



universidade
de aveiro

SHiFT2

F U T U R E

GUIA DE BOAS PRÁTICAS

PARA A INDÚSTRIA 4.0



CONTEÚDOS

Conteúdos	1
Lista de siglas e acrónimos	2
1. Introdução	3
1.1. Indústria 4.0	4
1.2. Objetivos	5
1.3. Metodologia	5
2. Análise de benchmarking	6
2.1. Metodologia	7
2.2. Aeronáutica e automóvel	7
2.3. Metalomecânica e moldes	8
2.4. Agroalimentar	9
2.5. Calçado e têxtil	9
2.6. Cerâmica, vidro e pedra	10
3. Análise de casos de estudo	13
3.1. Metodologia	14
3.2. Os casos de estudo analisados	15
4. Boas práticas para a indústria 4.0	27
4.1. Denominadores comuns	29
4.2. Boas práticas setoriais	35
5. Conclusões	40
6. Referências	41
Glossário	42

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

APS	<i>Advanced Planning and Scheduling (Planeamento e Programação Avançada)</i>	LAM	<i>Laser Additive Manufacturing (Fabricação Aditiva a Laser)</i>
BI	<i>Business Intelligence (Inteligência empresarial)</i>	MES	<i>Manufacturing Execution System (Sistema de Execução da Produção)</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>	OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness (Eficácia Global dos Equipamentos)</i>
CAD	<i>Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)</i>	OP	<i>Ordem de Produção</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing (Fabricação Assistido por Computador)</i>	PaaS	<i>Plataform-as-a-Service</i>
CNC	<i>Computerized Numerical Control (Controlo Numérico por Computador)</i>	PDA's	<i>Personal Digital Assistant (Assistente Pessoal Digital)</i>
CPS	<i>Cyber Physical System (Sistema Ciber Físico)</i>	PME	<i>Pequenas e Médias Empresas</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management (Gestão da Relação com o Cliente)</i>	SaaS	<i>Software-as-a-Service</i>
ERP	<i>Enterprise resource planning (Sistema de Gestão Integrado)</i>	SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition (Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados)</i>
GEE	<i>Gases de Efeito de Estufa</i>	SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
HMI	<i>Human Machine Interfaces</i>	TIC	<i>Tecnologias de Informação e Comunicação</i>
IA/ML	<i>Inteligencia Artificial e Machine Learning</i>	UI/UX	<i>User Interface e User Experience</i>
I&DT	<i>Investigação & Desenvolvimento</i>		
II&D	<i>Investigação Industrial & Desenvolvimento</i>		
IoT	<i>Internet of Things (Internet das Coisas)</i>		
ISQ	<i>Instituto de Soldadura e Qualidade</i>		
KPIs	<i>Key Performance Indicators (Indicadores-Chave de Desempenho)</i>		

1. INTRODUÇÃO

O projeto SHIFT2Future foi desenvolvido com o objetivo de apoiar e acelerar a transição das empresas para a economia 4.0, capacitando os empresários com conhecimento e ferramentas que lhes permitam enfrentar e ultrapassar os desafios da digitalização.

As ações de preparação das PME para o novo paradigma industrial orientam-se pelos seguintes eixos de atuação:

- Sensibilizar, formar e capacitar através seminários e workshops sobre metodologias e ferramentas de apoio à transição digital.
- Realizar diagnósticos assistidos, com recurso à ferramenta do projeto ShiftTo4.0, sobre a maturidade digital das PME, e mapeamentos setoriais e regionais.
- Identificar boas práticas e estudos de benchmarking relacionados com a implementação e adoção dos princípios da Indústria 4.0.
- Desenvolver *roadmaps* e outras ferramentas de apoio, que orientem as PME para a implementação de estratégias globais de Indústria 4.0.
- Comunicar e disseminar os resultados do projeto e demais informações, de relevância sobre a temática.

O presente **Guia de Boas Práticas para a Implementação dos Princípios da Indústria 4.0** enquadra-se no terceiro eixo e assume a ambição de reunir um conjunto de recomendações e diretrizes que auxiliem as empresas a estruturar as suas estratégias globais de transformação digital.



1.1. INDÚSTRIA 4.0

O modelo tradicional de fabrico caracterizava-se por longas etapas de conceção e desenvolvimento de produtos. Existia uma dependência por tarefas que geralmente implicavam protótipos físicos e uma produção assente em operações manuais de montagem, desmontagem e manutenção, com o registo das ações de controlo em papel e folhas de cálculo. Essas formas de trabalhar prejudicavam consideravelmente a eficiência, a rentabilidade e a capacidade de inovação das empresas.

Em 2011, ouviu-se falar pela primeira vez de Indústria 4.0 na Hannover Messe, a principal feira do mundo para a tecnologia industrial, como uma iniciativa que iria fomentar a inovação e a competitividade da indústria alemã. A nova abordagem para a produção industrial consistia em integrar as mais avançadas tecnologias digitais para criar fábricas inteligentes capazes de se adaptarem rapidamente às mudanças dos clientes e dos mercados. Desde então, o conceito de Indústria 4.0 difundiu-se e tornou-se num tema importante na agenda da indústria e dos governos em todo o mundo.

O rápido desenvolvimento tecnológico e o acesso simplificado impulsionaram a sua democratização e adoção em empresas de diversos setores industriais devido às atrativas relações de custo-benefício para a transformação digital. Simultaneamente, a Indústria 4.0 estabeleceu-se como uma oportunidade para impulsionar a inovação, a competitividade e o crescimento económico.

Na tecnologia que distingue a Indústria 4.0, o IoT (*Internet of Things*), os sistemas ciber físicos (CPS - *Cyber Physical System*) e a computação têm um papel fundamental na construção de fábricas inteligentes adaptáveis e capazes de reagir rapidamente a mudanças provenientes quer de fatores internos (como falhas de máquinas), quer de fatores externos (como tendências de mercado, pedidos de última hora de clientes, reclamações, entre outros).

O IoT permite a formação, comunicação e transferência dos dados presentes no chão de fábrica, por meio de dispositivos e sensores instalados em máquinas, processos e equipamentos industriais e conectados em rede (sensorização remota), para os CPS baseados na nuvem. Portanto, os CPS são integradores que possibilitam a monitorização, em tempo real, de dados, por parte de diversos departamentos ou unidades fabris.

Otimização de processos, redução de custos, desperdícios e não-conformidades, aumento de produtividade e disponibilidade de equipamentos industriais são alguns dos principais ganhos nas indústrias. Para responder às crescentes exigências e decisões com agilidade, inovação e de forma colaborativa, os CPS permitem que sejam

executadas análises estatísticas também com recurso à Inteligência Artificial (IA), que auxiliam a tomada de decisões fundamentadas em dados concretos e fidedignos.

A prototipagem é, neste contexto, um claro exemplo de como o caminho trilhado nos últimos anos se deve à evolução tecnológica da realidade virtual, que permite testar produtos e processos de fabrico para se detetarem oportunidades de melhoria e falhas críticas, antes da sua produção física. As equipas de engenharia podem, num ambiente de realidade virtual, transpor informação geométrica e física de vários componentes fornecidos por sistemas CAD (*Computer Aided Design*), para terem uma imagem realista do produto e do modelo digital 3D.

Apesar de se verificar uma trajetória ascendente de empresas que procuram mudar as práticas intensivas de mão-de-obra sem valor agregado por configurações de manufatura digital, existem vários desafios e incertezas científicas inerentes ao desenvolvimento de estratégias globais de transformação digital.

O principal desafio reside em criar um integrador de informação, assente numa infraestrutura segura, robusta e fiável, que é capaz de gerar um fluxo contínuo de dados entre aplicações e permitir monitorizar, em tempo real, o desempenho de uma organização.

A transformação de dados em conhecimento e valor implica, assim, um trabalho de raiz de acesso aos dados e sua catalogação, de instalação ou desenvolvimento de aplicações que permitam analisar esses dados e ainda da capacitação das pessoas com o conhecimento necessário para converter a informação contida nos dados em inovações.

1.2. OBJETIVOS

Com o objetivo de ser um recurso valioso para ajudar as empresas a adotar e implementar as tecnologias e as boas práticas da Indústria 4.0, o presente guia visa:

- Apresentar exemplos de tecnologias e práticas que contribuam para aumentar a eficiência e a produtividade dos processos industriais, a qualidade dos produtos e serviços oferecidos, e a competitividade das empresas no mercado global.
- Fornecer diretrizes e recomendações para a seleção, implementação e operação das tecnologias e práticas, a fim de garantir que essas tecnologias sejam adotadas de forma eficiente, eficaz e segura.
- Auxiliar as empresas a identificar as competências chave para preconizar a transformação digital, bem como as necessidades de formação e capacitação dos seus colaboradores.
- Promover a troca de informações e experiências entre empresas, setores e países, tendo como fim a partilha de conhecimentos e melhores práticas, facilitando a adoção dos princípios da Indústria 4.0.
- Incentivar a inovação e o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, que possam contribuir para o avanço da Indústria 4.0 e a competitividade das empresas.

1.3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente documento envolveu as seguintes ações:

1. Elaboração de um Guião de Apoio ao Benchmarking e Identificação de Boas Práticas internacionais nos setores Aeronáutica e Automóvel, Metalomecânica e Moldes, Agroalimentar, Têxtil, Cerâmica, Vidro e Pedra, com base na literatura da especialidade.
2. Definição dos critérios de seleção das empresas alvo dos Casos de Estudo, que sejam exemplificadores de projetos de transformação digital nos setores da Aeronáutica e Automóvel, Metalomecânica e Moldes, Agroalimentar, Têxtil, Cerâmica, Vidro e Pedra.
3. Observação in loco da aplicação de princípios e estratégias da Indústria 4.0 nas 10 empresas alvo dos Casos de Estudo.
4. Desenvolvimento de relatórios dos Casos de Estudo, onde foram analisadas as estratégias, metodologias e boas práticas adotadas no âmbito da indústria 4.0.
5. Identificação e avaliação de boas práticas que podem ser consideradas como denominadores comuns da Indústria 4.0 e, por isso, aplicáveis aos diversos setores de atividade analisados.
6. Seleção de boas práticas específicas para cada um dos setores de atividade, tendo em conta os seus modelos de negócio e operação.
7. Sistematização das tecnologias e boas práticas a serem adotadas para dar resposta a cada uma das seguintes dimensões: Estratégia e Organização, Infraestrutura Tecnológica, Operações Inteligentes, Produtos Inteligentes, Serviços Baseados em Dados, Recursos Humanos, e Gestão do Conhecimento.

2. ANÁLISE DE BENCHMARKING

Em 2017, Klaus Schwab referia que os principais fatores de mudanças nas empresas que decorrem da Indústria 4.0 são a velocidade (tudo ocorre a um ritmo muito mais rápido), a amplitude e profundidade (há muitas mudanças profundas em simultâneo) e a transformação completa de sistemas.

Estas mudanças impõem às empresas a definição de modelos de negócio mais ambiciosos e eficientes, capazes de dar resposta à necessidade de diferenciação, crescimento, expansão e internacionalização.

Nesse mesmo ano, o conceito de Sociedade 5.0 emerge no Japão, defendendo o (re)posicionamento das pessoas no centro da inovação e da transformação tecnológica, desafiando as empresas a focarem os seus processos, produtos e serviços nas necessidades das sociedades, através de uma profunda integração de tecnologias, como a IA, Robótica, *Big Data*, entre outras.

