é possível reduzir não só o tempo de produção como também reduzir o risco de lesões dos colaboradores, uma vez que as tarefas perigosas ficam a cargo dos *cobots*.

A continuidade das empresas e negócios depende dos seus colaboradores e como tal, os gestores devem assegurar que as competências necessárias, são desenvolvidas. Deste modo, foram identificadas 8 competências que têm um impacto significativo:

- **Criatividade:** A criatividade é cada vez mais valorizada, sendo caracterizada pela capacidade de entender o mundo de novas formas, encontrar padrões ocultos e conectar fenómenos não relacionados, de modo a gerar soluções disruptivas.
- **Pensamento empreendedor:** Este tipo de pensamento, refere-se à habilidade para descobrir novas oportunidades e formas de as capitalizar.
- **Resolução de problemas:** A resolução de problemas, combina a criatividade com as capacidades analíticas para comparar, analisar e seleccionar soluções ideais para diferentes problemas, sendo essencial tanto nas fases de concepção de projectos, como na resolução de avarias e aplicação de melhorias ao longo de toda a vida útil.
- **Resolução de conflitos:** A resolução de conflitos, é necessária para garantir uma harmonização do local de trabalho. Para isso, é necessário assegurar a existência de maturidade emocional, autocontrolo e empatia.
- **Tomada de decisão:** Com o crescente aparecimento de novos problemas e soluções, é necessário garantir a existência de uma boa capacidade para tomada de decisão, sendo que esta deve ser baseada na recolha de informação necessária e análise das diferentes soluções possíveis. É importante garantir uma correcta tomada de decisão de modo a garantir problemas futuros.
- **Capacidade analíticas:** As capacidades analíticas, estão na base de capacidades como a resolução de problemas e tomadas de decisão, uma vez que envolvem a análise efectiva da informação disponível, assim como possíveis interligações existentes, com o objectivo de encontrar a melhor solução possível.
- **Capacidade de pesquisa:** Com a constante evolução das tecnologias, é importante garantir a actualização constante do conhecimento. A velocidade de progressão faz com que seja difícil para os gestores, assegurar a formação necessária no tempo ideal. Assim, a capacidade de pesquisa, dota os funcionários de autonomia para procurar e aprender de forma autónoma.
- **Orientação para a eficiência:** A eficiência das empresas e negócios, é essencial para a sua sobrevivência. Deste modo, deve existir uma orientação para a eficiência, quando estão a ser analisados problemas e soluções.

As competências apresentadas anteriormente são essenciais visto não existirem *softwares* capazes de as substituir. Assim, as empresas dependem dos seus colaboradores para que consigam utilizar estas capacidades em colaboração com as informações provenientes das máquinas, para alcançar o nível de eficiência esperado.

Com o aumento da velocidade de mudança na indústria, é necessário garantir que os colaboradores acompanham a mesma, visto que a grande maioria das tecnologias e ferramentas existentes, depende da correcta utilização para produção de informação fiável e relevante. Assim, de acordo com o modelo apresentado, os seguintes pontos devem ser considerados:

1. Informar antecipadamente as pessoas das mudanças a implementar.
2. Envolver os diferentes intervenientes, se possível, desde a fase de concepção da solução, permitindo que os mesmos acompanhem todo o processo.
3. Recolher e analisar o feedback das pessoas que têm melhor conhecimento do processo e que conseqüentemente serão mais afectadas pela mudança.
4. Garantir a participação de diferentes intervenientes com diferentes experiências durante toda a fase de implementação da solução.
5. Demonstrar na prática as vantagens que a tecnologia ou solução, trará para o dia a dia das pessoas.
6. Após implementação, assegurar a existência de um acompanhamento de modo a recolher feedback acerca da utilização da ferramenta, assim como possíveis melhorias a implementar na mesma.

Através da implementação dos passos referidos anteriormente, existe um envolvimento de todas as pessoas, o que conseqüentemente facilita o processo de aceitação da mudança.

Além disso, ao incorporar na solução ideias das pessoas que a irão utilizar, fará com que as mesmas a considerem como parcialmente sua, facilitando o *ownership* e assegurando a continuidade e evolução da mesma.

3.2.2.5 Cybersegurança 4.0

As tecnologias e soluções actuais, dependem da interligação e conectividade entre equipamentos e sistemas de processamento e análise, muitas vezes localizados fora da infraestrutura das empresas. Esta necessidade, cria novos riscos e desafios para a indústria, ao expor processos e equipamentos a ataques externos que podem ter impactos catastróficos para as empresas. Assim, o quinto e último pilar da modelo estrutural é a cibersegurança, uma vez que a mesma é essencial para a segurança e continuidade dos negócios actuais.

No capítulo anterior, foram analisados alguns dos ataques informáticos que ocorreram na indústria e o seu impacto para os negócios. Assim, a cibersegurança desempenha um papel cada vez mais importante no quotidiano de todos os trabalhadores da indústria. Além disso, o mercado industrial necessita de técnicos, engenheiros e gestores que estejam cientes dos riscos e perigos associados à cibersegurança para que consigam responder correctamente em caso de ataque, com o objectivo de minimizar o respectivo impacto.

Conforme abordado no capítulo anterior, uma grande percentagem dos equipamentos industriais não teve em conta a cibersegurança durante a sua concepção, visto terem sido desenvolvidos para aplicações isoladas. Apesar das diversas vulnerabilidades intrinsecamente associadas aos equipamentos e sistemas, existem diversos métodos e procedimentos que visam a diminuir a probabilidade de ataques, ou minimizar os respectivos impactos caso ocorram.

Assim, de acordo com o modelo estrutural apresentado, devem ser implementados os seguintes métodos:

- **Gestão de activos:** Um dos primeiros passos para garantir a segurança da instalação, passa por assegurar que existe um levantamento de todos os activos (p.ex: PLCs, HMIs, etc.) instalados, incluindo marca, modelo, versão de *firmware* e tipos de comunicações em utilização, principalmente aqueles que se encontram conectados à rede da empresa.
- **Garantir backups:** É fundamental, garantir que existem *backups* de todos os *softwares* em operação. Em caso de ataque, uma das resoluções habituais, passa por colocar o último *backup* existente antes do ataque. Deste modo, é importante garantir que são efectuados *backups* regularmente e sempre que existam alterações nos equipamentos, de modo que o tempo de resposta seja o menor possível. Os backups devem incluir não só os programas, como também os diferentes parâmetros de processo.
- **Implementação de actualizações:** Além de efectuar o levantamento de todas as versões de *firmware*, é importante verificar regularmente com os respectivos fabricantes se existem novas vulnerabilidades identificadas. Preventivamente devem ser efectuados *upgrades*, sempre que possível.
- **Isolamento de equipamentos:** Caso sejam identificadas vulnerabilidades em equipamentos ou sistemas, onde não seja possível efectuar acções de mitigação de riscos, os mesmo devem ser desconectados da infraestrutura e isolados da rede, de modo a impedir acessos externos que possam explorar essas vulnerabilidades.
- **Infraestruturas dedicadas:** Sempre que possível, deve ser criada uma separação física, entre a infraestrutura de IT e a infraestrutura industrial. Uma vez que a maioria dos ataques tem início em sistemas de IT, a separação física das infraestruturas, oferece a possibilidade de segregar e desconectar ambas, em caso de ataque.
- **Restringir a conectividade remota:** Deve-se manter o controlo de todos os acessos existentes á infraestrutura e sistemas industriais, através da utilização de equipamentos de monitorização e controlo de rede. Ligações remotas baseadas em 3G/4G ou ADSL, devem ser evitadas, uma vez que não oferecem controlo de acessos. Além disso, a utilização de routers fornecidos pelos fornecedores de máquinas, deve ser restringido apenas a situações extraordinárias, sendo que, todas as ligações remotas devem utilizar as mesmas arquitecturas implementadas para os restantes sistemas informáticos (p.ex: VPN)
- **Gestão de acesso de terceiros:** Uma vez que, em praticamente todas as indústrias, existe sempre a necessidade de intervenções locais por parte de fornecedores, é importante garantir que o risco de implantação de *malware*, de forma propositada ou acidental, é mitigado. De forma a garantir isso, os equipamentos informáticos, utilizados pelos fornecedores, para realizar as intervenções (p.ex: computadores de programação), devem ser verificados e validados à entrada das instalações.
- **Sensibilização para a ciber-segurança:** Um dos principais riscos para a segurança das instalações, são os seus próprios colaboradores, uma vez que, muitos criminosos utilizam e-mails ou esquemas para enganar as pessoas, de modo que as mesmas, levem a cabo os seus ataques. Para diminuir este risco, devem ser realizadas formações regulares, acerca do tema, com o objectivo de informar as equipas acerca dos ataques mais comuns e como proceder, para impedir que aconteçam.

- **Gestão de Incidentes:** Por último, é importante que sejam criados e definidos procedimentos a serem seguidos em caso de ataque, de modo a garantir que existe o menor impacto possível. Além da criação destes procedimentos, é importante garantir a implementação de simulacros, de modo a treinar todas as equipas.

De acordo com os pontos apresentados, é importante salientar a segregação da rede, visto ser um dos factores mais importantes para garantir a segurança das instalações industriais. Adicionalmente, ao separar a rede industrial da rede de IT, elimina-se o risco de propagação do ataque ao ser possível colocar toda a instalação em ilha, garantindo a continuidade da produção na maioria dos casos.

3.2.3 Tratamento e Análise de Dados

Os dados e a informação que representam, são a base da gestão 4.0, uma vez que são utilizados em quase todas as tecnologias e soluções. No entanto, os dados provenientes do campo, são muitas vezes complexos e não relacionados tornando-os por si só pouco úteis. Assim, o modelo estrutural apresentado é ligado no topo pelo tratamento e análise de dados, sendo que a gestão 4.0 necessita desta etapa de modo a assegurar que todos os dados recolhidos são utilizados de forma óptima.

A partilha e interoperabilidade da informação entre sistemas e equipamentos, é fulcral para garantir a visibilidade, transparência e flexibilidade, sendo essencial garantir a veracidade e precisão dos dados existentes. Deste modo, o modelo estrutural apresentado baseia-se no ciclo apresentado na Figura 18, que representa o modo como os dados são utilizados e melhorados ao longo do tempo, alinhados com a arquitectura RAMI4.0 apresentada anteriormente.

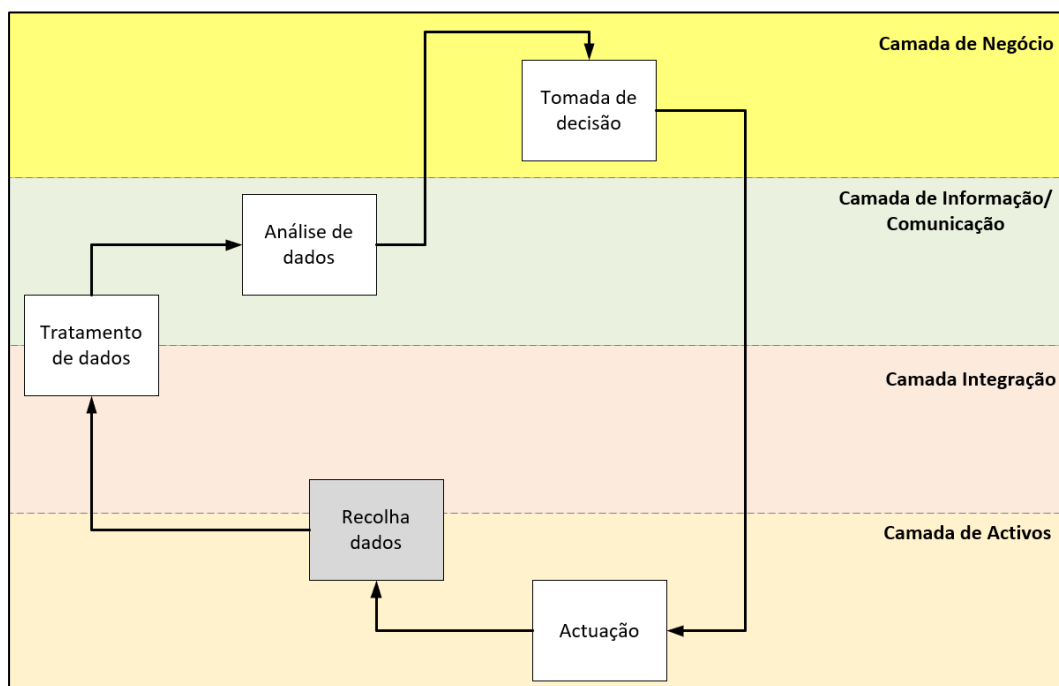


Figura 18 - Alinhamento da arquitectura RAMI4.0 com o ciclo de utilização de dados.

Conforme demonstrado no ciclo anterior, a utilização dos dados inicia-se pela sua recolha. Na fase de tratamento de dados, são criadas diversas relações entre os mesmos de modo a construir diagramas e modelos, que permitam relacionar a informação recolhida entre diversos equipamentos. As relações podem ser com base em diversas características comuns, como data, hora, máquina, local, etc. Após serem organizados e relacionados através de modelos relacionais, os mesmos podem ser analisados de duas formas: automaticamente ou manualmente. A segunda, é efectuada com base na análise das equipas responsáveis que utilizam representações gráficas para tentar perceber tendências e identificar problemas e possíveis soluções para apoio à tomada de decisão e respectiva actuação. Por outro lado, a análise automática é realizada através da utilização de algoritmos de aprendizagem automática, que têm a capacidade de identificar tendências e desvios e actuar sobre os mesmos. A análise automática tem a vantagem de conseguir integrar grandes volumes de dados e efectuar análises a grandes velocidades, podendo alcançar resultados que de outra forma seriam impossíveis. No entanto, podem dificultar a resolução de problemas ou até criar novos, caso os algoritmos não sejam corretamente parametrizados ou exista uma grande variabilidade nos dados. O ciclo fecha-se com a nova recolha de dados, sendo esta necessária para validar se a análise e tomada de decisão anterior surtiu o efeito esperado, alimentando assim o sistema de forma retroactiva.

De forma alusiva ao ciclo demonstrado considere-se como exemplo um processo de fabricação de bebidas. O processo inicia-se com o doseamento de matérias-primas, onde o PLC utiliza diversos sensores para determinar a quantidade exacta de cada composto (recolha). De seguida estes dados são enviados, através da rede, para sistemas de aquisição de dados onde são comparados com a receita escolhida, que por sua vez envia feedback para o PLC para parar a alimentação da matéria-prima, quando a mesma alcança o valor pretendido. A informação é descriptada e estruturada de modo a ser possível relacioná-la e apresentá-la de forma perceptível, aos operadores (tratamento). Com base na informação apresentada, os utilizadores podem analisá-la e relacioná-la com outros factores como temperatura ou pressão (análise), de modo a identificar possíveis padrões ou desvios. Através da análise efectuada, é possível tomar decisões informadas, com o objectivo de eliminar falhas e adaptar o processo às variáveis existentes (tomada de decisão). Finalmente o operador pode actuar sobre o processo de modo a manter o mesmo sob controlo, ao alterar as diferentes variáveis seleccionadas (actuação).

Em casos onde sejam utilizadas análises automáticas, o sistema está constantemente a actuar e recolher informação do processo com o objectivo de aprender autonomamente o impacto que as acções tomadas têm no resultado final, permitindo deste modo, prever desvios e falhas e actuar preventivamente antes que os mesmos ocorram.

Assim, o modelo estrutural termina com a ilustração da gestão 4.0 numa nuvem, ao contrário do telhado habitual, de forma a simbolizar a *cloud* e o mundo digital em que se baseia todo o conceito.

No capítulo seguinte, será apresentado um caso de estudo implementado numa indústria de bebidas, que se baseou no modelo estrutural apresentado e pretende demonstrar de forma prática como as tecnologias, ferramentas e métodos apresentados anteriormente podem

beneficiar e melhorar significativamente não só os processos produtivos, como também as equipas de gestão e operação.

4.Caso de Estudo: Digitalização de uma linha de enchimento

4.1 Introdução

Ao longo dos capítulos anteriores, foram apresentadas diversas aplicações que estão a mudar a forma de operar das empresas. As soluções em que se baseia a indústria 4.0, estão a ser implementadas em diversas fábricas e ao longo dos próximos anos, irão expandir-se significativamente por todo o tipo de indústria, tornando-se decisivas para a continuidade dos negócios.

Neste capítulo, será apresentado um caso real na indústria alimentar, onde está a ser desenvolvido um sistema baseado nos PLCs existentes e que utiliza algumas das tecnologias e funcionalidades apresentadas anteriormente, com o objectivo de apoiar as equipas de produção e gestão na melhoria dos seus processos, contribuindo para a redução de avarias, aumento de eficiência e maior controlo de qualidade. A implementação do projecto está alinhada com o modelo estrutural apresentado no capítulo 3, de modo a exemplificar a aplicação do mesmo em ambiente produtivo.

O sistema está a ser implementado na fábrica de produção de cerveja, da empresa Sociedade Central de Cervejas, sendo que, ao longo dos anos a empresa tem demonstrado um grande interesse na utilização de tecnologias que promovem a digitalização e visam a facilitar e otimizar as suas operações, com o objectivo de alcançar, não só vantagens competitivas, como também garantir a evolução de todo o negócio.

4.2 Caracterização da empresa

A Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, é uma empresa que fabrica, produz e distribui cerveja, sendo a única cervejeira nacional, que produz o seu próprio malte a partir de cevada.

A fábrica de cerveja da SCC, está situada em Vialonga e é responsável por todo o processo de produção, embalamento e distribuição de cerveja. Deste modo, a fábrica recebe todas as matérias-primas necessárias para produção de cerveja (cevada, água, lúpulo e levedura), transformando-as no produto final (cerveja), sendo esta colocada em garrafas, latas ou barris e embalada para ser distribuída por todo o mundo. De seguida, segue um curto resumo da história da empresa:

- A Sociedade Central de Cervejas, nasceu em 1934, fruto da associação de 4 empresas: a Companhia Produtora de Malte e Cerveja Portugália, a Companhia de Cervejas Estrela, a Companhia da Fábrica de Cerveja Jansen e a Companhia de Cervejas Coimbra.
- Em 1940 estreia a marca SAGRES no mercado, sendo actualmente a marca mais reconhecida e vendida do grupo SCC.

- Em 1968, inicia-se a produção na fábrica de Vialonga, com capacidade de produzir 110 milhões de litros de cerveja.
- Em 1970 a SCC adquire 52,5% do capital da Sociedade da Água do Luso, inicializando a comercialização dos seus produtos.
- Em Abril de 2007, a HEINEKEN (empresa holandesa, especializada na produção de cerveja), assume o controlo da SCC.
- Por fim, em 2019 a SCC adquire a Mineraqua Portugal, que detém a concessão e a marca Água Castello.

A cervejeira de Vialonga é a única cervejeira a nível nacional que produz o próprio malte a partir de cevada, sendo de seguida utilizado como matéria-prima para a fabricação do seu produto final: a cerveja. Na Figura 19, é possível visualizar as diferentes etapas existentes no processo de fabricação de malte, desde a entrada da matéria-prima (cevada) até à armazenagem do malte, para ser utilizado na produção final.

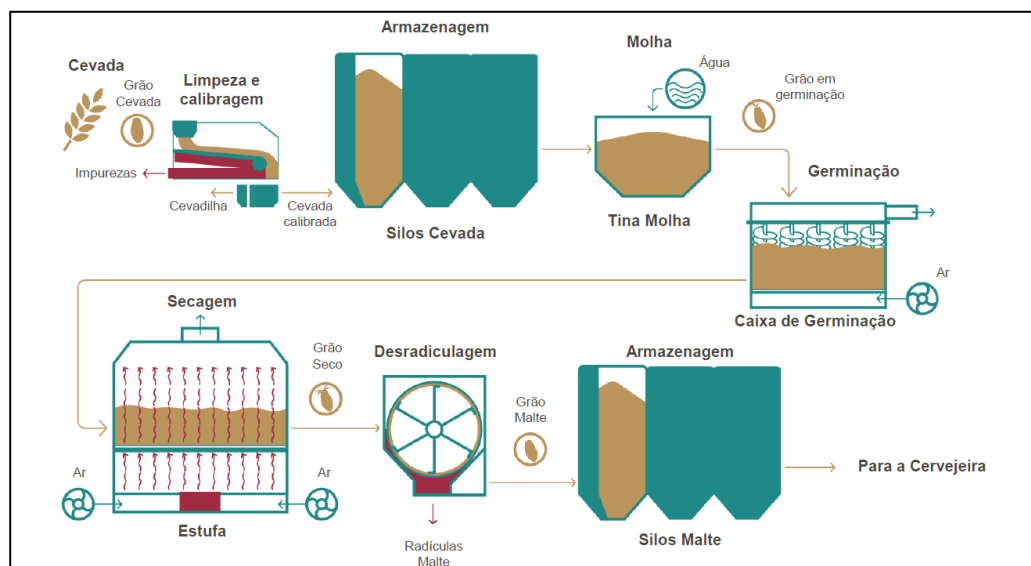


Figura 19 - Processo de produção de malte.

Após o processo de produção de malte, segue-se a fabricação de cerveja. Conforme ilustrado na Figura 20, a fabricação inicia-se com a recepção dos maltes e cereais. Sendo o processo de fabrico extramente complexo, existe uma monitorização constante de todas as variáveis de modo a garantir o controlo de qualidade do mesmo. Devido a este controlo apertado, a etapa de fabricação é consideravelmente estável, sendo rara a ocorrência de problemas. A última etapa da fabricação é a filtração da cerveja, sendo que após a mesma, a cerveja é enviada para a etapa final, o enchimento.

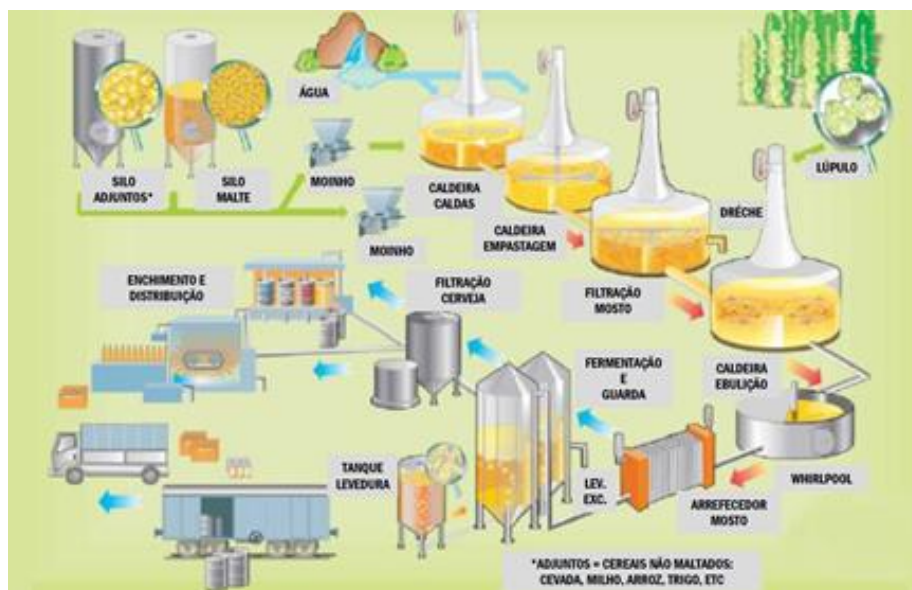


Figura 20 - Processo de produção de cerveja.

Dependendo do produto final (garrafa, barril ou lata), as máquinas existentes numa linha de enchimento diferem entre si. Além disso, mesmo entre as linhas de enchimento de garrafas, existem topologias diferentes entre as linhas retornáveis e não retornáveis, uma vez que, as linhas retornáveis necessitam de máquinas que efectuem a escolha e lavagem das garrafas, provenientes dos diversos estabelecimentos.

Actualmente a cervejeira de Vialonga é composta por 8 linhas de enchimento, estando divididas da seguinte forma: 3 linhas de garrafas não retornáveis, 3 linhas de garrafas retornáveis, 1 linha de latas e 1 linha de barris.

4.3 Contextualização do caso de estudo a implementar

O caso de estudo a implementar tem como objectivo desenvolver um sistema de aquisição de dados provenientes das máquinas existentes na linha escolhida, de modo a apoiar as equipas de gestão, produção e manutenção na melhoria de eficiência, identificação de problemas e resolução de avarias.

Uma vez que a implementação do sistema nas 8 linhas de enchimento seria extremamente complexa, optou-se por efectuar uma implementação piloto apenas numa linha. Além de diminuir o risco associado à falha do projecto, permite entender de forma prática quais os benefícios e desafios associados a um sistema desta natureza. Um dos factores importantes para a escolha da linha foi a sua conectividade, tendo-se optado pela linha tecnologicamente mais avançada, de modo a diminuir o investimento inicial.

A linha seleccionada é uma linha não retornável, denominada por linha R. A linha é constituída pelas seguintes máquinas:

- **Despaletizadora:** Máquina inicial da linha de enchimento, responsável por retirar as garrafas vazias da paleta. Esta máquina funciona por ciclos, sendo que a cada ciclo remove uma fiada de garrafas.
- **Enchedora:** Máquina principal, visto ser responsável por definir a cadência da linha. A enchedora é responsável por encher as garrafas com o produto escolhido.
- **Pasteurizador:** Responsável por garantir a segurança alimentar do produto e por aumentar a longevidade do mesmo, sendo essencial garantir um controlo apertado sobre os parâmetros da máquina.
- **Rotuladora:** Máquina responsável por colocar o rótulo na garrafa, de acordo com o produto definido.
- **Embaladora de Caixas:** Responsável por colocar as garrafas em caixas, sendo que a quantidade de garrafas por caixa difere de acordo com o programa escolhido.
- **Paletizadora:** Responsável por colocar as caixas na paleta, de acordo com o número de fiadas definido no programa escolhido.
- **Envolvedora:** Máquina final da linha, sendo responsável por envolver as paletes com produto, de modo a garantir que as mesmas são seguras para serem manipuladas e armazenadas.
- **Transportadores:** Maior máquina da linha, uma vez que são responsáveis por garantir o transporte das garrafas, caixas e paletes entre as diferentes máquinas.
- **Inspectores:** Existem dois inspectores (saída da enchedora e saída da rotuladora) na linha que garantem a conformidade do produto ao verificar o nível de produto na garrafa, colocação de carga e colocação de rótulo.

Um dos objectivos é garantir a recolha de dados de todos os equipamentos listados anteriormente, de modo que seja possível usar os mesmos como base de apoio às equipas mencionadas. Além disso, pretende-se relacionar os dados provenientes de diferentes máquinas, de modo a obter informações pertinentes para apoiar a tomada de decisão.

Dado não existir nenhum sistema semelhante em funcionamento, não é possível quantificar (no tempo de implementação do caso de estudo) quais os possíveis ganhos com a implementação do mesmo, sendo que, é previsto existirem ganhos tanto ao nível da eficiência da linha como de redução de avarias.

4.3.1 Análise do método de trabalho anterior à implementação do sistema

O sistema a desenvolver, irá estar conectado a todas as máquinas da linha, sendo que será possível recolher informação pertinente a diferentes áreas. De forma a obter uma base de comparação, serão apresentados os métodos e procedimentos existentes para as áreas que efectuem trabalhos diariamente na linha.

Produção

A área da produção, é constituída por todos os operadores que operam as diferentes máquinas da linha, assim como os gestores responsáveis por planear e liderar as diferentes

equipas. Habitualmente a linha trabalha a 3 turnos tendo cada um deles uma equipa de pessoas que assegura o seu funcionamento.

O sistema que gere actualmente a produção é o SAP (*System Applications and Products in data processing*) ERP (*Enterprise Resource Planning*). Através deste sistema, as equipas recebem uma ordem de produção que contém informação acerca do formato a produzir, da quantidade e da cadência nominal a que a enchedora deve funcionar para o formato escolhido.

Após iniciarem a produção, as equipas necessitam de registar a cada turno as seguintes variáveis:

- Quantidade inicial de garrafas
- Quantidade final de garrafas
- Quantidade garrafas rejeitadas
- Tempos de avaria
- Tempos de descontáveis: Falta de ar, falta de vapor, falta de cerveja, etc.

Após registo destas variáveis, o sistema SAP determina o OPI (*Overall Performance Indicator*) da linha e desenvolve relatórios com informação detalhada, que por sua vez são utilizados pelas equipas de gestão, para determinar a eficiência da linha. Além disso, são ainda calculados KPIs como a percentagem perda de eficiência, tempos de mudança, percentagem de paragens não planeadas, percentagem de rejeições, entre outros.

Manutenção

Ao longo da produção podem ocorrer avarias nos diferentes equipamentos da linha, sendo as equipas de manutenção solicitadas sempre que necessário.

As avarias dividem-se em mecânicas ou eléctricas, dependendo da sua causa, existindo equipas distintas para a resolução de cada um dos problemas. Durante uma avaria, o operador comunica a ocorrência ao técnico de manutenção, que por sua vez se dirige ao local para resolver a mesma. Após resolução da avaria, o operador regista o tempo da avaria em SAP e o técnico de manutenção cria uma nota de avaria, que inclui as seguintes informações.

- Hora de início da avaria
- Hora de fim da avaria
- Equipamento afectado
- Problema detectado
- Causa raiz provável da avaria

Com base nessa informação, o SAP calcula KPIs como MTBF e percentagens de avaria, que posteriormente são utilizados pelas equipas de gestão da manutenção para determinar prioridades e definir planos de acção.

Caso a avaria seja recorrente ou a resolução implementada seja temporária, os técnicos são ainda responsáveis por elaborar uma RCFA (*Root Cause Failure Analysis*). O desenvolvimento de RCFAs tem como objectivos descrever o problema, a reparação efectuada, identificar o modo de falha e definir acções preventivas para que o mesmo não volte a ocorrer. Dependendo da complexidade do problema, as RCFAs podem ser efectuadas por um ou mais técnicos de manutenção e incluir operadores para apoiar, na definição de acções preventivas.

Qualidade

Durante o enchimento, as equipas retiram amostras periódicas do produto ao longo das diferentes fases do processo, com o objectivo de controlar a quantidade do mesmo.

A primeira garrafa de cada lote é recolhida e analisada em laboratório, de modo a garantir que o mesmo se encontra dentro das especificações definidas. Além disso, existem recolhas periódicas ao longo do enchimento, ou sempre que existem suspeitas de desvios. São ainda realizadas verificações a caixas de produto, de forma a garantir que se encontram conforme e contêm a quantidade de garrafas suposta.

Por último são ainda realizadas validações periódicas a equipamentos específicos, responsáveis por assegurar a qualidade do produto, sendo estes:

- **Enchedora:** A presença de CO₂ no produto origina um aumento de pressão dentro da garrafa, existindo o risco de explosão da mesma. Caso ocorra, a máquina tem um sistema designado por *burst bottle*, que efectua a limpeza do bico de enchimento onde ocorreu a explosão e dos bicos envolventes, de modo a garantir que não existe a possibilidade de entrada de partículas de vidro, no produto final. De forma a assegurar o correcto funcionamento deste sistema, são efectuadas simulações periódicas ao longo do enchimento.
- **Pasteurizador:** A pasteurização é realizada através de um túnel de pasteurização, que eleva a temperatura das garrafas durante um tempo definido, de modo a assegurar a pasteurização da cerveja. Para garantir que a pasteurização está a ser eficaz, as equipas inserem periodicamente um *logger*, que acompanha todo o processo de pasteurização e efectua o registo da temperatura e tempo, sendo estes parâmetros analisados posteriormente, para garantir que o processo se encontra de acordo com a especificação.
- **Inspectores:** De forma a garantir que os inspectores efectuem as rejeições correctamente, são efectuados testes de rejeição periódicos, através da utilização de garrafas que simulam diferentes defeitos, assegurando deste modo a eficácia dos equipamentos.

Os diferentes métodos existentes para as três áreas, apresentados anteriormente, são baseados em tarefas manuais e apresentam limitações e desvantagens, nomeadamente:

- **Falta de precisão e incoerência dos dados:** os tempos são baseados em registos manuais, sendo que se torna quase impossível saber exactamente quanto tempo a máquina esteve parada devido a uma avaria, ou quantas pequenas paragens ocorreram durante a produção de um determinado produto, o que por sua vez dificulta a análise e descoberta de problemas.
- **Limitações de informação:** Em caso de avaria, o modo de falha é registado de forma manual, o que pode resultar em diferentes modos de falha para o mesmo problema. Além disso, a utilização de informação presente nos alarmes das máquinas apenas é possível caso exista uma recolha manual dos mesmos.
- **Limitações de acesso a históricos:** A informação sobre diversas variáveis do processo está localizada nas máquinas, sendo necessárias consultas manuais através dos respectivos HMIs. Por outro lado, a quantidade de informação guardada é reduzida, devido às limitações físicas de memória existentes nos equipamentos.
- **Dificuldade na optimização da linha:** A falta de possibilidade de análise em tempo real, dificulta os trabalhos de melhoria na linha. Actualmente as equipas de optimização, baseiam-se em amostragens periódicas de 1h, para tentar detectar os diferentes *bottlenecks*, de modo a intervir nos mesmos. Este tipo de análise é bastante incompleto para uma linha, visto que se trata de um processo muito dinâmico e em constante variação. Além disso, em caso de avaria torna-se difícil perceber qual o estado das diferentes variáveis do processo; antes e durante a avaria, dificultando a identificação da causa raiz.

A implementação do sistema, pretende apoiar na resolução das limitações existentes e providenciar às equipas de gestão, toda a informação necessária para apoiar as suas iniciativas e trabalhos diários.

4.3.2 Arquitectura do sistema a implementar

O sistema a implementar necessita de recolher dados das diferentes máquinas existentes na linha, de modo que seja possível relacionar os mesmos e obter uma visão global sobre todo o processo, desde a entrada de garrafas à saída de paletes.

O primeiro passo de desenvolvimento do sistema, é a definição da arquitectura a implementar. A arquitectura escolhida tem por base a RAMI 4.0, sendo que neste caso o PLC desempenha um papel importante tanto na camada de activos, como na camada de integração. Na Figura 21, está representada a arquitectura utilizada associada às respectivas camadas da RAMI 4.0.