Considerando a importância de definir uma estratégia que preconize a eficiência, a sustentabilidade e a responsabilidade social nas empresas, através da adoção dos princípios da Indústria 4.0 e da Sociedade 5.0, quer no seu ecossistema empresarial (vertente interna), quer nos seus utentes, clientes, consumidores, fornecedores e parceiros (vertente externa), pretende-se nesta secção apresentar algumas das boas práticas internacionais identificadas nos setores Aeronáutica e Automóvel, Metalomecânica e Moldes, Agroalimentar, Têxtil, Cerâmica, Vidro e Pedra, com base na literatura da especialidade.



2.1. METODOLOGIA

Com o objetivo de levar a cabo um estudo de benchmarking internacional sobre processos de transformação digital em empresas das indústrias Aeronáutica e Automóvel, Metalomecânica e Moldes, Agroalimentar, Calçado e Têxtil, Cerâmica, Vidro e Pedra, o mapeamento do estado da arte foi conduzido nas conceituadas bases de dados científicos Web of Science e Scopus.¹

Desta pesquisa, selecionaram-se catorze estudos reportados na literatura, que se resumem na Tabela 1, por se considerar que aportam um maior valor de inovação e de riqueza de dados dos seus projetos de transição digital.

Nesse sentido, os artigos escolhidos ambicionam contextualizar de que forma os recentes rumos industriais se apoiam na evolução tecnológica para aumentar a eficiência, inovação e qualidade produtiva e oferecer uma visão abrangente das melhores práticas e estratégias implementadas.



2.2. AERONÁUTICA E AUTOMÓVEL

No setor Aeronáutico e Automóvel, Ahmad et al. (2015) apresentam um estudo sobre a montagem virtual de um motor de turbina de avião. Exploram as vantagens de construir modelos de Realidade Virtual (RV) para a prototipagem virtual de motores de turbina, desde a concepção de peças, passando pela simulação dos movimentos de peças, à verificação do processo de montagem.

A indústria de produção de aeronaves esforça-se por ser altamente eficiente e rentável, aplicando estrategicamente a tecnologia como forma de reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento e de produção de produtos. Ainda assim, os autores reconhecem que as tecnologias que permitem avaliar e analisar a montagem virtual não se encontram totalmente utilizadas pela indústria.

¹ Termos de pesquisa utilizados: (“digital transformation”) AND (“case study”) AND (aeronautics OR automotive OR metal OR mechanics OR molds OR agro-food OR footwear OR textile OR ceramics OR glass OR stone).

O estudo prossegue com a apresentação e desenvolvimento de um sistema de montagem interativo e imersivo, apoiado pela realidade virtual, que contempla todos os componentes de um motor de turbina para aviões.

O projeto foi implementado em duas fases distintas. Na primeira fase, foi utilizado um conjunto semi-imersivo de RV para criar um ambiente virtual para o motor de turbina de avião. Na segunda fase, o ambiente semi-imersivo ofereceu aos engenheiros uma perspectiva da turbina no digital, permitindo a consequente montagem virtual.

A integração de tecnologias como a RV aumenta a possibilidade de as organizações conceberem várias e diversificadas soluções tecnológicas, que permitem a rápida deteção de erros e a transferência de conhecimento adquirido para todas as fases do desenvolvimento do produto.

Alam et al. (2020) apresentam como estudo o Instituto Nacional de Aeronáutica e Espaço (LAPAN) da Indonésia. O LAPAN é uma instituição de pesquisa e desenvolvimento que tem como missão impulsionar os setores de desenvolvimento nacional, com base na ciência e tecnologia aeronáutica e espacial. A Tecnologia da Informação (TI) passou a ter um papel estratégico no Instituto, cujos esforços para maximizar o papel da TI foram reconhecidos através de prémios como o “TOP IT on One Data LAPAN Services 2018” e “TOP Digital Transformations Readiness 2018”.

O estudo utilizou métodos qualitativos para identificar que mudanças foram implementadas no setor das TI tais como: entrevistas aos coordenadores de sistemas de informação e funcionários, bem como a análise de estudos documentais e bibliográficos. Os resultados demonstram como a utilização das TIC, a par da criação de aplicações, servem de suporte à tomada de decisões estratégicas.

Moeketsi e Letaba (2022) partem da premissa que as empresas do setor automóvel investem em inovação de processo. Focaram-se numa empresa sul-africana para mostrar que as capacidades tecnológicas variaram de inadequado a satisfatório. Os autores identificam como áreas prioritárias de intervenção a Robótica, Big Data, Computação em Nuvem e Sistemas Avançados de manufatura para apoiar projetos de I&D.

Em sentido inverso, identificaram que a mentalidade dos trabalhadores era um dos principais impeditivos para maximizar as potencialidades das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0. Os autores sugerem, para uma primeira fase de transformação digital, uma estratégia de inovação progressiva ao nível da qualidade e da eficiência produtiva.

2.3. METALOMECÂNICA E MOLDES

No setor da Metalomecânica e Moldes, Alexopoulos et al. (2022) apresentam a transformação digital de uma PME que desenvolve e produz moldes. O objetivo do projeto era o de eliminar tarefas manuais e de valor não acrescentado, associadas ao registo de peças não conformes, tempos de produção, entre outras.

Para digitalizar o planeamento e a gestão da produção, bem como monitorizar em tempo real a sua eficiência, começaram por identificar as fases necessárias à mudança de práticas intensivas em mão-de-obra, e sem valor agregado, por processos digitais e inteligentes.

Após a análise de requisitos, um conjunto de funcionalidades digitais foi proposto e mapeado em função das necessidades da empresa.

A solução digital desenvolvida, uma infraestrutura de dados industrial, incluiu tecnologias como IoT, gestão de dados, planeamento inteligente de produção e diversas plataformas web.

Dado o risco associado a estas decisões, estudaram-se as *frameworks* e *stacks* tecnológicas a adotar para a gestão otimizada e segura da informação.

Os sensores de IoT presentes nas máquinas e base de dados que servem as aplicações foram ligados à infraestrutura, passando a ser possível avaliar a eficiência e a qualidade das ordens de trabalho.

Deste processo de transição digital, resultou uma completa reestruturação da infraestrutura tecnológica de gestão de dados, que foi designada de *Backend*, e o design de novas aplicações para a gestão ágil das operações no chão de fábrica e que representa a camada de *Frontend*.

Outros autores, Parra et al. (2022), adotam uma abordagem setorial que tem em conta as vulnerabilidades das PMEs de manufatura altamente tradicionais. Realizaram um estudo numa empresa espanhola com o objetivo de mostrar e analisar o seu modelo

de transformação digital, assente numa metodologia de trabalho que combina o ERP (*Enterprise Resource Planning*) com os benefícios da utilização da filosofia *Lean*.

É apresentada uma plataforma web que foi desenvolvida e integrada com o ERP, para digitalizar as operações de gestão dos projetos de moldes, em toda a sua cadeia de valor. As bibliotecas de código aberto utilizadas permitiram criar uma interface intuitiva, confiável e amigável para recolher, armazenar, transferir, gerir e suportar a integração de dados das atividades.

As atividades de fabricação de moldes geram grandes quantidades de dados que podem apoiar a fabricação de produtos. Mourtzis e Doukas (2014) ilustram como uma empresa tradicional tem imensos desafios associados à qualidade, eficiência e agilidade produtiva.

Geralmente, essas empresas começam por receber encomendas de moldes de injeção, que culminam no preenchimento de um formulário de requisitos em papel, com os dados do cliente (nome, empresa, telefone, e-mail, etc.) e as especificações do produto (matéria-prima, cor, embalagem, número de cavidades, qualidade da superfície, etc.). Cada encomenda origina um novo projeto, que é enviado para os departamentos financeiro, de engenharia e administrativo.

Em termos de prazo de entrega, o produto final costuma ser preparado com base na experiência dos colaboradores e da administração. Durante a fase de conceção do molde, os desenhos são feitos no CAD para detalhar as peças do molde. Posteriormente, os planos de processo para a sua produção são feitos manualmente.

Este processo manual levanta, nas palavras de Mourtzis e Doukas (2014), numerosas questões. Durante a recolha de dados, os clientes muitas vezes são incapazes de fornecer necessidades totalmente pormenorizadas. Já a estimativa de entrega de produto, que se baseia apenas na experiência dos engenheiros, gera uma imprecisão próxima de 15-20% em relação ao prazo de entrega efetivo.

Durante a fase de fabrico do molde, como não é realizada qualquer programação a curto prazo, o desempenho produtivo está longe de ser ótimo, gerando incorreções em termos de informações e de gestão do conhecimento. Outro grande desafio deve-se ao facto dos operadores nem sempre documentarem todas as ocorrências.

Beliatis et al. (2021) apresentam um estudo sobre uma empresa da área metalúrgica que pretendia adotar tecnologias IoT para rastrear os produtos ao longo das etapas de fabricação. A implementação de uma solução de rastreabilidade digital oferece benefícios para a compreensão dos *lead times* e gargalos da fabricação, por exemplo.

O artigo destaca a importância de se selecionar uma solução tecnológica a partir do processo produtivo atual, pois, nas palavras dos autores, ajuda a identificar uma tecnologia adequada às necessidades da empresa. No roteiro geral da transformação digital, destacam uma abordagem de implementação passo a passo para construir uma cultura de digitalização, bem como a realização de ações de formação para permitir uma transição suave para os colaboradores e com o mínimo de interrupções nas rotinas de trabalho.



2.4. AGROALIMENTAR

No setor agroalimentar, Guggenmos et al. (2022) debruçaram-se na prevenção de perigos e ameaças associadas aos projetos de transformação digital.

Sob pena de a eficiência operacional e vantagens competitivas decorrentes da digitalização serem comprometidas, os autores propõem um caminho na definição de uma estratégia de segurança informática.

Quanto à metodologia adotada, os autores efetuaram uma revisão da literatura e entrevistaram 14 especialistas industriais para perceberem a importância da cibersegurança na transformação digital. Seguidamente, trabalharam de forma iterativa com 20 especialistas e investigadores na área da indústria e validaram o modelo/*checklist* junto da indústria através de 2 entrevistas realizadas em momentos distintos.

Segundo os autores, as seguintes questões podem ser utilizadas pelas empresas para perceberem como devem pensar/incluir a cibersegurança nas suas estratégias e como identificar para cada questão os respetivos requisitos.

- Até que ponto a sua organização tem uma elevada consciência para a cibersegurança e inclui este assunto nos projetos informáticos?
- Em que medida a sua organização se esforça por evitar lacunas técnicas?
- Quão forte ou crítica é a interligação da organização com outras empresas (centrando-se nos fornecedores (B2B))?
- Quão forte ou crítica é a interconectividade da organização com outras empresas (centrando-se nos clientes (B2B))?

- Existe um elevado nível de adoção de normas de segurança de TI estabelecidas em toda a indústria, independentes de regulamentos legais obrigatórios?
- Existe um elevado nível de padrões de segurança de TI estabelecidos no(s) cliente(s) do seu projeto, independentemente dos regulamentos legais obrigatórios?
- Até que ponto o campo específico (âmbito do projeto) está regulado legalmente em termos de segurança informática?
- Qual é a intensidade da aplicação operacional no cliente (resultado do projeto) legalmente regulada em termos de segurança informática?
- Em que medida é "boa" a segurança informática esperada pelos clientes do projeto? Em que medida a "boa" segurança informática dos projetos oferece um possível acesso a mercados ou clientes novos/futuros?
- Em que medida a "boa" segurança informática dos projetos oferece vantagens competitivas diretas?
- Quão vulnerável é a sua vantagem competitiva aos incidentes de segurança informática?
- Em que medida é que a sua posição no mercado cria maior pressão para melhorar a segurança informática?
- Em que medida é que as vantagens de ser o primeiro a chegar ao topo das inovações superam os requisitos de segurança informática?
- Em que medida é que os incidentes de segurança informática revelaram as vulnerabilidades ou vetores de ataque da sua organização durante os últimos dois anos?
- Qual é a dimensão da utilização de tecnologias seguras num dado projeto?



2.5. CALÇADO E TÊXTIL

No setor do calçado e têxtil, Choi (2022) concentra-se nas potencialidades do uso da simulação virtual 3D para desenvolver novos modelos de vestuário.

À semelhança do estudo sobre a montagem virtual de um motor de turbina de avião, a mais recente tecnologia (sistema de vestuário virtual) foi utilizada para testar, de forma

dinâmica, diferentes estilos, tamanhos, cores, padrões, entre outros, e respetiva integração em plataformas de venda *online*.

Para projetar e desenvolver amostras de roupas (de moda) dinâmicas em 3D, foram combinados um sistema de vestuário virtual e um sistema de edição e criação de vídeo.

Não existe qualquer necessidade de amostras físicas, dado que as mudanças expansivas e versáteis na criação dos estilos (design) ocorrem digitalmente em avatares.

Isto acontece uma vez que, a partir da projeção de um vestido base num avatar, todas as mudanças em padrões 2D, como comprimento, cores, texturas e detalhes são simulados, o que contribui para melhorar a qualidade dos designs, verificar a silhueta e ajustar o processo de desenvolvimento.

No estudo de González et al. (2022), é apresentado o desenvolvimento de um modelo de produção industrial assente em Big Data para auxiliar a tomada de decisão, otimização de tempo e custos e mitigação dos impactos ambientais associados em PMEs do setor de vestuário.

Com a implementação e utilização de um modelo baseado em Big Data, que pode ser adquirido como um serviço de análise de negócios e de dados ou desenvolvido à medida, a visualização em *dashboard* da informação processada em tempo real permite aos operadores tomar decisões em períodos mais curtos e de forma eficiente, pois baseiam-se matematicamente nos dados processados e entregues pelas bases de dados do sistema.

As possibilidades informativas são diversas e não se esgotam no número de lotes processados, programação de produção, lead time projetado, requisitos operacionais, monitorização de encomendas dentro dos armazéns e estado, ou a atribuição de causas de não conformidades.

A experiência de implementação do modelo proposto nesta investigação mostra que se trata de uma tecnologia em evolução, sendo necessário um processo contínuo de inovação para atualizar e melhorar ainda mais o modelo.

2.6. CERÂMICA, VIDRO E PEDRA

No setor da cerâmica, vidro e pedra, Margherita e Braccini (2020) dedicaram-se ao estudo de um fabricante de cerâmica sanitária que implementou um processo 100% automatizado com recurso a braços robóticos, transportadores e empilhadores integrados, no qual a função dos trabalhadores passou a ser supervisionar e ajustar estas máquinas controladas por IoT.

Antes desta transformação digital, o processo de produção da empresa era perigoso para a saúde dos trabalhadores. Existia a inalação de pó macio (giz), contacto com um ambiente de alta temperatura (a temperatura do forno ronda os 1200°C), e esforços com cargas pesadas. Com o manuseamento de máquinas e materiais pela linha de montagem, existiam ocorrências relacionadas com a qualidade e desperdícios de produto. Por outro lado, todas as informações sobre o processo de produção eram recolhidas manualmente.

Com a adoção de tecnologias i4.0, foi possível controlar e monitorizar, em tempo real, todo o processo produtivo. Isto é, as máquinas, operações e matérias-primas que o sustentam. Outra grande mudança diz respeito à análise contínua dos dados produzidos, com a presença de relatórios sobre o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) dos equipamentos e de previsões sobre tendências futuras de produção. Deste modo, a intervenção humana é hoje direcionada para a supervisão de operações e para os processos de melhoria contínua.

A empresa criou um departamento interno de Investigação & Desenvolvimento, introduziu um sistema CAD-3D, contratou *designers* CAD, e ofereceu aos trabalhadores uma formação especializada, que acompanhou os cinco anos de implementação do projeto.

O estudo mostra que as tecnologias da Indústria 4.0 permitem alcançar valor organizacional sustentável quando são implantadas com uma abordagem centrada no trabalhador. No estudo em análise, a empresa teve ganhos de produção na ordem dos 30%, o *lead time* diminuiu, mesmo com uma variedade maior de produtos; os defeitos diminuíram dos 30% para os 9%; e o uso de recursos (energia, água, calor e matérias-primas) foi otimizado.

Hamzaoglu et al. (2022) exploram as possibilidades de documentar digitalmente os procedimentos de escultura ao nível da criação de inventários com recurso à tecnologia 3D. Para o efeito, investigam a transformação dos parâmetros de corte e das secções transversais de gravação, bem como a integração de técnicas baseadas em maquinação CNC. Apesar do crescente interesse na adaptação de processos computacionais à produção de artesanato, os autores admitem que ainda não foi explorado como o conhecimento do setor é documentado, transmitido e utilizado para aumentar a qualidade do trabalho.

A investigação de Yabansu et al. (2019) é relevante no campo da transformação digital na medida em que destaca a importância dos modelos matemáticos avançados e técnicas de simulação na engenharia de materiais. A utilização de tecnologias da Indústria 4.0, como a Inteligência Artificial, a Aprendizagem Automática e a análise de grandes volumes de dados (*Big Data*), pode auxiliar a desenvolver modelos mais precisos e eficientes para prever o comportamento dos materiais e otimizar os processos de fabrico.

A aplicação de modelos autorregressivos do processo Gaussiano é um exemplo de como as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser utilizadas para melhorar a investigação dos materiais. Esses modelos são baseados em métodos estatísticos que podem incorporar relações complexas entre variáveis, permitindo analisar grandes conjuntos de dados gerados por simulações ou testes piloto.

A introdução do efeito de plasticidade induzida por transformação nos compósitos de vidro metálico é reconhecida como uma forma eficaz para melhorar a sua ductilidade e capacidade de endurecimento por deformação. Como essa exploração é normalmente efetuada pelo método de tentativa e erro, tornando o processo de desenvolvimento extremamente demorado e trabalhoso, Yu et al. (2021) afirmam que o fabrico aditivo a laser (LAM) pode reduzir significativamente o tempo e o esforço necessários neste processo de exploração.

Os autores apresentam uma nova estratégia de alto rendimento, que envolve a preparação rápida de amostras com diferentes condições passíveis de serem submetidas à LAM. Esta última tem a capacidade de produzir, com elevada flexibilidade, várias composições e microestruturas (algumas delas impossíveis de serem obtidas pelos métodos convencionais de tentativa erro), sendo necessário controlar a potência e a velocidade do laser, bem como a taxa de alimentação do pó. Os autores concluem salientando a redução significativa de tempo e custos necessários para o desenvolvimento de novos compósitos de vidro metálico.



Tabela 1: Resumo da análise de estudos internacionais de transformação digital.

ESTUDOS	SECTOR	RESUMO
Ahmad et al. (2015) Alam et al. (2020) Moeketsi e Letaba (2022)	 AERONÁUTICA E AUTOMÓVEL	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de modelos de realidade virtual para a prototipagem digital de motores. • Simplificação e padronização dos processos de conceção de peças, simulação de movimentos, montagem de motores e verificação digital. • Integração da tecnologia de realidade virtual com o ambiente CAD/CAM. • Utilização das TIC e criação de aplicações como suporte ao modelo de negócio. • Aplicação de IoT, Big Data, Inteligência Artificial, softwares em nuvem e tecnologias móveis para apoiar projetos de I&D. • Construção de culturas de trabalho comunicativas e colaborativas baseadas nas TIC. • Áreas prioritárias de investimento no setor automóvel: robótica, sistemas de produção, Big Data e a computação em nuvem. • Interação contínua de empresas com redes globais de parceiros estão na origem da introdução de iniciativas da Indústria 4.0, essencialmente em termos de processos, qualidade e custos.
Mourtzis e Doukas (2014) Beliatas et al. (2021) Alexopoulos et al. (2022) Parra et al. (2022)	 METALOMECÂNICA E MOLDES	<ul style="list-style-type: none"> • Transformação de práticas intensivas em mão-de-obra, sem valor acrescentado, em processos digitais e inteligentes, por meio de tecnologias como os sensores de IoT, o planeamento inteligente de produção e a análise de dados. • Integração de tecnologias IoT para rastrear e monitorizar o produto no chão de fábrica ao longo da produção e dos lotes em termos de movimentos específicos, locais, tempo de atividade e tempo de inatividade. • Escolha de soluções de código aberto em ambientes de produção para obter interfaces intuitivas. • Desenvolvimento e implantação de aplicações de engenharia inteligentes em dispositivos móveis, para registar a informação gerada pelas atividades diárias em tempo real e para criar indicadores de medição de máquinas, pessoas e processos. • Utilização das TIC para incorporar a filosofia Lean. • Combinação das aplicações para melhorar a eficiência dos processos de produção e criação de valor acrescentado. • Construção de culturas de digitalização, através de ações educativas, para permitir uma transição mais suave para os colaboradores com o mínimo de interrupções nas rotinas diárias de trabalho. • Reutilização do conhecimento interno e de parceiros para apoiar as atividades de conceção e planeamento.
Guggenmos et al. (2022)	 AGROALIMENTAR	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de uma cultura de trabalho comunicativa e colaborativa baseada nas TIC. • Identificação e estruturação das áreas relevantes nas quais a organização se deve concentrar na segurança de TI para cumprimento da sua estratégia. • Avaliação e obtenção estratégica de recursos de segurança em projetos de digitalização.
Choi (2022) González et al. (2022)	 CALÇADO/TÊXTIL	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de softwares de CAD 3D para visualizar instantaneamente mudanças dinâmicas, expansivas e versáteis no <i>design</i> de vestuário. • Simulação virtual de elementos como padrões, cores, texturas, entre outros, sem a necessidade de amostras físicas. • Eficiência dos processos de desenvolvimento e da qualidade de produtos. • Desenvolvimento de modelos industriais assentes em <i>Big Data</i> para as fases de planeamento, desenho e estruturação, para auxiliar a tomada de decisão, otimização de tempo e custos e mitigação dos impactos ambientais associados.
Yabansu et al. (2019) Margherita e Braccini (2020) Yu et al. (2021). Hamzaoglu et al. (2022)	 CERÂMICA/VIDRO/ PEDRA	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização da Inteligência Artificial, Aprendizagem Automática e Big Data para prever o comportamento dos materiais e otimizar os processos de produção. • Aplicação de modelos baseados em métodos estatísticos que incorporam relações complexas entre variáveis, para analisar grandes conjuntos de dados gerados por simulações ou testes piloto. • Desenvolvimento de estratégias de alto rendimento através da técnica LAM, para acelerar o processo de exploração de efeito de plasticidade induzida por transformação em compósitos de vidro metálico a granel. • Criação de processos digitais para a documentação e produção de artesanato.