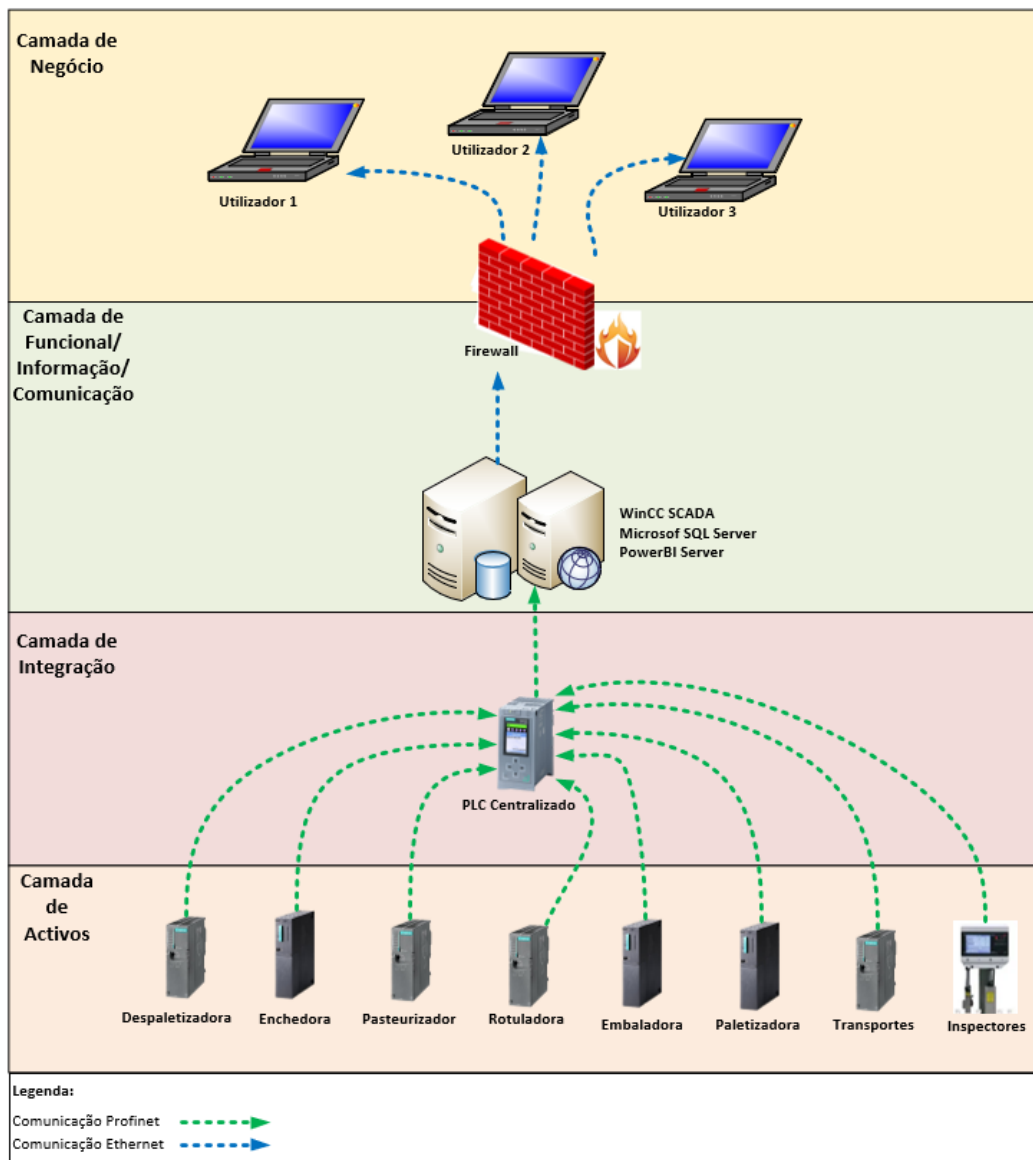


Figura 21 - Arquitectura caso estudo implementado tendo por base a RAMI 4.0.

Conforme apresentado na arquitectura anterior, os PLCs das máquinas estão conectados através da rede profinet, a um único PLC denominado por centralizado.

O PLC centralizado tem uma capacidade de processamento elevada e é responsável, não só por recolher a informação de cada máquina, como também por efectuar o primeiro tratamento e organização de dados, antes dos mesmos serem colocados no sistema de aquisição.

Optou-se por utilizar um PLC centralizado, em vez de conectar o SCADA directamente aos PLCs das máquinas, por duas razões:

1. **Robustez e flexibilidade:** Dado que toda a seleção e tratamento primário de dados é realizado no PLC centralizado, a única alteração nos PLCs das máquinas é a criação de uma DB (*Data Base*) que reúna toda a informação pertinente. Assim, é possível garantir apenas uma alteração no *software* da máquina, reduzindo

significativamente o risco de avaria ou falha. Por outro lado, visto que os algoritmos de tratamento de dados são desenvolvidos no PLC centralizado, não é necessário alterar o software das máquinas sempre que existe necessidade de melhorar os algoritmos, sendo possível efectuar alterações com a linha em produção.

2. **Aumentar a cibersegurança:** O PLC centralizado está localizado numa VLAN (*Virtual Local Area Network*) distinta dos PLCs das máquinas, o que permite criar uma barreira virtual e limitar a exposição das máquinas a ameaças externas. Deste modo, caso ocorra um ataque informático ao SCADA ou ao PLC centralizado, apenas irá afectar a recolha de dados, reduzindo significativamente a possibilidade de o mesmo se alastrar às máquinas e conseqüentemente causar um impacto na linha e no negócio.

A camada seguinte da arquitectura contém um sistema SCADA da Siemens denominado por WinCC, o *software* Microsoft SQL utilizados para gestão de base de dados e um *software* de BI da Microsoft denominado por Microsoft PowerBI. Por sua vez, todos os *softwares* encontram-se alojados num servidor virtual.

A camada final é composta por uma interface visual, onde os utilizadores podem consultar relatórios e informação tratada, proveniente dos dados recolhidos. Uma vez que a camada de negócio representa o acesso dos utilizadores às informações, é necessário a existência de uma firewall entre a mesma e a camada anterior, de modo a assegurar a segurança de toda a rede industrial.

De seguida, será apresentado em detalhe quais os componentes e *softwares* utilizados, para a implementação da arquitectura referida.

4.3.2.1 Componentes utilizados

PLC centralizado

Devido à elevada necessidade de conexões e capacidade de processamento, foi seleccionado o PLC da família Siemens S7-1500. Na Tabela 4, é possível verificar as características do PLC seleccionado.

Tabela 4 - Características PLC centralizado.

Geral	
Marca	Siemens
Designação	CPU 1515-2 PN
Referência	6ES7515-2AM02-0AB0
Alimentação	
Tensão	24VDC
Corrente Nominal	0.8A
Corrente Máxima	1.1A
Características CPU	

Tempo Processamento p/bit	30ns
Tempo Processamento p/word	36ns
Numero total de elementos	8000 blocos
Interfaces	
Portas Comunicação	2x RJ45 (Ethernet) – 100Mbps
Entradas	n/a
Saídas	n/a
Protocolo de Comunicação	
Protocolo IP	Sim – IPv4
Profinet IO – Controlador	Sim
Profinet IO – Equipamento	Sim
Protocolo S7 Communication	Sim

Dado que todos os dados serão recolhidos através de protocolos de comunicação, não existe a necessidade de adicionar cartas de entradas e saídas ao PLC.

Servidor virtual

Todos os *softwares* utilizados no sistema a implementar, necessitam de um sistema operativo onde possam ser instalados, e que tenha as características necessárias para suportar as suas necessidades específicas. De modo a garantir, não só a robustez do sistema, como também a sua flexibilidade, optou-se pela utilização de um servidor virtual, com as características apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do servidor virtual.

CPU	Multicore 3,5Ghz ou mais
RAM	16Gb
Disco	Min. 500Gb
Resolução	Full HD (1920*1080)
Sistema Operativo	Windows Server 2019
Interface	Placa de rede Ethernet

Além de alojar todas as aplicações durante o funcionamento normal do sistema, o servidor é utilizado pela equipa de desenvolvimento, sempre que existe a necessidade de efectuar alterações de *software*.

Equipamentos de rede

A arquitectura apresentada, representa as ligações lógicas necessárias para o funcionamento do sistema. No entanto, isso apenas é possível devido à existência de uma infraestrutura de rede física que garante a conexão e o fluxo de comunicação entre os diversos componentes, sendo a mesma constituída pelos seguintes equipamentos:

- **Switch gerível:** Responsável por conectar todos os equipamentos entre si (PLCs, inspectores, servidores, etc) de modo a possibilitar a comunicação entre os mesmo

garantindo o fluxo de comunicações. Para este sistema foram selecionados *switches* com gestão, de modo a assegurar a gestão das diferentes VLAN existentes.

- **Gateway:** Permite interligar equipamentos que estejam localizados em VLANs diferentes. Além disso, a *gateway* utilizada permite ainda registar fluxos de comunicação e habilitar e desabilitar portas de comunicação, de acordo com a necessidade.
- **Firewall:** Por fim, a *firewall* existente na arquitectura apresentada serve de “barreira” entre a rede industrial e a rede de IT, uma vez que aplica políticas de segurança que asseguram a passagem apenas dos protocolos necessários.

Nota: A definição concreta dos equipamentos de rede não foi realizada, de modo a proteger a segurança da instalação.

4.3.2.2 Software utilizado

Siemens SIMATIC STEP 7

O *software* Simatic Step 7 é um dos mais utilizados na indústria, uma vez que permite programar uma grande variedade de PLCs da marca. Neste sistema, o *software* foi utilizado para efectuar pequenas alterações nos *softwares* das máquinas da linha. Na Figura 22, está representado um exemplo do ambiente de programação do Step7.

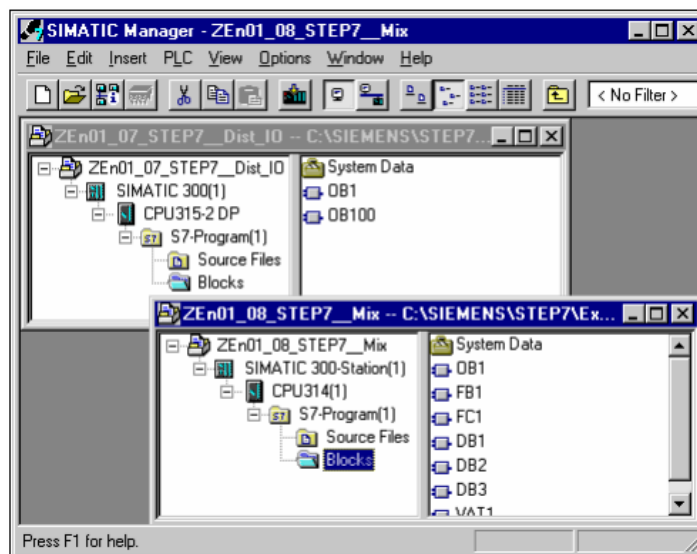


Figura 22 - Ambiente de desenvolvimento do software Simatic Step7.

Siemens TIA PORTAL V16

O *software* Siemens Tia Portal, é utilizado para efectuar a programação das últimas séries de PLCs desenvolvidos pela marca. Apesar de ser possível efectuar a programação das séries anteriores, o Tia Portal está optimizado para a programação dos PLCs da família

Simatic S7-1200 e Simatic S7-1500. Uma vez que o PLC centralizado é um S7-1500, foi utilizado o Tia Portal para desenvolver a respectiva programação.

Contrariamente ao Simatic Step7, o Tia Portal incorpora num só *software*, o ambiente de desenvolvimento para PLCs e HMI, facilitando a integração entre os diversos sinais. Além disso, integra linguagens de alto nível, cada vez mais utilizadas na indústria e permite ainda configurar funcionalidades relacionadas com a cibersegurança. Na Figura 23, está representado o ambiente de desenvolvimento do Tia Portal, sendo este mais interactivo e intuitivo, de modo a melhorar a experiência do utilizador.

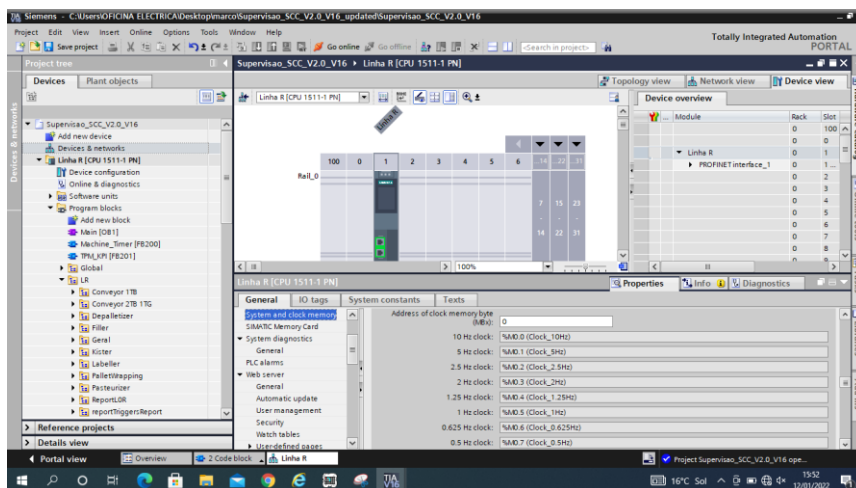


Figura 23 - Ambiente de desenvolvimento do Tia Portal V16.

Siemens WinCC V7.5 + Webnavigator

O WinCC V7.5 é um dos SCADAs mais utilizados na indústria, para monitorizar e controlar processos e instalações. O WinCC foi apresentado pela primeira vez em 1996, tendo vindo a ser desenvolvido e melhorado ao longo dos anos.

Apesar de ser possível utilizar o SCADA integrado no Tia Portal V16, optou-se por efectuar todo o desenvolvimento com recurso ao WinCC V7.5, visto que neste caso o projecto do SCADA fica segregado do projecto do PLC.

Devido à grande diversidade de componentes, toda a interface visual de dados em tempo real foi realizada com recurso ao WinCC. Além disso, foram ainda utilizadas as funcionalidades de *script*, para o desenvolvimento de funções específicas.

Finalmente, de modo que exista uma separação entre o utilizador e o ambiente de desenvolvimento, foi utilizada a aplicação Webnavigator, sendo que a mesma necessita de ser instalada no computador do utilizador e funciona como um cliente, que permite acesso ao ambiente de *runtime* da aplicação.

Microsoft SQL Server

O Microsoft SQL Server é um sistema de gestão de bases de dados desenvolvido pela Sybase em parceria com a Microsoft, sendo utilizado por uma grande variedade de

aplicações utiliza este *software* para gestão das respectivas bases de dados (inclusive o WinCC V7.5).

O Microsoft SQL utiliza a linguagem de programação SQL (*Structured Query Language*), onde o acesso á informação presente nas bases de dados é efectuada através de pedidos (*queries*), de acordo com a necessidade.

Apesar de a base de dados do WinCC V7.5 ser efectuada com recurso ao Microsoft SQL Server, o acesso aos dados é complexo, uma vez que o sistema compacta as bases de dados de modo a optimizar o tamanho das mesmas. Deste modo, para o sistema a desenvolver foram criadas bases de dados independentes, com o objectivo de assegurar a correcta estruturação das respectivas tabelas.

Microsoft PowerBI

O Microsoft PowerBI, é um *software* de desenvolvimento de *dashboards* com foco em BI. Com recurso ao PowerBI é possível recolher e tratar dados de forma intuitiva e apresentar os mesmos em *dashboards* interativos e simples, para apoiar as equipas de gestão no acompanhamento de diversas variáveis.

Devido à sua versatilidade, o PowerBI oferece diferentes ferramentas úteis às equipas de gestão, como gráficos de tendências, gráficos de Pareto ou gráficos de sectores. Outra característica importante neste *software*, é a sua capacidade de integrar filtros nos *dashboards* de modo a possibilitar análises customizadas a cada utilizador.

Sendo o PowerBI uma ferramenta da *reporting*, a sua utilização no caso de estudo teve por base o desenvolvimento de *dashboards* para acompanhamento de diferentes KPIs, essenciais às equipas de gestão.

4.4 Desenvolvimento e implementação do caso de estudo

Após se definir a arquitectura do sistema a implementar, é necessário desenvolver um planeamento que inclua as diferentes etapas do projecto, de modo que possa existir um seguimento das diferentes tarefas ao longo da implementação.

Na Figura 24, está representado o planeamento desenvolvido com recurso a um diagrama de Gantt, estando o projecto dividido em 5 etapas principais: arranque do projecto, infraestrutura e aquisição de dados, implementação e desenvolvimento dos casos de estudo, tratamento de dados e reports e treino e operação.