3. ANÁLISE DE CASOS DE ESTUDO

Considerando a importância dos Casos de Estudo de diferentes áreas para identificar as boas práticas implementadas na Indústria 4.0 e ajustá-las para outras realidades e objetivos, nesta secção apresentam-se e explicam-se os critérios de seleção e de análise dos 10 Casos de Estudo avaliados, com representatividade sub-setorial e dispersão geográfica.

Elaboraram-se 10 Casos de Estudo, dos quais em 7 PME e 3 não PME, dos setores da Metalomecânica (2), incluindo Moldes e Plásticos (2), Têxtil (2), Vidro (2) e Alimentar (2), onde foram analisadas as seguintes dimensões: Estratégia e Organização, Infraestrutura Tecnológica, Operações Inteligentes, Produtos Inteligentes, Serviços Baseados em Dados, Recursos Humanos, e Gestão do Conhecimento.

As empresas objeto dos Casos de Estudo foram selecionadas tendo em conta os seguintes critérios: setor de atividade; dimensão; visão e postura perante os desafios impostos pela digitalização; características, reputação e notoriedade da empresa; estratégias e metodologias implementadas; resultados alcançados.

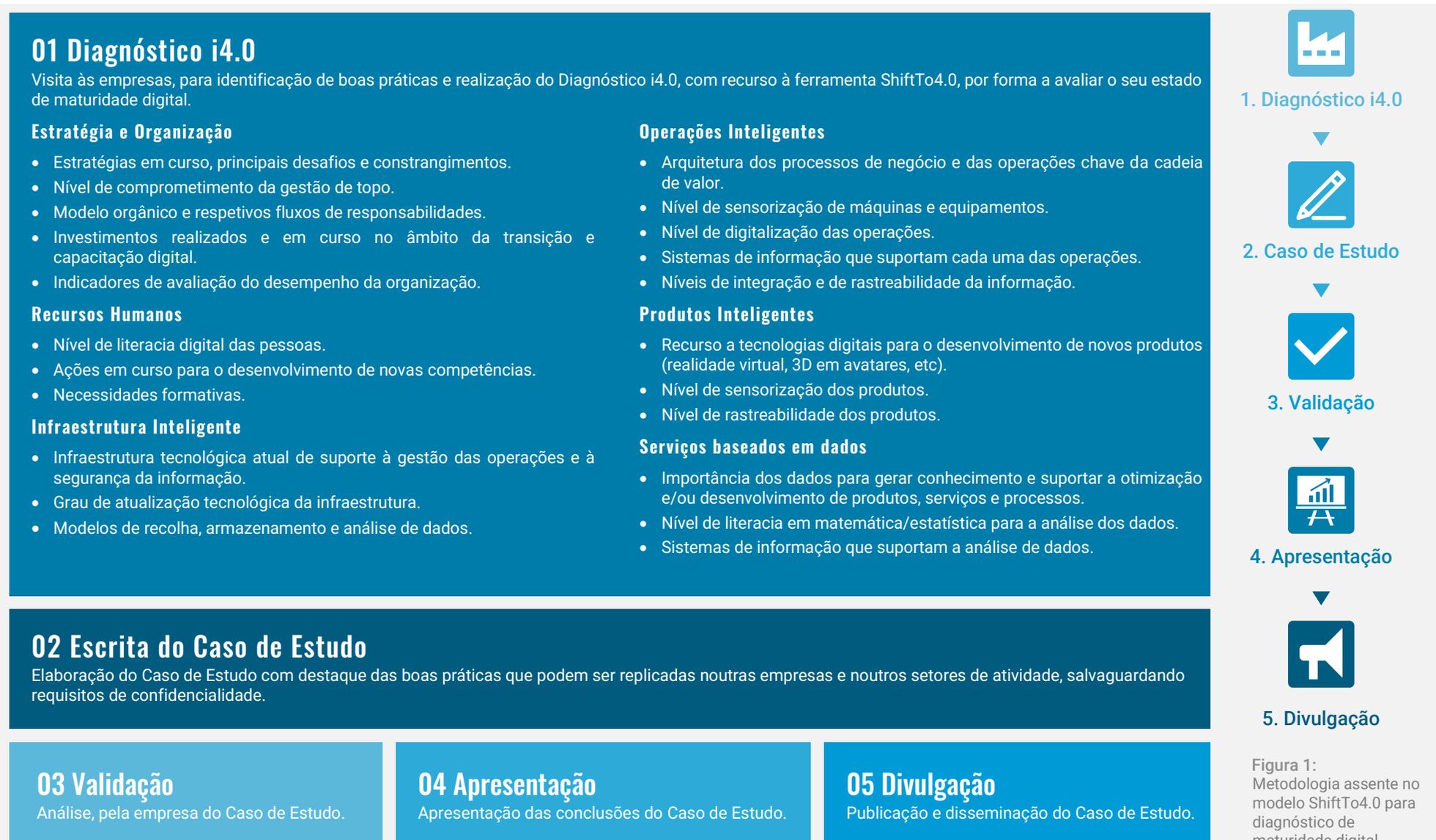
Na seleção destes casos pretendeu-se ainda reunir um conjunto eclético de empresas, quer ao nível das suas dimensões e realidades, quer dos seus modelos de operação (contínuos ou discretos) para mostrar que esta transformação está ao alcance de qualquer empresa, que se comprometa a mudar e a criar as condições necessárias para que tal aconteça. Por isso, nestes Casos de Estudo é possível encontrar, quer uma Não PME que opera em vários países e num regime contínuo (24 horas/7 dias por semana), quer uma pequena empresa familiar que tem uma visão i4.0 e pretende preconizá-la investindo na sua transformação digital.

Deste trabalho, identificaram-se denominadores comuns de boas práticas (estratégias, metodologias e abordagens) que podem ser aplicados na definição de roteiros que acelerem a transição digital nas empresas de qualquer setor de atividade, bem como boas práticas específicas de cada setor industrial, tendo em conta os seus modelos de negócio e de operação.



3.1. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos Casos de Estudo é ilustrada de seguida, na Figura 1:



3.2. OS CASOS DE ESTUDO ANALISADOS

O presente trabalho baseou-se numa análise de casos práticos reais, resumindo-se, neste ponto, as principais boas práticas identificadas no seu percurso para a transição digital. Todas as empresas foram anonimizadas, de forma a evitar que informação sensível pudesse ser transmitida e utilizada em benefício próprio pela concorrência direta.

Apesar dos 10 Casos de Estudo, 7 PME e 3 Não PME, representarem os setores da Metalomecânica (2), incluindo Moldes & Plásticos (2), Têxtil (2), Vidro (2) e Agroalimentar (2), é possível agrupar as suas estratégias de digitalização em função dos seus modelos de operação (laboração contínua ou discreta, sob encomenda ou com base em previsões da procura) e da variabilidade de produtos (monoproduto ou multiproduto), pois respondem a desafios distintos. Na Tabela 2 apresenta-se a matriz de caracterização das empresas em função destes fatores.

Tabela 2: Modelos de operação das empresas.

	DISCRETA	CONTÍNUA
Sob Encomenda	"one piece flow" (múltiplos produtos, mas únicos). Múltiplos produtos com réplicas.	Múltiplos produtos com réplicas.
Estimativa da procura	-	Monoproduto Múltiplos produtos com réplicas.

Quatro destas empresas trabalham segundo operações discretas, sob encomenda e numa lógica de peça única (setor dos moldes e metalomecânica), conhecida por "one piece flow", enquanto três empresas produzem vários itens iguais em cada operação (injeção de plásticos e setor têxtil).

Uma das empresas Não PME, da área do engarrafamento, trabalha sob encomenda, segundo processos tipicamente contínuos, que compreendem algumas operações discretas de montagem.

Duas das empresas laboram 24 horas/7 dias por semana, uma de forma contínua, num modelo de negócio multiproduto, enquanto outra compreende um processo 100% contínuo, automatizado e monoproduto.

Quando uma empresa opera segundo operações discretas e sob encomenda, existe tipicamente uma elevada variabilidade de produtos que são produzidos segundo roteiros de produção que incluem várias operações e tarefas por operação. É ainda comum encontrar áreas de stock e atividades de transporte manual de produtos intermédios, que têm de ser rastreados ao nível da encomenda.

Nestes casos, os principais desafios da transformação digital centram-se na criação de uma infraestrutura que consiga recolher dados, devidamente catalogados, das diversas operações, que podem posteriormente ser processados por máquinas, equipamentos ou apenas por pessoas (exemplo das operações de montagem). São ainda desafios assegurar a rastreabilidade de um produto, que integra componentes produzidos em operações internas ou externas, bem como um planeamento adequado das ordens de trabalho, que maximize a taxa de ocupação de máquina, equipamentos e pessoas e permita o cálculo do custo de cada operação.

Nos processos de produção contínua, existe tipicamente menor variabilidade de produtos e os principais desafios da digitalização focam-se na automatização de tarefas de valor não acrescentado e na análise do enorme volume de dados, que decorre da integração entre os sistemas de gestão global da empresa, os ERPs, e os sistemas mais operacionais de gestão da eficiência e da qualidade do chão de fábrica.

De forma transversal a estes dois modelos de operação (discreto ou contínuo) impõem-se de forma clara e inequívoca o desafio da cibersegurança e a capacitação das pessoas para usar novas tecnologias e sistemas, e extrair conhecimento dos dados, para serem convertidos em ações que otimizem o *modus operandi* da organização.

A Figura 2 ilustra um exemplo típico de um modelo de operações discretas e sob encomenda do setor da metalomecânica, que facilmente se pode transpor para empresas dos setores têxtil e do vidro.

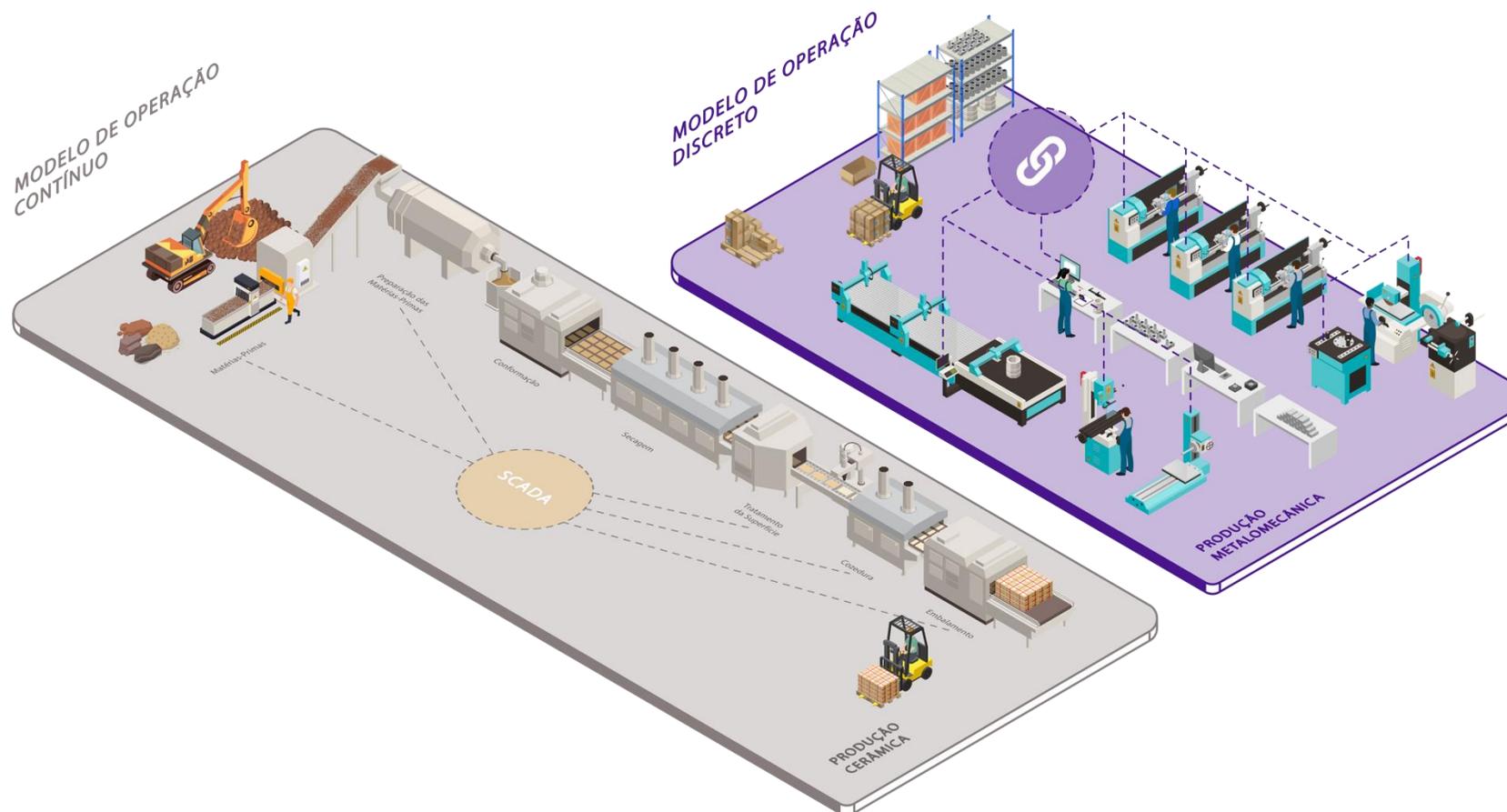


Figura 2: Exemplo de modelos de operação discreto no setor da metalomecânica e contínuo do setor da cerâmica .

Na Figura 2 ilustra-se, também, um exemplo típico de um processo contínuo no setor da cerâmica que se pode transpor para empresas do setor do vidro, alimentar e afins. Estes processos, dada a sua natureza, já integram vários princípios de Indústria 4.0 como a sensorização, automação, interconectividade e análise do enorme volume de dados gerado a cada instante.

De seguida apresenta-se um resumo das principais conclusões obtidas em cada um dos Casos de Estudo analisados, sendo identificadas (i) as práticas inovadoras e bem-sucedidas que podem ser replicadas por outras empresas para melhorar seus próprios processos; (ii) os desafios enfrentados na implementação da Indústria 4.0; (iii) os erros associados à tomada de decisões e (iv) o impacto das estratégias implementadas na melhoria da eficiência, produtividade e consequentemente da competitividade das empresas, em prol da sua sustentabilidade e do alcance de melhores resultados financeiros.

Setor

TÊXTIL

Caso de Estudo 1

Uma das empresas do setor têxtil é uma PME com mais de 100 colaboradores que produz sob encomenda produtos de vestuário. Esses produtos têm várias certificações que atestam qualidade e responsabilidade social e ecológica. Trata-se de uma organização que sempre apostou na inovação de produto e processo, vendo na Indústria 4.0 e na implementação de um sistema de gestão das operações digitalizado e integrado como a chave para conseguir planejar a produção das suas encomendas e cumprir os prazos.

A aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que antes da implementação do projeto de transformação digital:

- O processo comercial de prospecção de clientes e negócios era realizado de forma tradicional, principalmente via email.
- A gestão das operações decorria no ERP, no sistema *Cloud* e em várias folhas de cálculo e pastas em papel, sendo a troca de informação (interna e externa) realizada através do email. Existia a vontade da empresa de digitalizar toda a sua cadeia de valor e, em particular, de investir num sistema de planeamento da produção em substituição do seu atual sistema, que criava elevados constrangimentos.
- Por este motivo, o planeamento das ordens de fabrico era feito pelos responsáveis de cada área de forma manual e as encomendas urgentes eram as prioritárias.
- A gestão de stocks era maioritariamente feita de forma visual.
- O controlo da manutenção era levado a cabo com uma folha física junto de cada equipamento para registo das atividades de manutenção. A informação recolhida era posteriormente integrada numa folha de cálculo, com o objetivo de avaliar o desempenho das máquinas.
- Os KPIs eram criados e disponibilizados numa frequência mensal ou trimestral numa folha de cálculo.
- O aprovisionamento de materiais era feito maioritariamente de forma informal, por telefone ou email.
- Toda a documentação de apoio à produção era distribuída, e pastas físicas acompanhavam o processo de encomenda.

Boas Práticas

- Integração na fase do pré-projeto o diagnóstico de maturidade digital para avaliar o estado da arte da empresa face aos desafios da indústria 4.0 e identificar as áreas prioritárias de intervenção.
- Implementação de um CRM para monitorizar o processo de prospecção de negócios, a relação com os clientes atuais e futuros, o fluxo de informação, regras e documentos que suportam a criação de uma encomenda.
- Instalação de um sistema de gestão documental para controlar os dossiers de cada projeto e desmaterializar os documentos.
- Integração de um APS para avaliar, de forma dinâmica e automática, vários cenários de produção, em função de parâmetros como prazos de entrega, roteiros de produção, constrangimentos, recursos, stocks, localizações, etc.
- Implementação de um sistema para medir o OEE dos equipamentos, dos processos e de forma geral a Fábrica, que assegure a desmaterialização dos registos no chão de fábrica, bem como de outras ferramentas para gerir a manutenção e para auxiliar o processo de logística interna.

Setor

TÊXTIL

Caso de Estudo 2

Esta PME do setor têxtil possui uma longa história na tinturaria e fiação. Desde a sua fundação, destaca-se na indústria têxtil pela sua capacidade distintiva de preservar a tradição no setor, enquanto alia a inovação com novos produtos e coleções. A internacionalização e a qualidade dos seus produtos têm permitido afirmar-se como uma marca que desenvolve soluções à medida das necessidades de cada cliente.

A empresa partiu para o processo de transformação digital com o objetivo concreto de mudar o modelo de gestão das suas operações, que decorrem de forma discreta no chão de fábrica e sob encomenda.

A aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que antes da implementação deste processo:

- A gestão das operações era realizada de forma manual, com registos em papel dos tempos de produção (data e hora de início e de fim) de cada ordem de fabrico, das quantidades produzidas e matérias consumidas.
- Os dados da produção eram preenchidos numa folha de cálculo para posterior registo no ERP, mas sempre com um hiato temporal por vezes superior a uma semana.
- As máquinas não estavam ligadas a sistemas de controlo ou recolha de dados.
- Não existia uma solução que permitisse ver de forma eficaz a capacidade efetiva de cada processo, quer ao nível dos equipamentos, quer da mão de obra.
- A gestão das receitas e o controlo de parâmetros críticos da produção também era realizado de forma manual.

Boas Práticas

- Desenvolvimento, à medida, de uma aplicação para a gestão das instruções de fabrico, roteiros de produção e receitas, que integra com o sistema de cálculo dos OEE e com o ERP.
- Nesta aplicação é possível definir procedimentos standard de produção e que parâmetros devem ser controlados, tais como tempo e temperaturas, bem como componentes e matérias-primas a utilizar e respetivas quantidades.
- Esta aplicação permite ainda ao operador poder consultar a instrução de fabrico, através de uma interface simples e intuitiva, registar os passos realizados e anexar informação sobre os mesmos (valores numéricos, texto ou atributos).
- A integração desta aplicação com o software de cálculo do OEE e com o ERP, permite a gestão dos dados relativos à produção (tempos, quantidades produzidas e não conformes) e uma avaliação dos custos de cada ordem de fabrico, sendo este um objetivo chave para a empresa.
- Desenvolvimento de *dashboards* de análise da eficiência das ordens de fabrico e do chão fábrica.
- Capacitação das equipas para operar com a aplicação desenvolvida e os sistemas comerciais instalados, bem como para a análise dos dados e definição de ações de correção e melhoria.

Setor

VIDRO

Caso de Estudo 1

Há mais de 40 anos no corte e na transformação de vidro plano, estando capacitada para trabalhar vidros de grandes dimensões ou pequenas peças esculpidas, esta empresa familiar opera de forma discreta e sob encomenda. Foi pioneira em Portugal quando adquiriu um equipamento de corte a jato de água. O investimento em novas máquinas e na digitalização tem sido fundamental para dar resposta aos desafios do mercado e da Indústria 4.0, e promover o seu crescimento sustentado.

Antes da implementação do projeto de transformação digital identificou-se que:

- Não existia uma dinâmica formal de prospeção de clientes e negócios e de registo destas ações, sendo os pedidos dos clientes recebidos por email, telefone ou presencialmente e processados manualmente.
- O prazo de entrega era estimado de forma empírica.
- O orçamento era estruturado diretamente no email ou no ERP e acompanhado de forma manual.
- O departamento de planeamento recebia os desenhos em papel para conversão 2D e edição de gamas operatórias e outras informações.
- As ordens de fabrico (OF), geradas no ERP, e os desenhos 2D eram impressos para a produção visualizar as tarefas. Estas OF apresentavam apenas a data de entrada do material e não existia referência quanto à data de entrega do trabalho.
- Não existia uma solução que permitisse ver de forma eficaz a capacidade efetiva de cada processo, quer ao nível dos equipamentos, quer da mão de obra.
- O controlo das quantidades produzidas era feito por contagens manuais.
- Não era possível perceber o estado real dos equipamentos de produção, as equipas que os estavam a controlar, nem as ordens de fabrico em execução.
- O controlo dos stocks era feito maioritariamente de forma visual.
- A inexistência de uma solução de planeamento para o controlo da requisição da têmpera não permitia identificar com exatidão quem iria requisitar, nem as quantidades necessárias.
- O aprovisionamento de materiais era feito maioritariamente de forma tradicional, por telefone ou email.
- O registo de stock acontecia no momento da entrega em folhas de cálculo.
- A manutenção dos equipamentos ocorria quando necessário.

Boas Práticas

- Integração do diagnóstico de maturidade digital para determinar as áreas prioritárias de intervenção, na fase do pré-projeto.
- Atualização do hardware da empresa para dar resposta aos desafios, e realização de investimentos em software de suporte à transformação digital.
- Implementação de CRM para monitorizar o processo de prospeção de negócios, a relação com os clientes atuais e futuros, o fluxo de informação, regras e documentos que suportam a criação de uma encomenda.
- Instalação de gestor documental para controlar os dossiers de cada projeto e desmaterializar os documentos.
- Implementação de ferramentas para gerir a manutenção e para auxiliar o processo de logística interna.
- Integração de um WMS para auxiliar o processo de logística interna, por forma a aumentar a disponibilidade dos equipamentos e a otimização dos fluxos internos dos produtos.