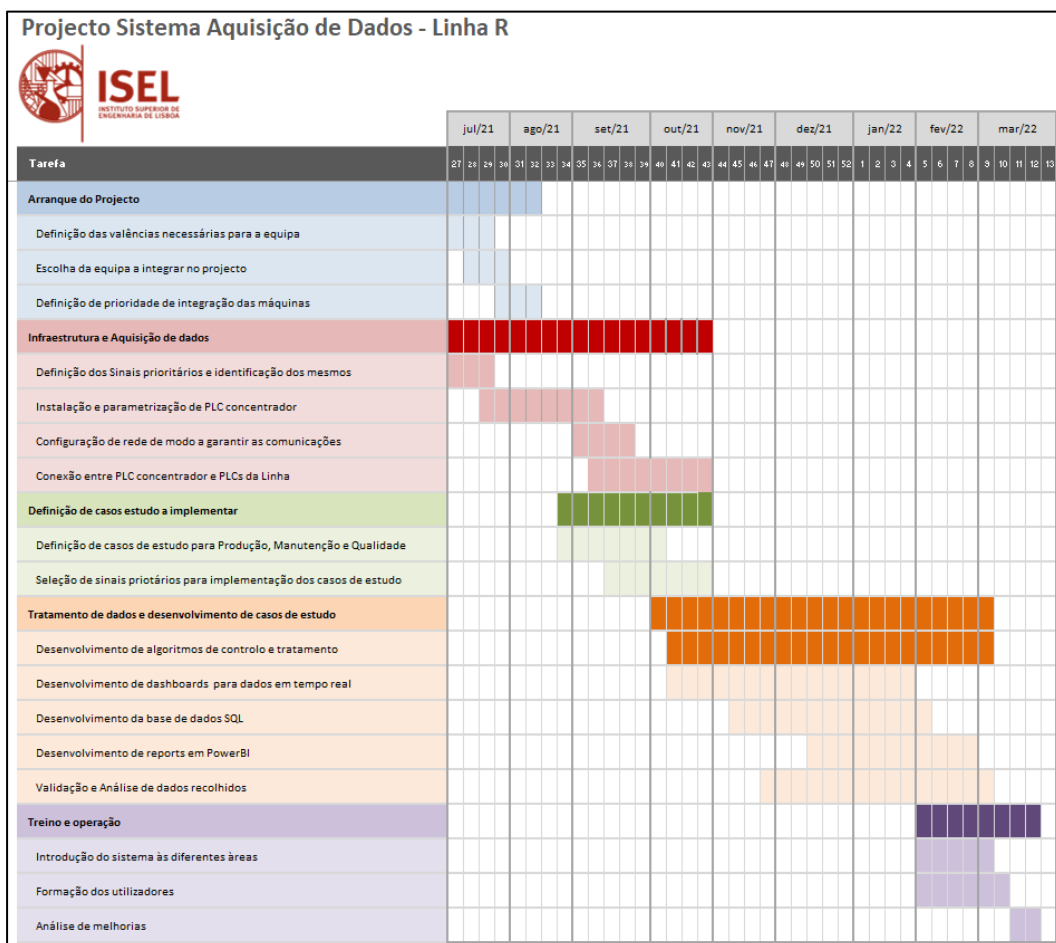


Figura 24 - Diagrama de Gantt do caso de estudo implementado.

De forma a garantir que a implementação do caso de estudo tinha por base o modelo estrutural apresentado no capítulo anterior, procurou-se que as diferentes etapas estivessem alinhadas com os diferentes componentes do modelo, sendo estas apresentadas em detalhe, de seguida.

4.4.1 Etapa 1: Arranque do projecto

A primeira etapa do projecto, é caracterizada pela definição das bases de implementação do mesmo. Assim, devido à complexidade e transversalidade do caso de estudo, a primeira tarefa foi a definição das valências necessárias para a criação da equipa de projecto. Deste modo, foram definidas as seguintes funções:

- **Responsável de projecto:** Coordenador principal de todo o projecto, sendo responsável por garantir que as tarefas estão a ser efectuadas de acordo com o planeado e por assegurar a comunicação entre os diferentes elementos da equipa. É ainda responsável por decidir se uma determinada etapa está concluída e se estão reunidas as condições para avançar para a próxima.
- **Equipa de desenvolvimento de software:** Responsáveis por todas as tarefas relacionadas com o desenvolvimento e implementação de software, tanto ao nível dos PLCs como do WinCC e PowerBI.

- **Responsável pela validação de dados:** Elemento que garante a veracidade dos dados recolhidos, face ao ambiente de produção. Deve validar os diferentes dados existentes no sistema e supervisionar as alterações necessárias, de modo a garantir a fiabilidade do sistema.
- **Responsável (operação) pela utilização da ferramenta:** Garante a correcta utilização e implementação do sistema, junto das equipas de operação. É ainda responsável por recolher *feedback* por parte dos operadores, relativamente a possíveis correções ou melhorias
- **Responsável (equipa gestão) pela utilização da ferramenta:** Elemento que garante correcta utilização do sistema por parte das equipas de gestão e assegura a sua implementação, nas reuniões diárias e no apoio á tomada de decisão.

Após se definirem as competências necessárias, foram seleccionadas as pessoas a integrar a equipa. De modo a seguir a implementação do sistema de acordo com as competências 4.0 apresentadas anteriormente, foram incluídas pessoas de diferentes áreas com o objectivo de aumentar a variedade de conhecimentos e permitir a existência de pontos de vista distintos, durante as diferentes tomadas de decisão. De seguida foram agendadas reuniões com o objetivo de validar o planeamento proposto e definir a prioridade das máquinas, de acordo com a importância dos respectivos dados. Assim, após se analisarem as vantagens e desvantagens, foi criada a seguinte lista de prioridades:

1. Enchedora
2. Pasteurizador
3. Embaladora de caixas
4. Paletizadora
5. Inspectores
6. Despaletizadora
7. Rotuladora
8. Transportes

A enchedora foi a máquina prioritária, uma vez que determina a cadência da linha, estando a linha desenhada para absorver ao máximo as paragens das restantes máquinas, de modo a garantir o mínimo impacto na enchedora. Além disso, a enchedora contém informação essencial, como a quantidade de cerveja enviada para a linha, quantidade de garrafas cheias, tipo de cerveja escolhida e controlo em linha da qualidade do produto.

A segunda máquina escolhida foi o pasteurizador, visto ser fundamental para assegurar a qualidade do produto ao garantir a pasteurização do mesmo. Devido à complexidade inerente ao funcionamento da máquina, existem diversas variáveis importantes que podem ser acompanhadas, de modo a identificar possíveis desvios. Finalmente, o pasteurizador é a máquina com maior consumo energético da linha, sendo crítico garantir o controlo do mesmo.

Por outro lado, os transportes foram seleccionados como a máquina menos importante para o sistema, porque apesar de desempenharem um papel fundamental para a eficiência da linha, ao assegurarem o correcto balanceamento da mesma, os dados existentes nos transportes têm pouco impacto no apoio às equipas.

4.4.2 Etapa 2: Infraestrutura e aquisição de dados

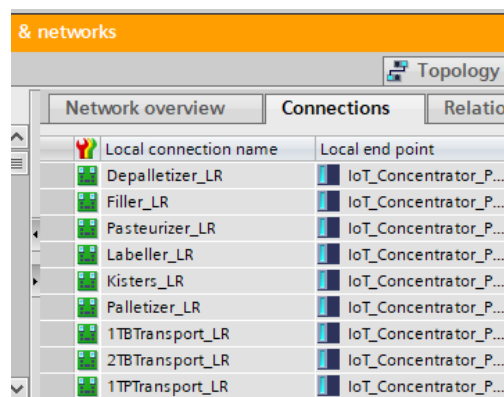
A segunda etapa do planeamento pretende definir toda a infraestrutura base necessária, que garante o correcto funcionamento de todo o sistema, representando a base do modelo estrutural.

Conforme a arquitectura do sistema apresentado anteriormente, é necessário garantir a conexão entre os PLCs das máquinas e o PLC centralizado. Uma vez que toda a recolha de dados é realizada através de protocolos de comunicação, a rede industrial existente, utiliza um anel de fibra que percorre toda a cervejeira, eliminando a necessidade de colocar o PLC centralizado junto dos restantes, podendo este ficar em qualquer local da fábrica. Deste modo, optou-se por colocar o PLC centralizado na sala de controlo central, de modo a facilitar não só o acesso ao mesmo, como garantir um melhor ambiente envolvente.

Após instalar electricamente o PLC, foi necessário configurar todos os parâmetros de rede, de modo a garantir a conectividade do mesmo. Sendo a cibersegurança um dos pilares do modelo estrutural, todo o sistema foi desenvolvido com o objectivo de mitigar possíveis vulnerabilidades. Como primeira ação, optou-se por colocar o PLC centralizado numa VLAN diferente dos restantes PLCs, o que conseqüentemente obriga á existência de configurações na *gateway* industrial, que permitam apenas as comunicações indispensáveis (neste caso porta TCP/102) entre o PLC centralizado e os PLCs da linha. A segunda ação envolveu a criação do servidor virtual, que aloja os *softwares* referidos anteriormente, tendo como garantia a instalação de todas as proteções de segurança necessárias (p.ex: antivírus, actualizações do Windows, etc.).

Uma vez que todo o sistema se encontra isolado na rede industrial, foi necessário efectuar as configurações necessárias na *firewall* de modo a permitir o acesso por parte do utilizador (através do webnavigator e PowerBI).

Com a infraestrutura implementada foi efectuada a programação do PLC centralizado, sendo que as conexões aos PLCs da linha foram realizadas através do protocolo *S7 connection* da Siemens e posteriormente validadas com recurso à funcionalidade online do Tia Portal, conforme a Figura 25.



The screenshot shows the 'Network overview' window in Siemens TIA Portal. It displays a list of connections between a central PLC and various machines on the production line. Each connection is represented by a green square icon, indicating it is online. The connections are as follows:

Local connection name	Local end point
Depalletizer_LR	IoT_Concentrator_P...
Filler_LR	IoT_Concentrator_P...
Pasteurizer_LR	IoT_Concentrator_P...
Labeller_LR	IoT_Concentrator_P...
Kisters_LR	IoT_Concentrator_P...
Palletizer_LR	IoT_Concentrator_P...
1TBTransport_LR	IoT_Concentrator_P...
2TBTransport_LR	IoT_Concentrator_P...
1TPTransport_LR	IoT_Concentrator_P...

Figura 25 - Estado das conexões online do PLC centralizado.

4.4.3 Etapa 3: Definição de casos de estudo a implementar

Sendo o sistema versátil e flexível ao nível do desenvolvimento, é importante definir quais os casos de estudo que poderão ter uma maior contribuição, para apoiar as diferentes equipas. Assim, foram efectuadas diversas reuniões, de modo a analisar e avaliar as diferentes possibilidades e concluir, quais os casos de estudo iniciais que poderiam trazer um maior benefício, tendo sido definidos 3 casos de estudo alinhados com o modelo estrutural apresentado:

- **Balanceamento e eficiência energética de linha (Produção 4.0):** Para as equipas de produção, é fundamental garantir que a linha produz o mais rápido possível, com o menor custo possível. Assim existem duas variáveis que são analisadas constantemente: o balanceamento e o consumo energético da linha. A primeira, assegura que as velocidades das diferentes máquinas estão ajustadas segundo a teoria da curva em “V”, onde a máquina limitante (máquina com a velocidade nominal inferior), determina a cadência da linha e as máquinas a montante e a jusante, operam a velocidades incrementalmente superiores. A segunda variável, minimiza o custo de produção ao assegurar a eficiência energética das máquinas. Devido ao dinamismo da linha, torna-se extremamente complexo perceber se a linha está devidamente balanceada de forma eficiente, uma vez que as análises são efectuadas com base em registos manuais. O primeiro caso de estudo a implementar, pretende desenvolver uma ferramenta que permita analisar o balanceamento da linha em tempo real e registar os diferentes consumos existentes, com base na instrumentação instalada.
- **Análise de avarias (Manutenção 4.0):** Devido á complexidade das diferentes máquinas existentes na linha, é usual ocorrerem avarias ao longo do turno, sendo as mesmas divididas em pequenas paragens e paragens prolongadas. Um dos aspectos importantes para a equipa de manutenção, é entender quais as avarias que estão a ter maior impacto na linha, de modo a priorizar as diferentes reparações/melhorias necessárias. Uma vez que todos os registos de avarias são manuais, existe uma imprecisão considerável nos mesmos, o que dificulta a perceção originando uma definição de prioridades deficiente. Por outro lado, a falta de registos de variáveis de processo dificulta a análise da causa raiz. O segundo caso de estudo, visa a desenvolver uma forma de registar automaticamente os diferentes alarmes nas máquinas, assim como o estado de diferentes componentes, de modo a identificar quais os alarmes mais impactantes e auxiliar no processo de análise de avarias.
- **Controlo de parâmetros de enchimento (Qualidade 4.0):** Durante a fase de enchimento, é essencial garantir o controlo de qualidade do produto. Actualmente, o controlo é assegurado por um conjunto de sensores que efectuam medições em linha e alertam o operador em caso de desvio. No entanto, o sistema existente apenas permite actuar após a ocorrência da falha. Por outro lado, o facto de não guardar históricos, dificulta a análise de problemas. O objectivo do terceiro caso de estudo será desenvolver uma ferramenta que permita guardar históricos de medições, de forma a possibilitar uma análise rápida e directa em caso de desvio.

Para garantir a implementação dos casos de estudo referidos, foi necessário definir quais os sinais necessários a recolher dos PLCs das máquinas. Assim, foram selecionados os sinais apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8. Uma vez que a localização dos dados difere entre cada máquina, é necessário garantir o mapeamento dos respectivos endereços, de forma a facilitar a sua recolha.

Tabela 6 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de balanceamento e eficiência energética.

	Velocidade	Contador Garrafas	Programa	Consumo Vapor	Consumo Água
Despaletizadora	DB412.DBD320	DB523.DBD7	DB885.DBD8	N/A	N/A
Enchedora	DB994.DBD300	DB1802.DBD682	DB232.DBD662	DB834.DBD310	DB834.DBD410
Pasteurizador	DB32.DBD92	N/A	DB73.DBD100	DB745.DBD20	DB745.DBD40
Rotuladora	DB765.DBD12	DB65.DBD32	DB789.DBD60	N/A	N/A
Embaladora de Caixas	DB55.DBD56	DB63.DBD630	DB343.DBD12	N/A	N/A
Paletizadora	N/A	DB10.DBD12	DB891.DBD616	N/A	N/A

Tabela 7 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de análise de avarias.

	Estado de WS	Estado de componentes	Alarmes
Despaletizadora	DB13.DBD320	DB332	DB342.DBX0.0 até DB342.DBX127.7
Enchedora	DB94.DBD300	DB100	DB721.DBX0.0 até DB721.DBX127.7
Pasteurizador	DB90.DBD92	DB232	DB701.DBX0.0 até DB701.DBX127.7
Rotuladora	DB5.DBD12	DB111	DB901.DBX0.0 até DB901.DBX127.7
Embaladora de Caixas	DB815.DBD56	DB654	DB973.DBX0.0 até DB973.DBX127.7
Paletizadora	N/A	DB554	DB973.DBX0.0 até DB973.DBX127.7

Tabela 8 - Endereços de sinais necessários para caso de estudo de controlo de parâmetros de enchimento.

	Medição Extracto	Medição CO2	Medição Álcool	Medição O2
Pasteurizador	DB126.DBD50	DB126.DBD54	DB126.DBD58	DB126.DBD62

Após se identificarem todos os dados, nos respectivos *softwares* de cada máquina, foi necessário criar uma DB de interface em cada um dos PLCs, de modo a garantir a eficiência das comunicações existentes entre os mesmos e o PLC centralizado.

Assim, foi desenvolvida uma DB *standard* que pudesse uniformizar todos os dados existentes nas diferentes máquinas da linha. Além de conter os dados prioritários referidos anteriormente, a DB incorpora diversas reservas com o objectivo de garantir a flexibilidade para incorporar novos dados, que possam surgir no futuro. Na Tabela 9, está representada

a estrutura da DB que foi implementada em cada máquina, sendo a mesma denominada por DB400.

Tabela 9 - Estrutura da DB standard de interface.

Intervalo de endereços	Tipo de variável	Descrição
DB400.DBX0.0 – DB400.DBX127.7	Binário	Alarmes
DB400.DBX128.0 – DB400.DBX319.7	Binário	Feedback de componentes
DB400.DBW310 – DB400.DBW350	Inteiro	Variáveis de produto
DB400.DBW352 – DB400.DBW958	Inteiro	Variáveis de processo
DB400.DBD960 – DB400.DBD996	Duplo Inteiro	Estados de máquina
DB400.DBD100 – DB400.DBD1156	Duplo Inteiro	Contadores de produção
DB400.DBD1160 – DB400.DBD1426	Duplo Inteiro	Variáveis de processo
DB400.DBD1430 – DB400.DBD1556	Real	Velocidades
DB400.DBD1560 – DB400.DBD1916	Real	Variáveis críticas de processo
DB400.DBD1920 – DB400.DBD2396	Real	Variáveis de processo

A DB standard desenvolvida foi inserida em cada um dos softwares das máquinas, de modo a recolher os dados em bruto, sendo estes posteriormente tratados e convertidos no PLC centralizado, antes de serem enviados para o WinCC.