Setor

VIDRO

Caso de Estudo 2

Esta Não PME dedica-se ao fabrico de materiais de construção de elevada qualidade e alto desempenho. A empresa distingue-se por possuir um processo produtivo inovador em Portugal e recorrer a métodos não poluentes e ambientalmente sustentáveis. Encontra-se em laboração 24 horas/7 dias por semana, o processo de fabrico é 100% automático e apenas requer intervenção humana ao nível da supervisão e controlo.

Não obstante o elevado grau de digitalização e automação do seu processo produtivo, a aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que, antes da implementação do projeto de transformação digital:

- As ações de parametrização de máquina eram manuais e alvo de erro. Sempre que existia uma alteração de referência, o operador tinha de se dirigir às diversas áreas da fábrica, para alterar, manualmente, as dezenas de parâmetros de operação, com uma elevada probabilidade de erro.
- Na gestão dos stocks de materiais, o operador que recebia as encomendas, registava em papel esta receção e as respetivas quantidades, e não existia uma contabilização das quantidades desperdiçadas. Estas últimas eram aferidas por diferença entre o que entrava (que podia ser alvo de erro) e o que saía.
- Devido à natureza contínua do processo produtivo, era muito difícil produzir a quantidade exata de unidades que integram as paletes de uma Ordem de Produção (OP). É comum haver unidades a mais, que têm de ficar em espera num armazém, para serem posteriormente integrados numa paleta de uma nova OP. A gestão, realizada por meio de um processo manual, dependia da capacidade de memorização dos operadores, para se lembrarem da existência de unidades daquela referência em stock que deveriam ser integradas nas paletes de uma OP. Deste modo, muitas unidades ficavam esquecidas, não eram integradas e o produto degradava-se em stock, para além do espaço que ocupavam.
- Na gestão comercial, registavam-se falhas devido ao tratamento manual de informações transacionais, internas e externas, relevantes para o cálculo do risco de crédito a clientes.

Boas Práticas

- Automatização e integração de receitas, através da revisão e análise dos parâmetros de máquinas, definição das receitas, configuração dos parâmetros de máquina de cada receita, especificação das alterações a realizar no SCADA, e desenvolvimento iterativo das alterações no SCADA, no ERP, e no software para os PDAs.
- Digitalização do sistema de *picking* para controlo de consumos, stocks e rejeição de produto, com recurso às tarefas de especificação de alterações a realizar no ERP e no software dos PDAs, desenvolvimento das alterações, atualização do ERP e implementação do procedimento na fábrica.
- Implementação de plataforma avançada, em *Cloud*, para a gestão do risco de crédito que contempla todo o processo de *Order-to-Cash*. Trata-se de uma solução avançada de Inteligência Artificial para a gestão do risco de crédito a clientes, que recorre a *machine learning* e a informações transacionais internas e externas para o cálculo do risco, em prol da introdução de novos métodos na gestão comercial.

Setor

METALOMECÂNICA (INCLUINDO MOLDES & PLÁSTICOS)

Caso de Estudo 1

Especialista no fornecimento de equipamentos, esta metalomecânica, é uma PME que opera de forma discreta e sob encomenda e que decidiu apostar na Indústria 4.0 para eliminar tarefas de valor não acrescentado e criar um sistema integrado de gestão das suas operações.

Antes da implementação do projeto de transformação digital identificou-se:

- Perdas de tempo associadas a tarefas de valor não acrescentado.
- Os operadores faziam o registo de todas as paragens, o que implicava parar, olhar para o relógio e fazer o registo do tempo numa tabela em papel.
- O preenchimento do número de paragens, de quantidades e de artigos feito ao longo de cada dia era, no final da semana, transposto para folhas de cálculo para análise.
- Verificava-se uma notória ausência ao nível da credibilidade dos valores obtidos.
- Os operadores não tinham a certeza do tempo exato em que ocorria cada paragem das máquinas, pelo que o registo era feito com base em estimativas.
- Não existia uma solução que permitisse ver de forma eficaz a capacidade efetiva de cada processo, quer ao nível dos equipamentos, quer da mão de obra.

Boas Práticas

- No âmbito da criação de um departamento de melhoria contínua, a empresa tomou a decisão de sensorizar as máquinas produtivas para medir tempos de produção, velocidades e desperdícios e calcular o indicador OEE com o objetivo de monitorizar o desempenho e a eficiência da produção no chão de fábrica.
- Criação de uma rede industrial de dados, por meio de recolha e análise, em tempo real, de sinais de automação, diretamente de máquinas e equipamentos (ex: sinais, estados, contadores).
- Implementação de uma solução de controlo de OEE, que recolhe dados da rede industrial, para a monitorização e otimização do desempenho das linhas de produção.

Setor

METALOMECÂNICA (INCLUINDO MOLDES & PLÁSTICOS)

Caso de Estudo 2

Esta metalomecânica é uma PME que opera de forma discreta e sob encomenda, na área da produção de utensílios agrícolas, há mais de 100 anos. Desde a sua criação, o seu portfolio foi crescendo até aos equipamentos para Construção e Obras Públicas, Floresta, Reciclagem e Ambiente. Atualmente, está a finalizar a construção de uma nova unidade fabril de acordo com os princípios da Indústria 4.0, em prol da eficiência operacional e do aumento do nível de conhecimento da empresa e das suas equipas.

A aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que, antes da implementação do projeto de transformação digital:

- A troca de informação (interna e externa) era realizada através do email e não existia uma dinâmica formal de prospeção de clientes e negócios e de registo destas ações.
- Não existiam *dashboards* para analisar KPIs comerciais.
- Não existia uma solução que permitisse ver, de forma eficaz, a capacidade efetiva de cada processo, quer ao nível dos equipamentos, quer da mão de obra.
- Os dados da produção eram preenchidos em folhas de papel, para posterior registo no ERP.
- O controlo dos stocks era maioritariamente feito de forma visual.
- O armazém tinha limitações de espaço.
- O aprovisionamento de materiais era feito maioritariamente de forma informal, por telefone ou email.
- O controlo da manutenção era levado a cabo com uma folha física, junto de cada equipamento, para registo das atividades de manutenção.

Boas Práticas

- Sensorização de máquinas produtivas e de suporte para a medição de parâmetros de pressão, temperatura e vibrações com vista à sua manutenção preditiva.
- Implementação de uma rede de dados industrial e adoção de um sistema MES para a recolha de tempo de produção, indexados a cada ordem de trabalho.
- Integração dos dados recolhidos pelo MES com o sistema de cálculo dos OEE e com o ERP, para a avaliação dos custos de produção, registo de quantidades produzidas e atualização de stocks de matérias-primas, componentes, acessórios, produtos intermédios e produtos acabados.
- Desenvolvimento de *dashboards* específicos para o chão de fábrica para monitorizar o OEE de cada operação, bem como os consumos energéticos e a taxa *self use* do sistema solar fotovoltaico.

Setor

METALOMECÂNICA (INCLUINDO MOLDES & PLÁSTICOS)

Caso de Estudo 3

Esta PME conta com cerca de 100 colaboradores no fabrico de moldes técnicos de elevada complexidade e precisão para as Indústrias Automóvel, Elétrica, Eletrónica, Farmacêutica, Alimentar e Embalagem. A necessidade premente para a digitalização das operações chave da sua cadeia de valor esteve na origem da implementação do seu projeto de transformação digital.

A aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que, antes da implementação do projeto de transformação digital:

- A gestão das operações (discretas, sob encomenda e de produto único) estava assente no ERP e em folhas de cálculo dispersas que serviam de apoio à orçamentação, gestão de projetos e gestão da produção.
- O controlo da qualidade era registado em papel.
- Havia inúmeras ocorrências e constrangimentos com a gestão de ficheiros de CAD/CAM.
- Não existia uma ferramenta de CRM de apoio à gestão comercial.
- No chão de fábrica não havia uma rede de dados industrial que permitisse ligar as máquinas a um sistema MES.
- Os tempos de horas/homem e horas/máquina eram registados manualmente pelo operador numa interface que estava ligada ao ERP e indexadas ao projeto de molde, gerando registos que não eram 100% fiáveis.

Boas Práticas

- Integração do diagnóstico de maturidade digital, para determinar as áreas prioritárias de intervenção, na fase do pré-projeto de transformação digital.
- Realização de ações de benchmarking (incluindo empresas nacionais e internacionais) para conhecer o processo de transformação digital.
- Definição de uma estratégia de digitalização que conjuga o desenvolvimento de uma plataforma web integrada com vários softwares (ERP, MES, Gestor Documental, CAD 3D) e sistemas ciberfísicos (máquinas e equipamentos).
- Conceção e desenvolvimento de uma plataforma web, à medida, para a digitalização das operações chave da sua cadeia de valor: gestão comercial, orçamentação, gestão de projetos, engenharia, compras, produção, ensaios, metrologia e controlo da qualidade.
- Sensorização do chão de fábrica para a recolha dos tempos de produção e cálculo automático da eficiência das máquinas.
- Integração de algoritmos de inteligência artificial e *machine learning* para acelerar processos e melhorar estimativas.
- Desenvolvimento de diversos tipos de *dashboards* de análise dos dados.

Setor

METALOMECÂNICA (INCLUINDO MOLDES & PLÁSTICOS)

Caso de Estudo 4

Esta PME opera de forma contínua e sob encomenda, na área da injeção, montagem e pintura de produtos plásticos para o setor automóvel. Conta com uma equipa de 240 colaboradores e um volume de negócios que ronda os 20 milhões de euros. Vê na transformação digital formas de agilizar a gestão de pessoas, métodos, equipamentos e processos.

A empresa considerou como crítica a transformação digital do controlo da qualidade, para poder dar resposta, de forma célere e fiável, aos requisitos da norma IATF 16949: 2016, obrigatória para fornecedores de primeira linha dos fabricantes automóvel.

Antes de avançar com este processo, as medições e outras ações de inspeção e auditoria de peças, equipamentos, máquinas, entre outros, eram registados em folhas de cálculo e em papel o que obrigava a um trabalho manual e moroso de organização da informação, avaliação e definição de ações de prevenção, correção ou melhoria.

A elevada quantidade de peças tornava este trabalho burocrático e alvo de uma elevada probabilidade de erro.

A avaliação do estudo da capacidade do processo, para cumprimento das especificações dos clientes, bem como os estudos de validação dos sistemas de medição, obrigatórios, segundo a norma IATF 16949: 2016, eram realizados em folhas de cálculo.

Este processo iniciou com a seleção de um software de Controlo Estatístico de Processos e de Validação dos sistemas de medição.

A par da implementação e configuração dos planos de controlo neste software, decorreu a formação da equipa com o objetivo de capacitar as pessoas para a sua plena utilização.

O desenvolvimento de *dashboards* e relatórios personalizados decorreu durante os primeiros meses de utilização, tendo sido usados os dados reais de medições para demonstrar a sua viabilidade e adequação às necessidades da empresa.

No período de 2 anos, foram criados mais de 1400 planos de controlo, no software de controlo da qualidade. No âmbito destes planos foram realizadas, aproximadamente, 291.000 inspeções, contemplando 1.650.000 amostras e 2.185.000 medições individuais.

Boas Práticas

- Digitalização dos planos de controlo da qualidade dos produtos, dos processos produtivos e da validação dos sistemas de medição, para uma resposta ágil e eficiente às exigências definidas, quer pela empresa, quer pelos seus clientes.
- Garantia da rastreabilidade das amostras alvo de controlo da qualidade através da leitura ótica do código de barras de uma peça.
- Criação de uma rede de dados, no laboratório de metrologia, para a ligação dos diversos equipamentos de medição ao software de controlo da qualidade. Desta forma garante-se a aquisição direta das medições e evitam-se erros manuais de digitação de dados.
- Desenvolvimento de um *dashboard* para o controlo estatístico das características críticas dos produtos, e avaliação da sua capacidade em cumprir as especificações dos clientes.
- Desenvolvimento de um *dashborard* específico para a monitorização dos indicadores de capacidade do processo.
- Formação da equipa de controlo da qualidade em controlo estatístico dos processos e na validação dos sistemas de medição, bem como a capacitação desta equipa para a utilização do software responsável pela gestão destas ações.

Setor

AGROALIMENTAR

Caso de Estudo 1

Esta Não PME possui mais de 360 hectares de vinha própria que lhe permitem dedicar-se à produção de vinhos, internacionalmente reconhecidos. A aposta na digitalização começou há mais de 20 anos, primeiro com a implementação do ERP e depois com a total digitalização das suas operações, com a adoção de vários sistemas de informação e métodos de medição da eficiência operacional, em tempo real.

No âmbito das suas unidades de engarrafamento, que operam de forma contínua, sob encomenda, a empresa definiu como crítico apostar na digitalização das seguintes ações:

- Controlo metrológico da quantidade de vinho pré-embalado, dando cumprimento a este requisito legal.
- Cálculo do indicador OEE através da medição dos tempos de produção, velocidades e quebras.
- Controlo da qualidade realizado na receção de materiais secos (ex.: garrafas, rótulos, cápsulas, rolhas, etc.).
- Ligação de equipamentos de medição dimensional aos computadores, para a facilitar a recolha de dados.
- Controlo da qualidade ao produto acabado.
- Controlo dos parâmetros de produção em mobilidade, através de tablets e smartphones.
- Análise avançada dos dados recolhidos, através de *dashboards* intuitivos, em suporte web e facilmente partilháveis na empresa.
- Integração entre sistemas de informação (ERP, Software de Controlo da Qualidade e Cálculo dos OEE, PLCs das linhas da produção, etc.) de forma a facilitar a rastreabilidade de dados e evitar erros de introdução manual por parte dos operadores.

Boas Práticas

- Implementação de uma solução vertical de software que permite dar resposta às exigências legais do controlo metrológico da qualidade pré-embalada, à avaliação da eficiência das linhas de produção, e ao controlo da qualidade do produto acabado.
- Ligação desta solução a equipamentos de medição e à sua integração com o ERP e PLCs das linhas de produção.
- Aquisição de dados e realização de inspeções e auditorias em mobilidade com o desenvolvimento de interfaces específicas para facilitar este trabalho.
- Definição de *dashboards* intuitivos e simples para avaliação da informação.

Caso de Estudo 2

Esta Não PME exporta para mais de 70 países, tem 5 unidades industriais em Portugal e no estrangeiro que processam, anualmente, mais de 25 mil toneladas de produto e possui mais de 40 linhas de enchimento, que operam de forma contínua, segundo estimativas da procura.

A sua longa história de inovação, aliada a uma busca incessante pela qualidade e por soluções que contribuam para um futuro mais positivo, resultou numa procura constante pela modernização e digitalização dos seus processos produtivos.

Um dos maiores desafios enfrentados pela empresa no seu processo de digitalização está associado à tentativa de uniformização de métodos, ferramentas e boas práticas nos seus centros de produtivos.

As exigências impostas pelo mercado e pela natureza dos seus produtos alimentares aumentam a complexidade dos registos a realizar, que visam assegurar a rastreabilidade dos produtos ao longo das suas cadeias de abastecimento, produção e distribuição.

A aplicação do diagnóstico de maturidade digital ShiftTo4.0 permitiu identificar que a empresa:

- Eliminou os registos em papel.
- Diminuiu os tempos de registos, com atualização imediata em chão de fábrica.
- Trata os resultados de forma otimizada e ágil, recorrendo a relatórios e *dashboards* emitidos em tempo real.
- Rastreia e correlaciona dados de diferentes fluxos de trabalho de forma expedita e integrada.
- Gere de forma centralizada a manutenção e calibração dos equipamentos de fábrica e laboratório.

Boas Práticas

- Implementação de sistemas para controlo metrológico e estatístico dos pré-embalados.
- Instalação de sistema para rastreabilidade dos fluxos nos laboratórios de microbiologia.
- Implementação de sistema para gestão e análise das provas sensoriais, desde a fase de desenvolvimento de produto até aos estudos sensoriais.
- Integração de mecanismos para validação de sistemas de medição.
- Integração de sistemas de gestão das ordens de produção e sistemas de monitorização da qualidade.
- Digitalização focada na criação de uma infraestrutura de dados robusta e segura.
- Envolvimento das equipas de todos os centros produtivos na criação e na implementação de soluções.

4. BOAS PRÁTICAS PARA A INDÚSTRIA 4.0

O modelo ShiftTo4.0 propõe a avaliação do estado de maturidade digital das empresas em função das ações e práticas implementadas nas seis dimensões ilustradas na Figura 3, e às quais se adiciona uma componente transversal de “Gestão do Conhecimento”. Cada uma destas dimensões responde a desafios distintos e que são resumidos na Tabela 2.

A partir da análise do *benchmarking* internacional e dos 10 Casos de Estudo desenvolvidos, apresentam-se, em função de cada uma das dimensões do modelo ShiftTo4.0, as boas práticas comuns e transversais aos setores de atividade em análise (Metalomecânica, incluindo Moldes & Plásticos, Têxtil, Vidro e Alimentar), bem como as boas práticas específicas de cada setor, tendo em conta os seus modelos de negócio e operação.

Estes denominadores comuns estão associados a estratégias e ações que são basilares para a transformação digital e que, de forma geral, são adotadas por todas as empresas alvo de análise, nomeadamente: o investimento em cibersegurança, para assegurar a integridade e disponibilidade da infraestrutura de dados; a implementação de sistemas de informação de gestão global; a estruturação de planos de capacitação das pessoas para operar os novos sistemas e processos; a análise e extração do maior valor possível dos dados; e a conversão da *Big Data* em ações concretas, com impacto direto no aumento da eficiência, produtividade e competitividade da empresa.



Figura 3: Dimensões do modelo ShiftTo4.0 de avaliação da maturidade digital de uma empresa.

Tabela 3: Explicação das seis dimensões modelo ShiftTo4.0 acrescida da dimensão “Gestão do Conhecimento”.

DIMENSÃO	TÓPICOS EM ANÁLISE
 Estratégia e Organização	<ul style="list-style-type: none"> • Estratégias em curso, principais desafios e constrangimentos. • Nível de comprometimento da gestão de topo. • Modelo orgânico e respetivos fluxos de responsabilidades. • Investimentos realizados e em curso no âmbito da transição e capacitação digital. • Indicadores de avaliação do desempenho da organização.
 Infraestrutura Inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestrutura tecnológica de suporte à gestão das operações e à segurança da informação. • Grau de atualização tecnológica da infraestrutura. • Modelos de recolha, armazenamento e análise de dados.
 Operações Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitetura dos processos de negócio e das operações chave da cadeia de valor. • Nível de sensorização de máquinas e equipamentos. • Nível de digitalização das operações. • Sistemas de informação que suportam cada uma das operações. • Níveis de integração e de rastreabilidade da informação.
 Produtos Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso a tecnologias digitais para o desenvolvimento de novos produtos (realidade virtual, 3D em avatares, etc.). • Nível de sensorização dos produtos. • Nível de rastreabilidade dos produtos.
 Serviços Baseados em Dados	<ul style="list-style-type: none"> • Importância dos dados para gerar o conhecimento e suportar a otimização e/ou desenvolvimento de produtos, serviços e processos. • Nível de literacia em matemática/estatística para a análise de dados. • Sistemas de informação que suportam a análise de dados.
 Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de literacia digital das pessoas. • Ações em curso para o desenvolvimento de novas competências. • Necessidades formativas.
 Gestão do Conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de sistemas colaborativos para a disseminação da informação e partilha do conhecimento. • Estratégias de documentação dos projetos, iniciativas e atividades de inovação ou melhoria contínua, registo de boas práticas e lições aprendidas.

4.1. DENOMINADORES COMUNS



A partir dos 10 Casos de Estudo realizados com as 7 PME e 3 Não PME, apresentam-se as boas práticas comuns e transversais aos setores de atividade em análise (Metalomecânica, incluindo Moldes & Plásticos, Têxtil, Vidro e Alimentar), bem como aquelas que são específicas de cada setor.

Estes denominadores comuns estão associados a estratégias e ações que são basilares para a transformação digital e que, de forma geral, são adotadas por todas as empresas alvo de análise, nomeadamente:

- Investimento em cibersegurança para assegurar a integridade e a disponibilidade da infraestrutura de dados.
- Implementação de sistemas de informação de gestão global, tais como o ERP.
- Estruturação de planos de capacitação das pessoas para operar os novos sistemas e processos.
- Análise e extração do maior valor possível dos dados.
- Conversão da *Big Data* em ações concretas e com impacto direto no aumento da eficiência, produtividade e competitividade da empresa.

Estratégia e Organização

Neste âmbito, destaca-se o compromisso, a disponibilidade e a envolvimento da gestão de topo das empresas dos 10 Casos de Estudo, na implementação de uma estratégia integradora de digitalização, reconhecendo o valor e o impacto da transformação digital nos seus negócios.

Sobressai também, como denominador comum, o forte investimento realizado pelas empresas em consultoria para: a definição de uma estratégia de digitalização; em sensorização dos processos, máquinas e equipamentos; automação; novos sistemas de informação; serviços especializados de integração e consolidação de bases de dados; design e desenvolvimento de *dashboards* de análise estatística de dados; bem como em formação para assegurar a capacitação das pessoas.

Todas as empresas destacam a importância de implementarem uma estratégia de cibersegurança, sob pena de ser posto em causa todo o negócio e o funcionamento da empresa. Isto implica investimentos contínuos na gestão e manutenção da infraestrutura digital.

A este nível as empresas reconhecem a pertinência de: garantir a redundância e *backups* contínuos da informação; a atualização dos sistemas; *firewalls*; certificados de segurança e afins; realização de auditorias constantes; formação dos utilizadores para que estejam atentos a ações de *phishing* e *malware*; bem como a definição de planos de contingência e de comunicação em caso de ataque e violação de dados sensíveis.