4.4.4 Etapa 4: Tratamento de dados e desenvolvimento de casos de estudo

O primeiro passo da implementação dos casos de estudo selecionados, foi o desenvolvimento de diversos algoritmos, que permitiram tratar os dados provenientes das máquinas. As linguagens escolhidas para programação do PLC foram o LADDER e o SCL (*Structured Control Language*), visto que a primeira é largamente usada nos diferentes equipamentos existentes e consequentemente as equipas de manutenção têm o *know-how*, para interpretar o mesmos e a segunda, permite diminuir a complexidade do programa em diferentes operações específicas, como por exemplo, funções matemáticas.

Devido à complexidade do programa e propriedade intelectual da empresa, não foi possível apresentar todo o software desenvolvido, no entanto, foram selecionados alguns exemplos de funções utilizadas no sistema. Na Figura 26 está apresentado uma das funções utilizada repetidamente no programa e que têm o objectivo de converter a velocidade actual da máquina.

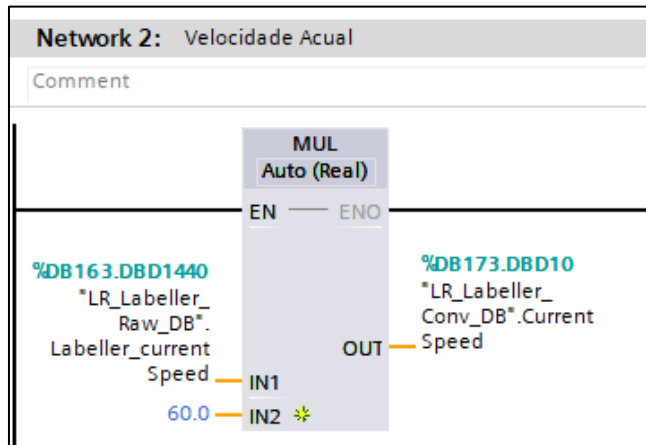


Figura 26 - Conversão de velocidade da rotuladora em Ladder.

Na Figura 27, está o exemplo de um dos algoritmos desenvolvidos para detectar o estado de avaria na máquina com base nos standards de WS.

```

1 IF #Machine_On AND (#"Machine Status" = 1 OR
2   #"Machine Status" = 256 OR
3   #"Machine Status" = 512 OR
4   #"Machine Status" = 1024 OR
5   #"Machine Status" = 2048 OR
6   #"Machine Status" = 4096 OR
7   #"Machine Status" = 16384 ) THEN
8   #Running_Active := FALSE;
9   #Idle_Active := FALSE;
10  #Breakdown_Active := TRUE;
11 END_IF;

```

Figura 27 - Detecção de avaria com base nos estados de WS em SCL.

Na Figura 28, está representada uma função que permite calcular o volume de cerveja cheio, com base no programa selecionado e nas garrafas cheias.

```

1 IF #actualValue > #previous THEN
2   #difference := #actualValue - #previous;
3   #differenceReal := DINT_TO_REAL(#difference);
4   IF "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 1 OR
5     "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 3 OR
6     "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 5 OR
7     ("Filler_Raw_DB".Program_SKU >= 10 AND "Filler_Raw_DB".Program_SKU <= 12) OR
8     "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 14 OR
9     "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 17 THEN
10    #countHl := #countHl + (#differenceReal)*0.0025;
11  ELSE
12    IF "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 2 OR
13      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 4 OR
14      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 6 OR
15      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 8 OR
16      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 9 OR
17      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 13 OR
18      "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 18 THEN
19      #countHl := #countHl + (#differenceReal)*0.0033;
20    ELSE
21      IF "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 15 OR
22        "Filler_Raw_DB".Program_SKU = 16 THEN
23        #countHl := #countHl + (#differenceReal)*0.002;
24      END_IF;
25    END_IF;
26  END_IF;
27 END_IF;
28 #previous := #actualValue;
29

```

Figura 28 - Cálculo de hectolitros produzidos com base no contador de garrafas e programa selecionado na enchedora em SCL

Com base no tipo de informação necessária para cada caso de estudo, foi necessário definir qual a melhor ferramenta para desenvolver a respectiva interface visual, tendo-se optado por utilizar o WinCC para desenvolvimento de *dashboards* que utilizam dados em tempo real e o PowerBI para o desenvolvimento de reports.

Assim, foi decidido que o WinCC seria utilizado para apoiar o balanceamento da linha e controlo de parâmetros de enchimento e o PowerBI seria utilizado para apoiar na melhoria da eficiência energética da linha e na análise de avarias.

Ao serem utilizadas diferentes ferramentas para apresentação de informação, é importante garantir a correcto fluxo de dados entre as diferentes aplicações. Na Figura 29, estão representados os diferentes fluxos de comunicação existentes, para cada caso de estudo.

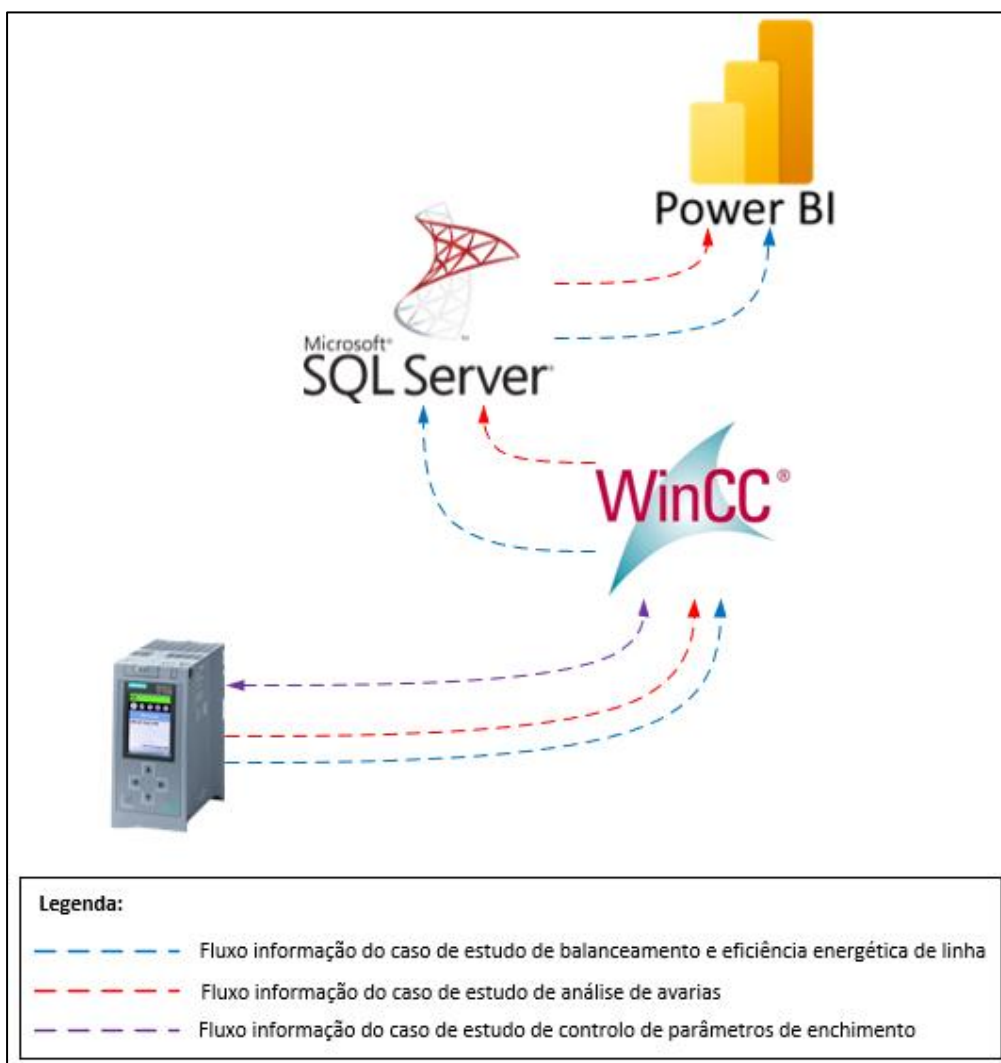


Figura 29 - Esquema de fluxos de informação entre os diferentes equipamentos e softwares de supervisão.

Conforme é possível verificar pelo esquema anterior, todos os dados têm origem no PLC centralizado, sendo de seguida enviados para o WinCC. De salientar que o caso de estudo de controlo de parâmetros de enchimento, tem comunicação bidirecional entre o PLC centralizado e o WinCC, uma vez que, além de visualizar a informação, o utilizador poderá alterar parâmetros de alarme que por sua vez, serão enviados de volta para o PLC.

Para o desenvolvimento de *reports*, foram criadas tabelas no servidor de SQL que permitem estruturar os dados, de acordo com a necessidade. As tabelas criadas recebem todos os dados através de *scripts* desenvolvidos em WinCC.

Por fim, foi criada uma conexão directa entre o PowerBI e as diferentes tabelas de SQL, de modo a garantir não só a representação visual dos dados, como a respectiva actualização de toda a interface visual desenvolvida.

Assim como o programa do PLC, os *softwares* desenvolvidos no WinCC, SQL e PowerBI não podem ser apresentados na totalidade, de forma a proteger o *know-how* industrial. Assim, foram seleccionados 3 exemplos de modo a ilustrar algumas das funções utilizadas, em cada um dos *softwares*.

Na Figura 30, está demonstrado uma parte do programa, que permite enviar os dados presentes no WinCC para uma tabela pré-definida de SQL.

```
Sub Insert_Utilidades_Pasteurizador
Dim conn, rst, SQL_Table
On Error Resume Next
Dim Var1
Dim Var2
Set Var1=HMIruntime.tags("utilidadesSQLDB_pasteurizador_contadorAguaRecuperada")
Var1.Read
Set Var2=HMIruntime.tags("utilidadesSQLDB_pasteurizador_contadorAguaEPAL")
Var2.Read
Set Var3=HMIruntime.tags("utilidadesSQLDB_pasteurizador_contadorVapor")
Var3.Read

Set conn = CreateObject("ADODB.Connection")
Set rst = CreateObject("ADODB.Recordset")

conn.Open "Provider=MSDASQL;DSN=WinCCSQL;"

If Err.Number <> 0 Then
  ShowSystemAlarm "Error #" & Err.Number & " " & Err.Description
  Err.Clear
  Set conn = Nothing
End If

SQL_Table = "EXECUTE Utilidades_Turno_Proc '7','11|','1','" & Replace(CStr(Round(Var1.Value,2)),",",".") & "','" & Replace(CStr(Round(Var2.Value,2)),",",".")
Set rst = conn.Execute (SQL_Table)

conn.close
Set rst = Nothing
Set conn = Nothing

End Sub
```

Figure 30 - Script criado no WinCC para envio de dados para o servidor SQL.

Na figura 31, está apresentada uma das tabelas criadas para alojar os dados tratados. Além da tabela, é ainda possível visualizar alguns dos dados referentes ao caso de estudo de eficiência energética.

```

2 SELECT TOP (1000) [id_totalizadoresLORTable]
3     , [dateTimeVar]
4     , [HL_Enchedora]
5     , [HL_Kisters]
6     , [steam_Pasteurizador]
7     , [AguaRecuperada_Pasteurizador]
8     , [AguaDescalcificada_Pasteurizador]
9 FROM [MES_DB].[dbo].[totalizadoresLORTable]

```

	id_totalizadoresLORTable	dateTimeVar	HL_Enchedora	HL_Kisters	steam_Pasteurizador	AguaRecuperada_Pasteurizador	AguaDescalcificada_Pasteurizador
1	19	2022-09-15 22:01:00	157,83	0	17230	0,38	0
2	20	2022-09-15 23:01:00	225,78	0	17230	0,75	0
3	21	2022-09-16 00:01:00	342,77	0	17231	1,2	0
4	22	2022-09-16 01:01:00	356,28	0	17232	1,71	0
5	23	2022-09-16 02:01:00	356,28	0	17232	1,9	0
6	24	2022-09-16 03:01:00	356,28	0	17232	2,2	0
7	25	2022-09-16 04:01:00	356,28	0	17232	2,62	0
8	26	2022-09-16 05:01:00	404,39	0	17233	3,36	0
9	27	2022-09-16 06:01:00	461,41	0	17234	3,84	0
10	28	2022-09-16 07:01:00	461,41	0	17234	4,09	0
11	29	2022-09-16 08:01:00	461,41	0	17234	4,09	0
12	30	2022-09-16 09:01:00	461,41	0	17234	4,09	0

Figura 31 - Tabela de dados para caso de estudo de balanceamento e eficiência energética de linha criada no servidor SQL.

Na Figura 32, é possível analisar uma parte do modelo de dados desenvolvido em PowerBI e que permite a interligação entre as diferentes tabelas existentes.

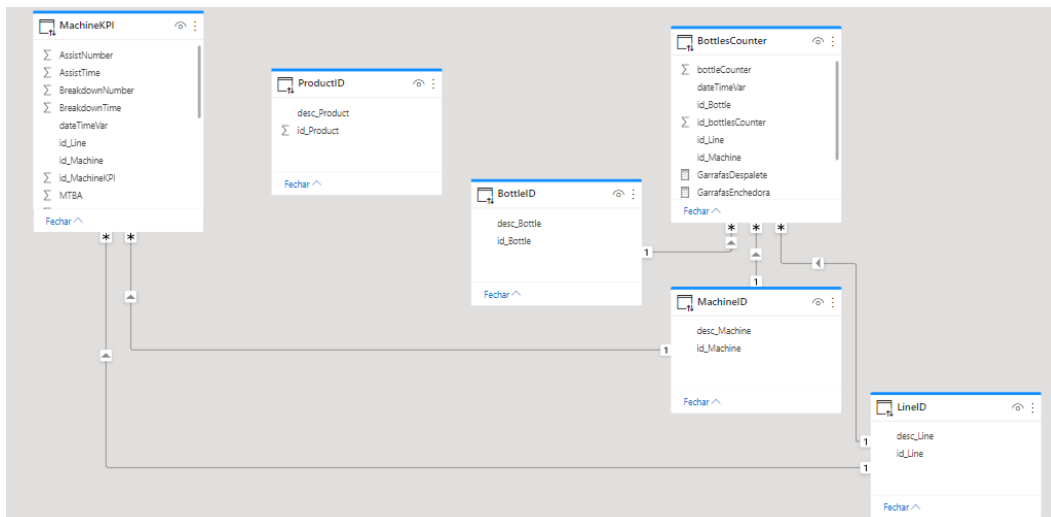


Figura 32 - Modelo de dados de PowerBI para caso de estudo de análise de avarias.

Além de toda a programação que possibilita o fluxo de dados apresentado anteriormente, foram ainda desenvolvidos todos os *dashboards* que permitem aos utilizadores interagir e analisar os com as diferentes informações existentes. Deste modo, foram desenvolvidos os seguintes *dashboards* para cada caso de estudo:

Balanceamento e eficiência energética de linha:

Conforme indicado anteriormente, devido às necessidades do caso de estudo optou-se por dividir o mesmo em dois *dashboards* distintos. Na Figura 33, está representado um exemplo do *dashboard* utilizado para o balanceamento de linha. Este *dashboard* recebe dados directamente do PLC centralizado, com uma taxa de actualização de 1 segundo, de modo a permitir detectar toda a dinâmica da linha.

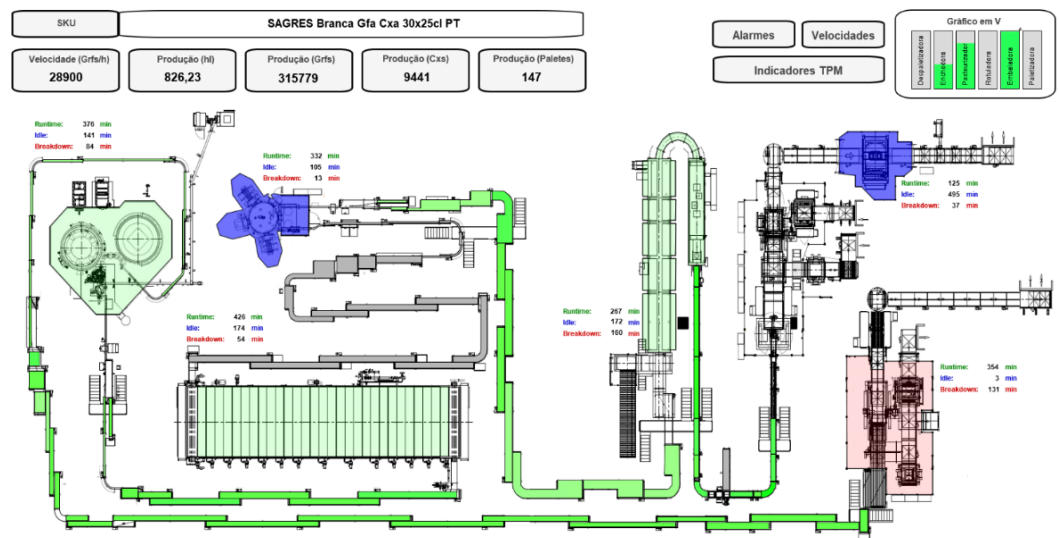


Figura 33 - Dashboard desenvolvido para apoiar as equipas a realizar o balanceamento de linha.

Através deste *dashboard*, as equipas de operação conseguem visualizar diversas informações importantes como:

- **Produto:** No canto superior esquerdo está representado o produto que se encontra em produção e qual o formato escolhido, de forma que possam relacionar os diferentes balanceamentos com os diferentes produtos.
- **Produção:** Indicação da quantidade produzida em hectolitros, garrafas, caixas e paletes, de modo que consigam detectar o impacto das diferentes fases (arranque, produção, finalização e mudança) no balanceamento da linha.
- **Estados das máquinas:** Procurou-se representar o *layout* de toda a linha, de modo a facilitar a leitura dos estados de cada máquina, tendo-se optado pela cor verde para representar a máquina em produção, a cor azul para representar a máquina em espera e a cor vermelha para representar a máquina em avaria.
- **Gráfico em V:** Por fim, no canto superior direito, representou-se o gráfico em V real, com as velocidades actuais de cada máquina, de modo que as equipas possam comparar o gráfico em V real com o teórico.

Uma vez que o consumo energético (vapor e água) tem uma grande variabilidade ao longo do enchimento, não existe vantagem em efectuar uma análise em tempo real. Por esse motivo, foi desenvolvido o *dashboard* da Figura 34 em PowerBI. Deste modo é possível realizar uma análise diária, semanal e mensal dos diferentes consumos e identificar possíveis desvios. Além disso, permite às equipas perceber se as acções tomadas estão a ter o resultado esperado.

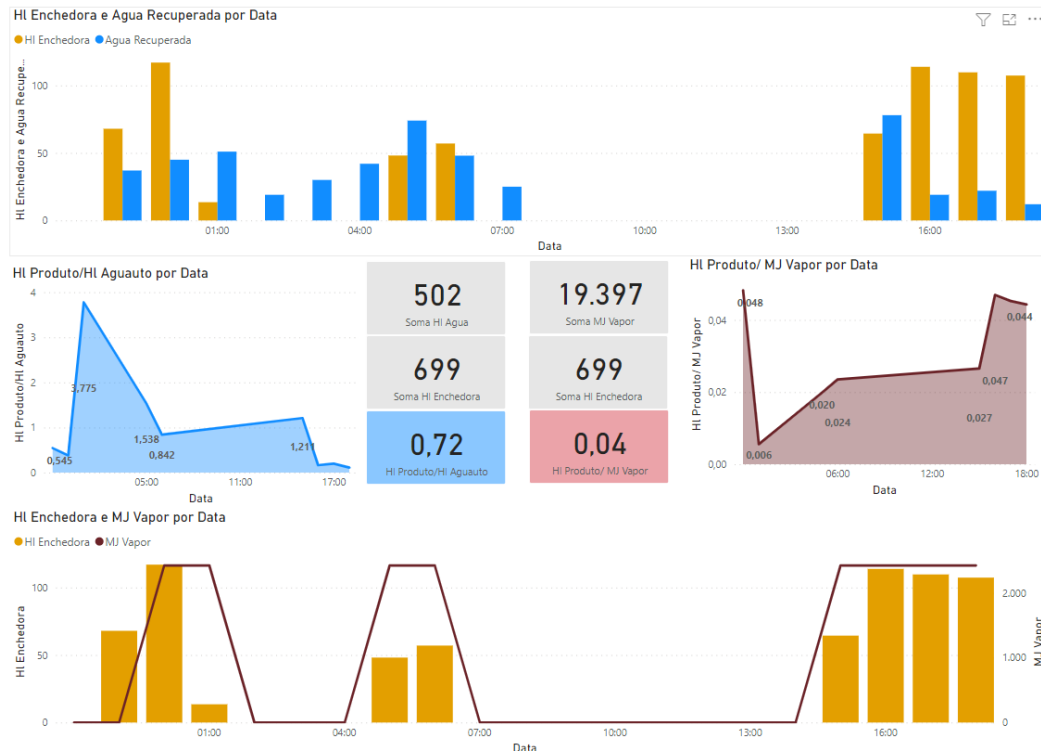


Figura 34 - Dashboard de consumo de água e vapor no pasteurizador.

No *dashboard* foram utilizados gráficos de barras e linhas para representar o consumo de água e vapor, assim como os hectolitros produzidos. Foram ainda adicionados cálculos para representar o consumo de água e vapor por cada hectolitro produzido, de forma a obter um KPI possível de analisar e seguir.

Análise de avarias:

À semelhança do caso de estudo anterior, a análise de avarias também se dividiu em dois *dashboards*. Na Figura 35, está representado o *dashboard* utilizado pelas equipas de manutenção para analisar quais as máquinas e avarias que estão a impactar mais a linha.

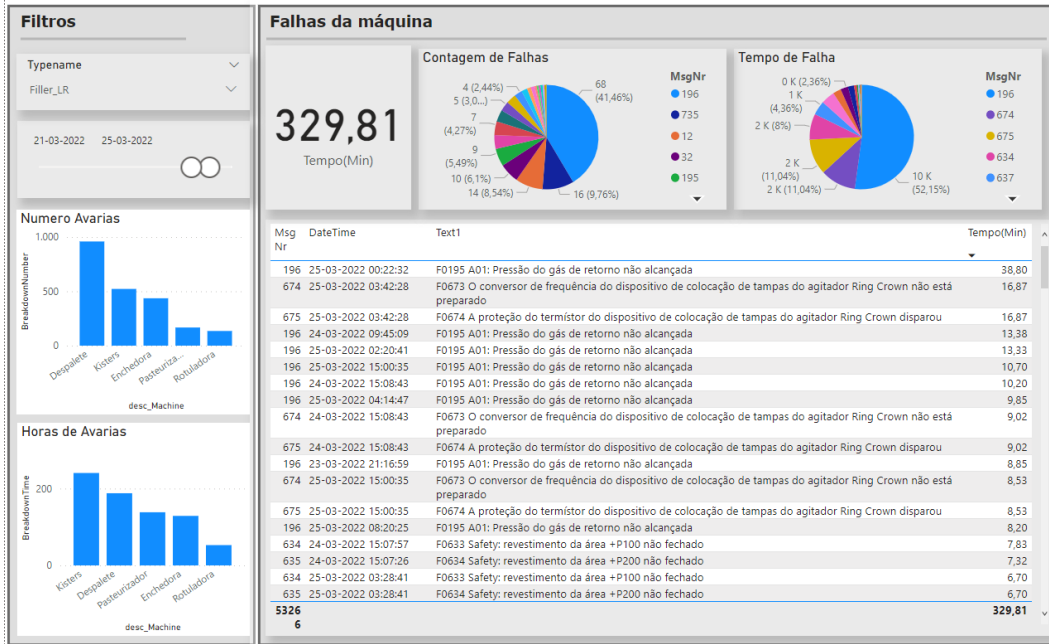


Figura 35 - Dashboard para identificação do impacto das avarias na linha.

Optou-se por utilizar um *dashboard de report*, de modo a permitir análises diárias ou semanais das diferentes avarias. Com a informação existente, é possível perceber quais as máquinas que estão a parar mais vezes e quais as máquinas que estão a parar mais tempo. Além disso, é possível perceber qual o tempo total de avarias na linha (329,81 minutos) e verificar qual o alarme que causou mais paragens, no período seleccionado.

Apesar de ser viável verificar os impactos de cada máquina e definir prioridades de actuação, na maioria das situações não é possível encontrar a causa raiz com base no alarme providenciado. De forma a colmatar esta dificuldade, foi desenvolvido um *dashboard*, apresentado na Figura 36, que utiliza dados em tempo real para representar o estado dos diferentes componentes na máquina.

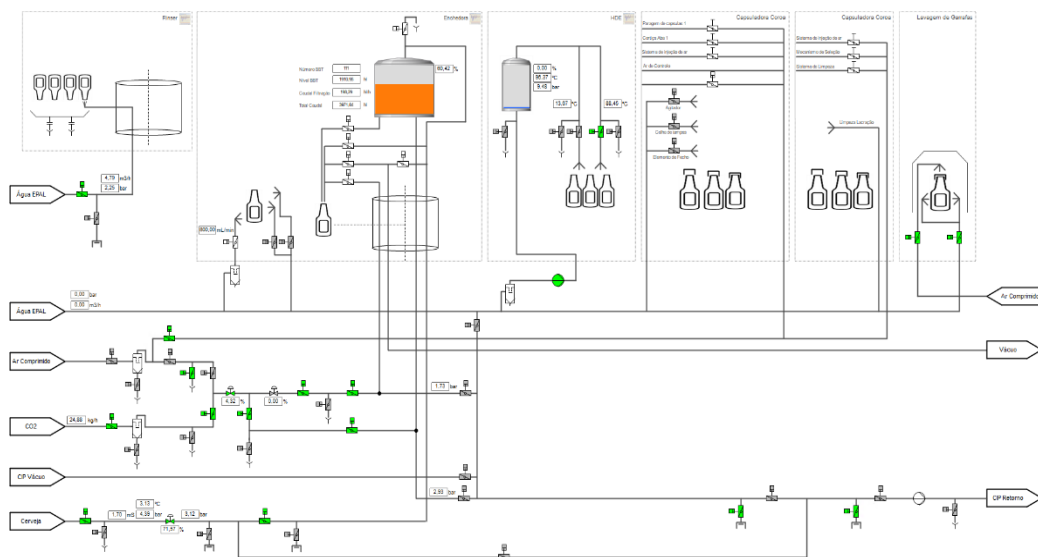


Figura 36 - Dashboard com representação do P&ID da enchedora animado

Com base na informação existente no *dashboard* anterior, os técnicos podem acompanhar o estado de diferentes componentes ao longo de todo o processo e detectar padrões, que permitam perceber a causa raiz da falha. Este tipo de análise, é útil especialmente para perceber avarias intermitentes. Além de utilizarem o *dashboard* com representação em tempo real, podem utilizar gráficos para registar diferentes variáveis e efectuar análises durante longos períodos de tempo.

Controlo de parâmetros de enchimento:

Por fim, para o caso de estudo do controlo de parâmetros de enchimento, optou-se por utilizar apenas um *dashboard* de dados em tempo real. Na Figura 37, está representado um dos gráficos utilizados pelas equipas de qualidade, para analisar o extracto da cerveja ao longo de um enchimento.

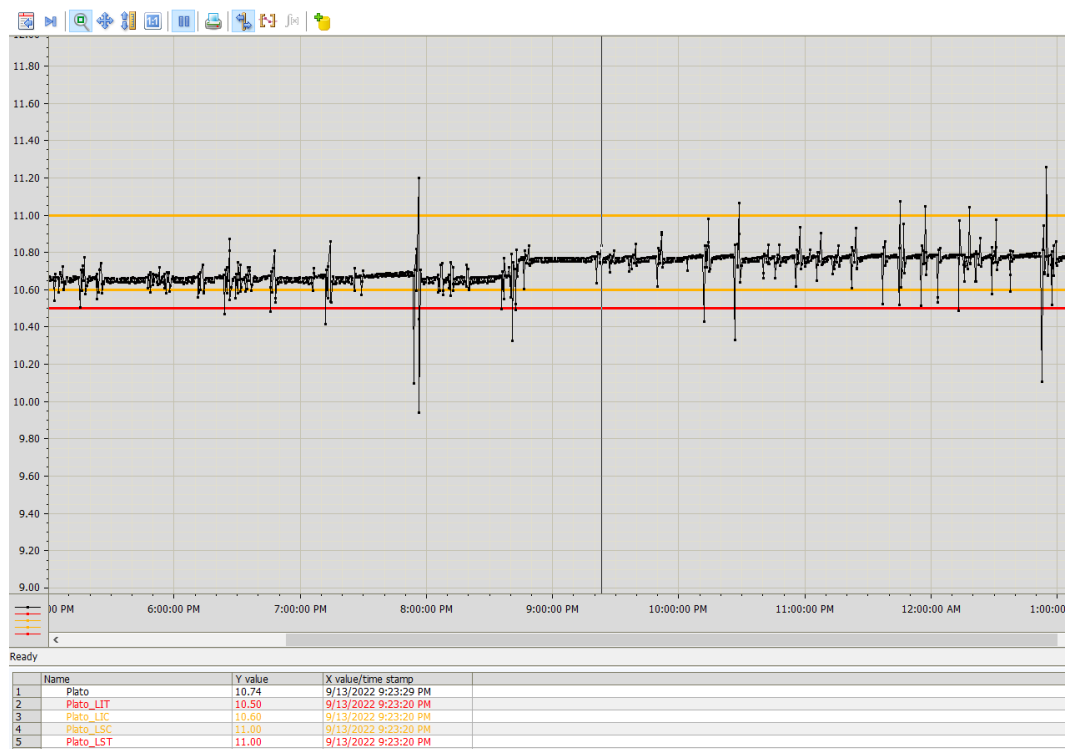


Figura 37 - Gráfico de extracto de cerveja ao longo do enchimento.

No gráfico, é possível verificar o valor medido do extracto em Plato, ao longo do tempo, assim como os valores de LIT (Limite Inferior de Tolerância), LIC (Limite Inferior de Controlo), LSC (Limite Superior de Controlo) e LST (Limite Superior de Tolerância). Ao contrário da recolha de dados manuais e periódicos anteriores, a utilização deste *dashboard* permite analisar a variação da medição a cada segundo e detectar possíveis tendências ou pequenos desvios.

Além de possibilitar a análise, as equipas de qualidade podem utilizar o *dashboard* desenvolvido, para alterar parâmetros de controlo remotamente, sempre que existe a necessidade de ajustar limite de controlo ou alterar especificações. Na Figura 38 está representado o *dashboard* utilizado para inserir diferentes parâmetros.

Produtos	LIT (Plato)	LIC (Plato)	LSC (Plato)	LST (Plato)	LIT (Alcool)	LIC (Alcool)	LSC (Alcool)	LST (Alcool)	LIC (CO2)	LSC (CO2)
Sagres Branca	10,50	10,60	11,00	11,00	4,60	4,65	4,95	5,00	5,15	5,55
Sagres Preta	10,00	10,10	10,50	10,60	3,90	3,95	4,25	4,30	5,30	5,40
Heineken	11,10	11,20	11,60	11,70	4,80	4,85	5,15	5,20	4,95	5,40

Figura 38 - Dashboard de alteração e ajuste de parâmetros de controlo.

Uma vez que todos os *dashboards* apresentados anteriormente estão baseados nos dados provenientes das diferentes máquinas, é fundamental garantir a precisão dos mesmos. Deste modo, o processo de validação acompanhou o desenvolvimento dos diferentes *dashboards*, tendo sido aplicado o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), apresentado na Figura 39, ao longo de todo o desenvolvimento.

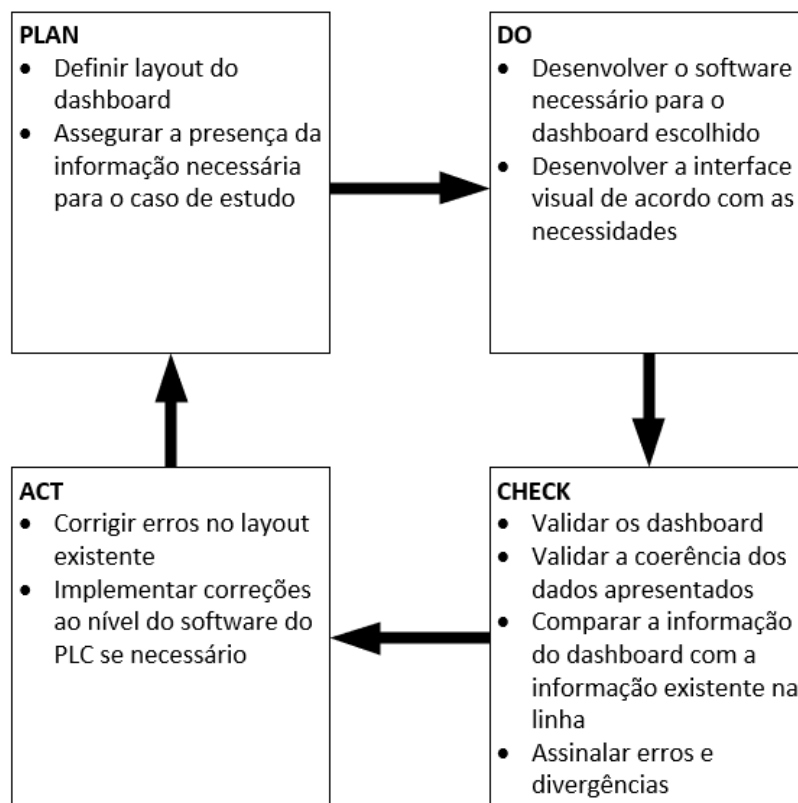


Figura 39 - Ciclo PDCA para desenvolvimento de dashboards e validação de dados.

De modo a implementar o PDCA apresentado, foi criada uma reunião semanal, entre todos os elementos do projecto, onde se efectuaram todas as tarefas descritas acima e foram discutidas ideias e possíveis melhorias a implementar.

Através da realização destas reuniões, foi possível debater ideias e encontrar soluções em equipa, aproveitando as valências de cada elemento para alcançar o resultado esperado.

Após o sistema ter alcançado uma cobertura quase total (não foi possível alcançar a totalidade, devido a restrições encontradas em alguns equipamentos, nomeadamente a paletizadora) das variáveis e máquinas seleccionadas, foi realizada uma apresentação do sistema e por sua vez, os respectivos responsáveis pela utilização do mesmo, garantiram a sua utilização nas respectivas áreas, recolhendo em simultâneas feedbacks, por parte dos diferentes utilizadores.

4.4.5 Etapa 5: Treino e operação

A última etapa da implementação do sistema inclui a apresentação e introdução do mesmo junto das diferentes equipas, a formação de utilizadores e a recolha de feedbacks.

A fase de apresentação e introdução do sistema foi efectuada pelas diferentes pessoas que participaram no desenvolvimento de projecto, tendo-se optado por serem os responsáveis por efectuar a apresentação do sistema junto das respectivas áreas.

De seguida, foi necessário formar os utilizadores do sistema. Uma vez que, dependendo da área, a utilização será distinta, optou-se por desenvolver formações específicas para cada área de actuação. Além de formar as pessoas no uso dos diferentes *dashboards*, para aumentar as suas capacidades analíticas, procurou-se cativar a existência de análises críticas ao sistema, com o objectivo de detectar possíveis falhas ou melhorias que não tinham sido detectadas. Além disso, visto que as equipas de manutenção podem utilizar o sistema para registo e análise de inúmeras variáveis, procurou-se dotar os técnicos de capacidades para criar e alterar componentes, de acordo com as respectivas necessidades de análise de avaria, contribuindo para cativar o pensamento empreendedor.

Devido à complexidade do sistema o treino foi dividido em duas partes: a primeira parte foi a formação teórica em sala, onde foram demonstradas as diferentes possibilidades existentes e como as utilizar para beneficiar as diferentes áreas e a segunda parte foi a formação *on job* onde foi dada a oportunidade aos utilizadores, para interagirem com o sistema e aplicar as suas funcionalidades a casos específicos.

No final das diferentes formações procurou-se recolher diferentes feedbacks, de modo a melhorar o sistema e cativar o ownership dentro das equipas. Algumas das melhorias sugeridas estiveram relacionados com os layouts dos dashboards e com a adição de dados que estavam em falta.

Após as formações terem sido concluídas, reuniu-se a equipa de projecto para analisar as diferentes sugestões, tendo a grande maioria sido implementada.

4.5 Demonstração de resultados e próximos passos

Devido aos possíveis benefícios inerentes à utilização do sistema, as equipas começaram a utilizá-lo assim que o projecto foi concluído, no início do mês de abril.

Por outro lado, devido à sazonalidade do produto, a quantidade de produção aumenta significativamente nos meses de maio a setembro, o que implica um aumento de horas de produção e consequentemente uma diminuição no tempo disponível para efectuar análises ou implementar melhorias.

Dado que o sistema depende das equipas para efectuar análises e acções baseadas nas informações disponíveis, ainda não foi possível criar um impacto suficientemente significativo, que por sua vez se traduza em melhorias de KPI como OPI e percentagem de avarias.

No entanto, surgiram algumas situações em que as equipas utilizaram o sistema para beneficiar as suas análises.

Equipa de produção:

A introdução do *dashboard de report* de consumos de água e vapor permitiu às equipas de produção começar a acompanhar os diferentes consumos com base em valores reais, sendo estes analisados durante as reuniões semanais.

Durante uma das reuniões identificou-se um consumo anormal de água no pasteurizador. Com base nessa tendência, foi criada uma equipa para identificar a causa raiz. Após analisarem os consumos ao longo de 3 semanas, verificou-se que o aumento de consumo ocorria sempre durante a produção do mesmo produto. De seguida, a equipa analisou os diferentes parâmetros existentes para o produto em questão e concluiu que o desvio se devia a um erro no parâmetro que controla a resposta da válvula de entrada de água. Após ajustarem o parâmetro, o consumo de água diminuiu significativamente. Esta análise permitiu não só diminuir o custo de produção, como também aumentar a sustentabilidade do processo.

Equipa de manutenção:

A equipa de manutenção utilizou o PowerBI para detectar qual o alarme que estava a ter mais impacto na enchedora, tendo concluído que, apesar de não causar paragens prolongadas, o alarme “F0195: Pressão do gás de retorno não alcançada”, estava a ter um grande impacto na máquina, ao causar diversas pequenas paragens em cada turno.

Após identificarem o alarme, foi definido que o técnico responsável pela linha teria de analisar o problema e a respectiva causa raiz, sendo que este se baseou nos P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) animados e nos gráficos existentes, para desenvolver a análise de problema presente no Anexo 1.

Através da análise apresentada, foi possível concluir que o alarme ocorria devido a uma queda de pressão na cuba, sempre que a enchedora parava, o que consequentemente atrasava o arranque da mesma. De modo a resolver este problema, foram ajustados diferentes parâmetros incluindo controlos PID (controlador proporcional-integral-derivativo) de válvulas de entradas de CO₂ com base na pressão da mesma.

Após implementação dos ajustes, foi possível reduzir o impacto do alarme em 60%, o que consequentemente reduziu significativamente a fadiga do operador, uma vez que este tinha de efectuar uma série de acções sempre que o alarme ocorria, para que a máquina pudesse arrancar novamente.

Equipa de qualidade:

Após a implementação do sistema, a equipa de qualidade pediu que fosse criado um alarme no sistema, sempre que o valor de extracto ultrapassava os limites de tolerância.

Com base nesse alarme, as equipas de qualidade recolhiam uma amostra de produto da linha e analisavam o mesmo em laboratório, de modo a comparar o erro de medição e de seguida ajustavam os parâmetros de medição para alcançar uma maior fiabilidade.

Após 8 semanas de análise e ajuste, concluíram que o sistema era fiável o suficiente para utilizar o mesmo para enviar um comando para parar a enchedora, sempre que o extracto medido se encontra fora de tolerância mais de 5 segundos.

Actualmente, encontra-se em desenvolvimento uma interface directa com a enchedora para que a mesma pare o enchimento e alerte o operador, sempre que existe um desvio. Esta alteração permite não só diminuir a quantidade de medições manuais como também garantir que existe uma paragem assim que ocorre o desvio, reduzindo significativamente a quebra de produto.

Tendo o sistema sido aceite pelas equipas, que demonstraram as suas vantagens, conforme os exemplos demonstrados anteriormente, concluiu-se a importância e utilidade do mesmo. Assim foi definido que o sistema deveria ser expandido, não só através da implementação de mais casos de estudo na linha R, como também através da integração de mais linhas e equipamentos. Deste modo a expansão do sistema foi dividida em duas vertentes:

– Casos de estudo na linha R:

- **Medição da quebra de cerveja da linha:** Ao longo do processo de enchimento existem diversas situações em que existe quebra de cerveja, nomeadamente no arranque e finalização e nos diferentes equipamentos de rejeição. Para reduzir custos, as equipas de produção tentam minimizar o desperdício de produto durante estas fases, mas neste momento é difícil quantificar qual o desperdício existente. Assim, o caso de estudo pretende calcular, de forma automática, a quebra de cerveja na linha, com o objectivo de fornecer uma métrica de comparação às equipas de produção.
- **Deteção automática de velocidade reduzida:** As máquinas estão desenvolvidas para operar a uma determinada velocidade, para cada produto. No entanto, devido a um ajuste deficiente de parâmetros ou alterações manuais nos *setpoints*, é usual existirem máquinas a operar abaixo da sua capacidade nominal, diversas vezes ao longo do enchimento. O caso de estudo a implementar, tem o objectivo de detectar automaticamente a velocidade reduzida e construir uma tabela de eventos,

de modo que seja possível relacionar os mesmos com outras informações, de forma a identificar possíveis padrões.

- **Controlo do tipo de rejeições por produto:** Actualmente, as equipas apenas registam a quantidade total rejeitada em cada um dos rejeitadores de produto. No entanto, é importante perceber qual o problema (falta de cápsula, garrafa mal cheia, etc) que está a causar mais rejeições, para que as equipas possam procurar o defeito que está a causar o problema. Deste modo, o caso de estudo tem por objectivo criar um *report*, que permita apresentar a quantidade rejeitada por tipo de rejeição e por tipo de produto.

– **Integração de linhas de enchimento e outros sistemas:**

- **Integração das restantes linhas:** No seguimento de diversas reuniões para definição de prioridades, chegou-se à conclusão que a expansão às restantes linhas seria efectuada na seguinte ordem: linha 1, linha 6, linha BC, linha 5, linha 3 e linha 4. A decisão teve em conta factores como a importância da linha para o negócio, OPI actual, percentagem de avarias, quantidade de desvios de qualidade e finalmente investimento necessário para implementação.
- **Desenvolvimento de monitorização de consumidores de vapor:** Além da expansão às linhas, verificou-se que o sistema poderia ser utilizado noutras áreas, nomeadamente a monitorização do consumo de vapor. Para isso, ficou definido que se iria criar uma ligação a diversos contadores de vapor instalados na fábrica com o objectivo de conseguir acompanhar os respectivos consumos e identificar possíveis desvios, de forma a melhorar a eficiência energética, não só do enchimento, como também de todo o processo de fabricação e utilidades.

Apesar de não ser perceptível, para a maioria dos gestores que utilizam o sistema, a existência do PLC é fundamental para o correcto funcionamento de todas as aplicações, ao assegurar que os dados essenciais são recolhidos das respectivas máquinas e colocados nas aplicações, que por sua vez garantem a existência de interfaces que permitem aos utilizadores utilizar as diferentes informações existentes.

Com base nas diferentes constatações existentes ao longo do volume e em específico, nos casos de estudo apresentados, pode-se concluir que, devido à sua presença e importância em todos os processos industriais, a utilização dos PLCs é um factor chave para a implementação de soluções focadas na gestão 4.0. Adicionalmente, devido à conectividade diversificada, existente nos PLCs actuais, a sua integração em sistemas de gestão é cada vez mais simples e económica, permitindo que estes *softwares* utilizem dados recolhidos autonomamente a partir dos equipamentos existentes.

5. Conclusões

5.1 Conclusões

Devido à proporção e complexidade das indústrias actuais, deixa de ser viável (para os negócios) aplicar processos de gestão “tradicionais”, sendo fundamental a integração de sistemas informáticos no apoio às diferentes equipas.

Do mesmo modo que a última revolução industrial impactou os processos indústrias, a gestão 4.0 está a alterar significativamente o modo como as equipas de gestão, analisam e tomam decisões.

Ao longo dos capítulos anteriores procurou-se apresentar, de uma forma técnico-económica, quais os impactos e alterações que a aplicação da gestão 4.0 teria nos ambientes industriais. Por outro lado, foi definido um modelo estrutural, que tem por objectivo apoiar na implementação da gestão 4.0.

O modelo desenvolvido permitiu identificar os pilares fundamentais e evidenciar as mais valias existentes na aplicação e adopção de sistemas digitais, nos diferentes departamentos. O modelo permitiu ainda avaliar as mudanças necessárias na cultura das empresas, assim como identificar as características fundamentais base, que devem ser inculcadas nos colaboradores. Além disso, alertou para os novos perigos relativos à cibersegurança, que ameaçam as indústrias e procurou definir formas de mitigação e redução de riscos.

Apesar da utilização de sistemas SCADA ser usual na indústria (desde a 3ª revolução industrial), a informação disponível nos mesmos está focada na operação de equipamentos e processos. Por outro lado, indústria 4.0 originou novas oportunidades focadas na conectividade e recolha de dados. Contrariamente aos dados recolhidos pelos sistemas SCADA, as soluções da indústria 4.0 focam-se na análise e recolha de elevadas quantidades de dados, com o objectivo de apoiar as equipas de gestão a perceberem o que está a ocorrer no chão de fábrica e a prever situações indesejadas de forma a mitigar possíveis ocorrências que possam prejudicar o correcto funcionamento das operações. Tecnologias como o IoT, o *Big Data* e os serviços *cloud* permitem recolher e tratar grandes quantidades de dados (essenciais às novas soluções de apoio à gestão). De forma semelhante, ferramentas de BI permitem apoiar as equipas de gestão na tomada de decisão ao apresentar toda a informação, de forma estruturada e organizada. Devido à sua presença e importância na indústria, a utilização do PLC será fundamental para a implementação da gestão 4.0 na mesma, estando este na base do modelo estrutural e do caso de estudo apresentado. Sendo os PLCs responsáveis por controlar todos os equipamentos, é essencial a sua utilização como fonte de dados para as diferentes soluções ligadas à gestão 4.0. Por outro lado, com o aumento da capacidade e processamento dos PLCs, a sua versatilidade aumenta significativamente, podendo estes ser utilizados em inúmeras arquitecturas e acesso via internet.

Ao nível da aplicabilidade do modelo pode-se concluir, através da sua aplicação no caso de estudo, que o mesmo oferece vantagens para as empresas. Conforme demonstrado, o

modelo permite que exista um envolvimento das diferentes pessoas e consequentemente um foco nas diferentes áreas, possibilitando uma transversalidade aquando da aplicação de um novo sistema. Entre as diversas vantagens existentes é importante evidenciar a precisão da informação quando comparado com a aquisição manual de dados, contribuindo significativamente para uma melhor tomada de decisão por parte das diferentes equipas de gestão.

Por fim, é necessário salientar a importância, em considerar a utilização dos PLCs existentes, aquando da implementação de sistemas focados na gestão 4.0, devido a todas as vantagens apresentadas anteriormente, assim como as mais valias demonstradas durante a implementação do caso de estudo.

5.2 Trabalhos futuros

Uma das características do modelo apresentado é a sua versatilidade, ou seja, futuros trabalhos de investigação podem adoptar o modelo apresentado como base e adaptar o mesmo a diversas situações. Assim, um dos possíveis trabalhos futuros, será a adaptação do modelo apresentado à área da logística, sendo esta uma etapa essencial na *supply chain*.

Apesar do caso de estudo apresentado ser extenso e ter englobado diferentes ferramentas, de seguida são enumerados alguns desafios, que podem complementar o mesmo:

- Implementação de sistemas baseados em *cloud*, de modo a garantir flexibilidade
- Desenvolvimento de algoritmos preditivos de apoio à manutenção preditiva
- Utilização de IA, para apoio aos casos de estudo, como por exemplo, balanceamento de linha baseado em análises preditivas.

Os desafios apresentados, pretendem complementar o caso de estudo com as duas vertentes que não foram abordadas: a IA e os serviços *cloud*. Ambas as tecnologias, oferecem vantagens que permitem criar oportunidades disruptivas, de modo a obter vantagens competitivas significativas.

- Agrawal, P., & Narain, R. (2018). Digital supply chain management: An Overview. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 455(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/455/1/012074>
- Ahmed, M. (2013). OEE Can Be Your Kry: Change Formula for Equipment Availability to Improve Performance. *Industrial Engineer*.
- Ahmed, M. H. (2013). *Lean Transformation Guidance: Why Organizations Fail To Achieve and Sustain Excellence Through Lean Improvement*.
- Autodesk. (2015). *Autodesk and Airbus show the future of aerospace design and manufacture in pioneering generatively designed 3D printed partit*.
- Azarmipour, M., Elfaham, H., Gries, C., & Eppele, U. (2019). *PLC 4.0: A Control System for Industry 4.0*.
- Balaji, V., Venkumar, P., Sabitha, M. S., & Amuthaguka, D. (2046). DVSMS: dynamic value stream mapping solution by applying IIoT. *Sādhanā*.
<https://doi.org/10.1007/s12046-019-1251-5S>
- Baur, C., & Wee, D. (n.d.). *Manufacturing's next act*.
- Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., & Srai, J. S. (2018). Intelligent Autonomous Vehicles in digital supply chains: A framework for integrating innovations towards sustainable value networks. *Journal of Cleaner Production*, 181, 60–71.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.173>
- Bécue, A., Praça, I., & Gama, J. (2021). Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: challenges and opportunities. *Artificial Intelligence Review*, 54(5), 3849–3886.
<https://doi.org/10.1007/s10462-020-09942-2>
- Bhat, O., Gokhale, P., & Bhat, S. (2007a). Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, 3297(1).
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517>
- Bhat, O., Gokhale, P., & Bhat, S. (2007b). Introduction to IOT. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, 3297(1).
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517>
- Bonnaud, S., Favilla, J., Kumichel, A., Benke, J., Carvalho, M. S., & Kiradjiev, P. (n.d.). *Industry 4.0 architecture for manufacturing- IBM's POV - IBM Cloud Architecture Center*.
- Chaudhuri, S., Dayal, U., & Narasayya, V. (2011). An overview of business intelligence technology. In *Communications of the ACM* (Vol. 54, Issue 8, pp. 88–98).
<https://doi.org/10.1145/1978542.1978562>
- Cortés, D., Ramirez, J., Villagómez, L., Batres, R., Vasquez-Lopez, V., & Molina, A. (2020). *Digital Pyramid: an approach to relate industrial automation and digital twin concepts*.
- Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M., & Sartor, M. (2019). Addressing Industry 4.0 Cybersecurity Challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 79–86.
<https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2927559>
- de Oliveira, A., Bacharelândia, S., Administração, E., Helena, H., & Bacharelândia, C. (2008). TRABALHO PADRONIZADO: A BUSCA POR ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIOS. In *Revista INICIA* (Issue 8).
- Deming, W. E. (1982). *Out of the crisis*. MIT Press.
- Deuse, J., Dombrowski, U., Nöhring, F., Mazarov, J., & Dix, Y. (2020). Systematic combination of Lean Management with digitalization to improve production systems on the example of Jidoka 4.0. *International Journal of Engineering Business Management*, 12. <https://doi.org/10.1177/1847979020951351>


- Ding, K., & Jiang, P. (2018). RFID-based production data analysis in an IoT-enabled smart job-shop. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 5(1), 128–138. <https://doi.org/10.1109/JAS.2017.7510418>
- Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2004). Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries. *Applied Energy*.
- Foley, É., & Guillemette, M. G. (2010). What is Business Intelligence? *International Journal of Business Intelligence Research*, 1(4), 1–28. <https://doi.org/10.4018/jbir.2010100101>
- Fortulan, M. R., Vila, E., & Filho, G. (n.d.). *UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE BUSINESS INTELLIGENCE NO CHÃO-DE-FÁBRICA*.
- Frank Cervone, H. (2009). Applied digital library project Management: Using Pareto analysis to determine task importance rankings. In *OCLC Systems and Services* (Vol. 25, Issue 2, pp. 76–81). <https://doi.org/10.1108/10650750910961875>
- Franke, U., & Wernberg, J. (2020). A survey of cyber security in the Swedish manufacturing industry. In *2020 International Conference on Cyber Situational Awareness, Data Analytics and Assessment (CyberSA)*. <https://www.teknikforetagen.se/en/about-us1/>
- Frazzon, E. M., Rodriguez, C. M. T., Pereira, M. M., Pires, M. C., & Uhlmann, I. (2019). Towards Supply Chain Management 4.0. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 180–191. <https://doi.org/10.14488/bjopm.2019.v16.n2.a2>
- Gitlow, H., Gitlow, S., Oppenheim, A., & Oppenheim, R. (1989). *Tools and Methods for the Improvement of Quality*.
- Gröger, C., Kassner, L., Hoos, E., Königsberger, J., Kiefer, C., Silcher, S., & Mitschang, B. (2016). *The Data-Driven Factory. Leveraging Big Industrial Data for Agile, Learning and Human-Centric Manufacturing*. www.iceis.org
- Hamed, M., & Soliman, A. (2017). A COMPREHENSIVE REVIEW OF MANUFACTURING WASTES: TOYOTA PRODUCTION SYSTEM LEAN PRINCIPLES. In *Emirates Journal for Engineering Research* (Vol. 22, Issue 2). <https://ssrn.com/abstract=2960974>Electroniccopyavailableat:<https://ssrn.com/abstract=2960974>Electroniccopyavailableat:<https://ssrn.com/abstract=2960974>
- Hemsley, K. E., & Fisher, R. E. (2018). *History of Industrial Control System Cyber Incidents*. <http://www.inl.gov>
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, 6(2), 133–148. <https://doi.org/10.1287/msom.1030.0028>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, & IEEE Industrial Electronics Society. (n.d.). *2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) : proceedings : Santa Clara Convention Center, Santa Clara, CA, United States, 08-10 June, 2016*.
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014a). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293–323. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Jain, A., Bhatti, R., & Singh, H. (2014b). Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(3), 293–323. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Jarupathirun, S., Ciganek, A., Kerdpitak, C., Ciganek, A. P., Chotiwanakawmanee, T., & Kerdpitak, C. (2009a). *Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban: A Case Study Customer pre-adoption choice behavior for M-PESA mobile financial services: extending the theory of consumption values View project Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban: A Case Study*. <https://www.researchgate.net/publication/228481604>

- Jarupathirun, S., Ciganek, A., Kerdpitak, C., Ciganek, A. P., Chotiwankeawmanee, T., & Kerdpitak, C. (2009b). *Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban: A Case Study Customer pre-adoption choice behavior for M-PESA mobile financial services: extending the theory of consumption values View project Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban: A Case Study*.
<https://www.researchgate.net/publication/228481604>
- Jazdi, N. (n.d.). *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on*.
- João, P., Pinto, P., & Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking Introdução ao pensamento magro COMUNIDADE LEAN THINKING* ©. www.lean.org
- Kassim, M. R. M. (2020). IoT Applications in Smart Agriculture: Issues and Challenges. *2020 IEEE Conference on Open Systems, ICOS 2020*, 19–24.
<https://doi.org/10.1109/ICOS50156.2020.9293672>
- Khare, S., & Totaro, M. (n.d.). *Big Data in IoT*.
- Kissinger, H. A., Schmidt, E., & Huttenlocher, D. (2021). *A Era da Inteligência Artificial - E o nosso futuro humano*.
- Konar, Amit. (2000). *Artificial intelligence and soft computing : behavioral and cognitive modeling of the human brain*. CRC Press.
- Kuendee, P. (2017). *Application of 7 Quality Control (7QC) Tools for Quality Management: A Case Study of a Liquid Chemical Warehousing*.
- Kumar, S., Park, H. S., & Lee, C. M. (2020). Data-driven smart control of injection molding process. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 31, 439–449. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.07.006>
- Langmann, R., & Rojas-Peña, L. (2016a). *A PLC as an Industry 4.0 component*.
- Langmann, R., & Rojas-Peña, L. F. (2016b). *A PLC as an Industry 4.0 component*.
- Langner, R. (2011). *Stuxnet: Dissecting a Cyberwarfare Weapon*. www.langner.com/
- Lean Enterprise Institute. (n.d.). *JIDOKA*. Retrieved June 19, 2022, from <https://www.lean.org/lexicon-terms/jidoka/>
- Lemos, E. M. (n.d.). *INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA QUALIDADE 4.0: Uma Abordagem Sobre o Novo Papel da Qualidade na Quarta Revolução Industrial*.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer* (1st ed.). MC GRAW HILL INDIA.
- Lin, S.-W., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., Chigani, A., Martin, R., Murphy, B., & Crawford, M. (2019). *The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture*.
- Magar, V. M., & Shinde, V. B. (n.d.). Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4). www.ijergs.org
- Makkar, S., Devi, G. N. R., & Solanki, V. K. (2020). Applications of Machine Learning Techniques in Supply Chain Optimization. In *ICICCT 2019 – System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management* (pp. 861–869). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8461-5_98
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System – An Integrated approach to Just-InTime*. (4ª edição). Boca Raton: CRC Press.
- Mosyurchak, A., Veselkov, V., Turygin, A., & Hammer, M. (2017). Prognosis of behaviour of machine tool spindles, their diagnostics and maintenance. *MM Science Journal*, 2017(December), 2100–2104.
https://doi.org/10.17973/MMSJ.2017_12_201794

- Motlagh, N. H., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of things (IoT) and the energy sector. In *Energies* (Vol. 13, Issue 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en13020494>
- Moufaddal, M., Benghabrit, A., & Bouhaddou, I. (2019). *Industry 4.0: A roadmap to digital Supply Chains*. IEEE.
- Mukherjee. (2006). *Total Quality Management* (Prentice-Hall of India, Ed.). Asoke K.Ghosh.
- Naciri, L., Mouhib, Z., Gallab, M., Nali, M., Abbou, R., & Kebe, A. (2022). Lean and industry 4.0: A leading harmony. *Procedia Computer Science*, 200, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.238>
- Nakagawa, E. Y., Antonino, P. O., Schnicke, F., Capilla, R., Kuhn, T., & Liggesmeyer, P. (2021). Industry 4.0 reference architectures: State of the art and future trends. *Computers and Industrial Engineering*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107241>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press, Inc.
- Nguyen Thanh, L., Magar, V. M., & Shinde, V. B. (2014). Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4). www.ijergs.org
- Nirali, P., Kikani, P., Pandya, N., & Acharya, G. D. (2017). *Analyze the Value Stream Mapping for Lead Time Reduction by Lean: A Review*. 1–6. www.stmjournals.com
- Nunan, D., & di Domenico, M. (2017). Big Data: A Normal Accident Waiting to Happen? *Journal of Business Ethics*, 145(3), 481–491. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2904-x>
- Pinto, J. P. (2014). *Lean Thinking: A Filosofia das Organizações Vencedoras*. (Lidel, Ed.; 6^a).
- Resman, M., Pipan, M., Šimic, M., & Heraković, N. (2019). A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. *Advances in Production Engineering And Management*, 14(2), 153–165. <https://doi.org/10.14743/apem2019.2.318>
- Rewers, P., Trojanowska, J., & Chabowski, P. (2016). *Tools and methods of Lean Manufacturing-a literature review*. <https://www.researchgate.net/publication/308171328>
- Santofimia-Romer, M.-J., Toro-García Xavier, & López-López, J.-C. (2011). *Artificial Intelligence Techniques for Smart Grid Application*.
- Shiba, S., Graham, A., Walden, D., Lee, T., & Stata, R. (1993). *A new American TQM: four practical revolutions in management*.
- Silvestri, L., Forcina, A., Introna, V., Santolamazza, A., & Cesarotti, V. (2020). Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>
- Siphoro, K. T., Bakama, E. M., Mukwakungu, C. M., & Sukdeo, N. (2020, November 24). Transition to Quality 4.0 and lean4.0 from traditional lean and quality systems: The case of a packaging company in South Africa. *2020 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2020*. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD49425.2020.9380619>
- Talib, F., Rahman, Z., & Qureshi,) M N. (2010). 55 PARETO ANALYSIS OF TOTAL QUALITY MANAGEMENT FACTORS CRITICAL TO SUCCESS FOR SERVICE INDUSTRIES. In *Original Scientific Paper (1.01)* (Vol. 4, Issue 2). <http://ssrn.com/abstract=2725175>
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>


- Thapar, V. (2019). *GE brings AI into preventive maintenance to reduce jet engine failure by one-third.*
- Tisbury, J. (2014). *Your 60 Minute Lean Business - Jidoka.*
- Tissir, S., Fezazi, S. el, & Cherrafi, A. (2020, December 2). Industry 4.0 impact on Lean Manufacturing: Literature Review. *2020 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management, LOGISTIQUA 2020.*
<https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353889>
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021). Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *International Journal of Production Economics, 240.*
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>
- Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. (2020). Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 5(5), 854–868.*
<https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066>
- Williamson, R. (2006). *Using Overall Equipment Effectiveness: the Metric and the Measures.*
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering, 182, 763–769.*
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society, 48(11), 1148–1148.* <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation.*
- Xu, L. da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research, 56(8), 2941–2962.*
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Xu, H., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2018a). A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective. In *IEEE Access* (Vol. 6, pp. 78238–78259). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>
- Xu, H., Yu, W., Griffith, D., & Golmie, N. (2018b). A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective. In *IEEE Access* (Vol. 6, pp. 78238–78259). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. In *International Journal of Production Research* (Vol. 59, Issue 6, pp. 1922–1954). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>

Anexo 1 – Folha de Análise de Problema



Central Cervejas e Bebidas

Folha de Análise de Problema



TPM

Avaria Pequena Paragem Tempo Mudança Formato Reclamação Dejeito

Quebra de Material Energia Acidente / Incidente / Quase Acidente

Operador: (envolvido ou que detectou) **Data / Hora:** 21-03-2022 a 25-03-2022 **Perda:** (min avança, nº dejetos, Ac/Inc/OA) 68 vezes

Operador 1

Área / Linha: **Máquina:** **Grupo / Componente:**

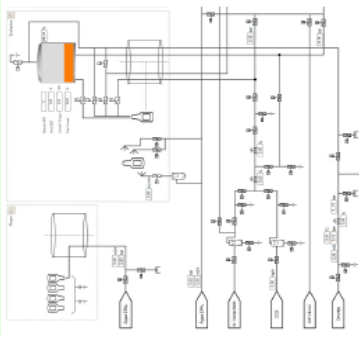
Linha R Enchedora Cubta

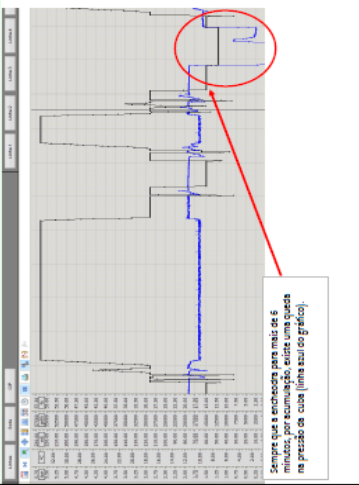
Descrição do Problema / Falha Funcional: (Que função a máquina não executa, que parâmetro está fora de controlo, o que aconteceu)

Máquina não arranca automaticamente após ficar sem acumulação à saída

Sinais anormais antes da ocorrência: (vibração, ruído, fuga, odor, temperatura, etc)

Esquema do princípio de funcionamento & Modo de Falha associado: (desenho ou foto que descreva a situação)





Sempre que a enchedora para mais de 5 segundos, aparece este erro no gráfico de pressão da cuba (linha azul no gráfico).

Modo Falha: (Qual a causa técnica ou situação que provocou perda de função, defeito, ...)

Queda de pressão na cuba da enchedora

Análise realizada por: Técnico de Electrónica 1 **Data da análise:** 05/04/2022

1º Porquê (*)	2º Porquê	3º Porquê	4º Porquê	5º Porquê	4M	Ação corretiva	Operador 1	Plano: Ação preventiva:	Quem: Técnico Electrónica 1	Plano: Exec:
<p>Circuito de CCE com queda de pressão</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Condições básicas <input type="checkbox"/> Método <input type="checkbox"/> Mão Outra <input type="checkbox"/> IT / LUP / Plano de controle / Formação</p> <p><input type="checkbox"/> Desgaste "normal" <input type="checkbox"/> Condições Operação <input type="checkbox"/> Plano Manutenção <input type="checkbox"/> Reduzir material / especificação</p> <p><input type="checkbox"/> Desgaste natural <input type="checkbox"/> Deseno, prolonga <input type="checkbox"/> Fornecedor material <input type="checkbox"/> Modificação</p> <p><input type="checkbox"/> Estilopo excessivo <input type="checkbox"/> Falha Projeto <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Modificação</p> <p><input type="checkbox"/> Qualidade do equipamento <input type="checkbox"/> Erro Operação <input type="checkbox"/> Mão Outra <input type="checkbox"/> IT / LUP / Formação</p> <p><input type="checkbox"/> Erro Manutenção <input checked="" type="checkbox"/> IT / LUP / Formação <input type="checkbox"/> Feedback</p>	<p>Valvula modeladora com controlo deficiente</p> <p><input type="checkbox"/> Sistema de controlo da Qualidade <input type="checkbox"/> Problema tecnológico <input type="checkbox"/> Condições básicas <input type="checkbox"/> Erro Operação <input type="checkbox"/> Erro de concepção do processo</p> <p><input type="checkbox"/> Processo fora de controlo <input type="checkbox"/> Quebra de set <input type="checkbox"/> Sinal do processo <input type="checkbox"/> Erro de deteção</p>	<p>Parâmetros do controlador PID ajustados incorretamente</p> <p><input type="checkbox"/> Sistema de controlo da Qualidade <input type="checkbox"/> Problema tecnológico <input type="checkbox"/> Condições básicas <input type="checkbox"/> Erro Operação <input type="checkbox"/> Erro de concepção do processo</p>	<p>Rearmar enchedora no HMI e executar arranque da máquina</p> <p><input type="checkbox"/> Utilização EPIS <input type="checkbox"/> Falha dispositivo de segurança <input type="checkbox"/> Incorruptamento <input type="checkbox"/> Falta / falta de procedimento <input type="checkbox"/> Risco residual</p>	<p>Rearmar enchedora no HMI e executar arranque da máquina</p> <p><input type="checkbox"/> Regras não claras <input type="checkbox"/> Falha de ferramenta erro de projeto <input type="checkbox"/> Incidente técnico <input type="checkbox"/> Problema técnico <input type="checkbox"/> Falta / falta de procedimento <input type="checkbox"/> Risco residual</p>	<p>Método</p> <p><input type="checkbox"/> Mão Outra <input type="checkbox"/> IT / LUP / Plano de controle / Formação <input type="checkbox"/> Reduzir material / especificação <input type="checkbox"/> Modificação <input type="checkbox"/> CILT</p>	<p>Rearmar enchedora no HMI e executar arranque da máquina</p> <p><input type="checkbox"/> Regras não claras <input type="checkbox"/> Falha de ferramenta erro de projeto <input type="checkbox"/> Incidente técnico <input type="checkbox"/> Problema técnico <input type="checkbox"/> Falta / falta de procedimento <input type="checkbox"/> Risco residual</p>	<p>Operador 1</p>	<p>Atuação dos parâmetros do controlador PID da valvula modeladora</p> <p><input type="checkbox"/> Método <input type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/> Mão/ou/ Ambiente <input type="checkbox"/> Mão Outra <input type="checkbox"/> Gestão</p>	<p>Técnico Electrónica 1</p>	<p>Exec:</p> <p><input type="checkbox"/> Especificação EPI <input type="checkbox"/> Modificação <input type="checkbox"/> CILT / Plano manual <input type="checkbox"/> Norma Segurança <input type="checkbox"/> IT / LUP / Formação <input type="checkbox"/> Coaching</p>

* Em caso de causas múltiplas, usar o 5 Porqués normal no verso da folha