Para a implementação de uma estratégia de cibersegurança, são boas práticas:

1. Conhecer as principais normas internacionais e guias em matéria de cibersegurança, que definem um conjunto de requisitos.
2. Definir uma política de cibersegurança e de privacidade de dados.
3. Constituir uma equipa responsável pela implementação, manutenção e auditoria da estratégia de cibersegurança.
4. Identificar, para cada tipo de dado e sistema de informação (dispositivos físicos e aplicações), os riscos e suas vulnerabilidades para se desenvolverem ações de mitigação e monitorização.
5. Avaliar a infraestrutura tecnológica de gestão de dados e acessos e implementar controlos de segurança, como *firewalls*, antivírus, criptografia, modelos de autenticação, entre outras ações.
6. Definir uma política de *backups* e de redundância da informação.
7. Consciencializar e formar as pessoas da organização para reconhecerem e evitarem ameaças cibernéticas, como o *phishing* e o *malware*. É importante que as pessoas estejam cientes das ameaças e saibam como agir para proteger os sistemas e dados. Poderá ser útil a subscrição de plataformas que propõem a simulação de *phishing*, pois permitem sensibilizar as pessoas para a segurança através de formações realistas e interativas.
8. Monitorizar constantemente os sistemas e dados da organização para detetar possíveis ameaças e vulnerabilidades. É possível adquirir hardware e/ou software específico para a monitorização de todos os equipamentos que se ligam a uma rede, bem como atribuir permissões de acesso baseadas em perfis pré-definidos. Existe também a possibilidade de implementar *gateways* inteligentes que contenham não só funcionalidades de *firewall*, como funcionalidades de identificação de fluxos de tráfego e serviços de segurança avançados, para detetar, preventivamente, ameaças à segurança de redes informáticas.
9. Assegurar a implementação de atualizações regulares, se possível automáticas, de softwares e sistemas operacionais para corrigir vulnerabilidades e proteger contra novas ameaças.
10. Definir um plano de continuidade do negócio em caso de ataque.
11. Registrar as lições aprendidas.
12. Definir um plano de melhorias e seu calendário de execução.

Ao nível da componente de “Estratégia e Organização” são ainda de realçar as seguintes boas práticas:

- A implementação de um ERP, principalmente para a gestão financeira, contabilidade e gestão de pessoas, sendo mais pontual a utilização destes

sistemas para a gestão de armazém e stocks, planeamento e gestão da produção, controlo dos processos e da qualidade, análise da *Big Data* e afins.

- A integração de um sistema de gestão documental que seja capaz de garantir, de forma automática, o versionamento, catalogação e indexação de ficheiros, eliminando a necessidade do utilizador criar pastas, de forma manual, para o armazenamento de ficheiros, pois esta tarefa passa a ser realizada automaticamente por um sistema de atributos e meta-dados associados a cada documento.
- A existência de um sistema gestão de acessos, pontualidade, assiduidade e marcação de férias.
- Apesar de ainda ser pontual o recurso à prototipagem, no processo de desenvolvimento de novos produtos, conceitos, sistemas de informação, e afins, é crescente a utilização de protótipos de design baseados em princípios de UI/UX (*User Interface/User Experience*) para a especificação de novas aplicações e a partilha de *feedback* por parte dos utilizadores.
- A disponibilização à equipa, de um conjunto de *dashboards* de análise de indicadores de desempenho da organização, havendo a necessidade de assegurar a integração entre sistemas e várias fontes de dados (pessoas, equipamentos, máquinas, sensores, etc.) e de garantir a rastreabilidade.



Infraestrutura Inteligente

Nos Casos de Estudo analisados, antes da transformação digital, as infraestruturas tecnológicas estavam assentes em servidores físicos, com problemas de segurança e de escalabilidade associados e não havia uma rede de dados industrial.

A indústria das TIC tem avançado para soluções de *Cloud* e serviços como *Software-as-a-Service* (SaaS), *Platform-as-a-Service* (PaaS) e *Cloud* Híbridas, que conjugam numa infraestrutura mista, servidores e serviços instalados em *datacenters* públicos e privados.

Neste sentido, verificou-se uma mudança para a adoção de infraestruturas mistas, 100% virtualizadas, de elevada disponibilidade, desempenho e escalabilidade, que já incorporam mecanismos de controlo de acesso (*firewalls*, regras de acesso, entre outros), protocolos de segurança como o SSL e a autenticação forte dos utilizadores, para a segurança da informação.

Estas soluções visam todas as aplicações e sistemas físicos das empresas, proporcionando uma infraestrutura coesa e centralmente gerida e monitorizada, facilitando o trabalho da equipa de TI e o acesso, seguro e com regras, à informação.

Estas infraestruturas integram também mecanismos de *disaster recovery* para assegurar a continuidade das operações em caso de acidente e/ou ataques cibernéticos, com destaque à monitorização e controlo do processo produtivo.

Um dos maiores desafios verificados pelas empresas para a criação de uma infraestrutura inteligente, é a interoperabilidade, principalmente na aquisição de dados de máquinas, para se calcular, por exemplo, o indicador OEE que avalia a disponibilidade, a velocidade e a qualidade da produção. A este nível, é necessário analisar os protocolos de comunicação, compreender os sinais emitidos e que informação vem agregada aos dados, pois não interessa apenas, por exemplo saber quantos minutos de paragem se registam. É importante conhecer em que máquina, em que data e hora, em que ordem de trabalho, projeto, operador e traduzir este tempo em custo de eficiência e da produção de um dado componente. Em muitos casos, o problema não reside na aquisição dos dados, mas em perceber a que dizem respeito.

Para uma empresa assegurar a implementação de uma arquitetura inteligente de dados, destacam-se as seguintes boas práticas:

13. Identificar as variáveis críticas de cada operação/processo que integram a cadeia de valor da empresa (exemplo: prospeção de mercado, orçamentação, gestão de projetos, desenho & engenharia, produção, manutenção, teste, controlo da qualidade, logística, etc.).
14. Perceber como são medidas estas variáveis e como são rastreadas (exemplo: temperaturas, pressão, controlo dimensional de um ponto crítico numa peça, diferentes tempos de paragens, defeitos, velocidades de produção, etc.).
15. Dotar a empresa de uma infraestrutura tecnológica, assente em servidores virtualizados e de alta disponibilidade, segura, resiliente, flexível e escalável, capaz de integrar a qualquer momento novas aplicações, sensores e afins.
16. Capacitar esta infraestrutura com mecanismos de *disaster recovery* para assegurar a continuidade das operações em caso de acidente e/ou ataques cibernéticos, com destaque à monitorização e controlo do processo produtivo.
17. Ligar máquinas, equipamentos, sensores e afins à rede de dados industrial.
18. Assegurar a correta categorização e marcação temporal (exemplo: sensor que fornece os dados, variável a medir, local, etc.) dos dados recolhidos automaticamente no processo produtivo via sensores de IoT e instrumentação diversa.
19. Desenvolver ou identificar sistemas comerciais, ou aplicações desenvolvidas à medida, que respondam às necessidades pretendidas.
20. Integrar sistemas de informação para evitar duplicação de tarefas e assegurar este fluxo contínuo (exemplo: CRM, ERP, gestor da produção, MES, sistema de controlo da qualidade, etc.).

21. Identificar, nos sistemas de informação, “estados” ou ações que impliquem uma mudança de fase, para se medirem, por exemplo, os tempos de execução entre tarefas.
22. Definir uma estratégia de análise estatística adequada a cada tipo de variável, considerando por exemplo que efetuar o controlo estatístico de variáveis dimensionais é diferente de analisar defeitos nas peças.
23. Desenhar os *dashboards* a desenvolver para cada tipo de variável ou conjunto de KPIs.
24. Desenvolver um sistema de *Business Intelligence* integrado com as diversas fontes de dados, que permita explorar esta *Big Data*, através de uma visualização analítica dos dados e dos indicadores de desempenho (KPIs), que pode integrar modelos preditivos para situações correntes e pontuais, associados a regras de alarmística de suporte à operação.
25. Promover a programação de lógicas implícitas de negócio, que estão apenas nas pessoas, em algoritmos que tornem explícito esse conhecimento.
26. Capacitar as pessoas para a medição, monitorização e controlo das variáveis, com vista à otimização dos processos.



Figura 4: Exemplo de Infraestrutura Inteligente

Operações Inteligentes

Com a criação de uma infraestrutura inteligente de aquisição, gestão, manutenção e segurança de dados, ficam criadas as bases fundamentais para se conseguir medir o desempenho das operações. Porém, o mesmo não é condição para se terem operações inteligentes.

Nos Casos de Estudo analisados, as empresas começaram por mapear as operações que integram a sua cadeia valor e analisar que sistemas de informação (papel, folhas de cálculo, softwares, entre outros) suportam a sua atividade e os seus níveis de integração. Detetou-se uma mudança, por exemplo, de uma gestão de orçamentos, projetos, produção e controlo da qualidade com recurso a folhas de cálculo para a implementação de sistemas de planeamento dinâmico e integrados com o ERP, de softwares de controlo da qualidade, bem como para o desenvolvimento à medida de plataformas integradores.

Verifica-se a ambição das empresas em ter um fluxo contínuo de dados ao longo da sua cadeia de valor, que lhes permita, por exemplo, acompanhar e avaliar o projeto, desde a fase comercial de prospeção e orçamentação, passando pela gestão do projeto, desenho e engenharia do produto, produção, medição, controlo de qualidade, expedição, até à assistência pós-venda.

Para que tal aconteça, é chave a criação de uma arquitetura de dados, que permita associar esses dados às operações, projetos, produtos e serviços, e a partir daqui definirem-se indicadores de avaliação do seu desempenho, bem como ações de melhoria, em prol da eficiência operacional, da competitividade e sustentabilidade das empresas.

Destaca-se também como boa prática as ações desenvolvidas no sentido de tornar explícito, em algoritmos e sistemas de informação, o conhecimento e lógicas implícitas do negócio que estão presentes apenas nas pessoas e que são críticas para a continuidade do negócio, por exemplo, ao nível dos processos de orçamentação, conceção e engenharia, gestão da manutenção, ensaios laboratoriais, entre outros.

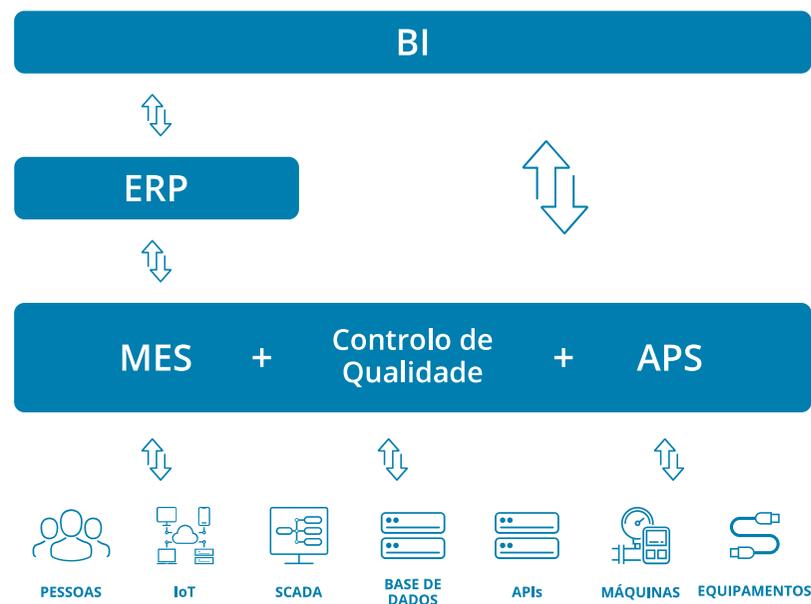


Figura 5: Infraestrutura de gestão de dados.



Produtos Inteligentes

No âmbito dos produtos inteligentes é boa prática o desenvolvimento de protótipos com recursos a sistemas 3D CAD e de realidade virtual, bem como de protótipos de design, concebidos segundo princípios UI/UX, para a especificação de aplicações e simulação da experiência do utilizador.

A transformação de um produto num serviço é vista por muitos empreendedores como um objetivo a alcançar para avançar na cadeia de valor. O objetivo não é apenas o de vender um produto, mas proporcionar, um conjunto de serviços, associados, por exemplo, à sensorização do produto, como consultoria, assistência remota, avaliação do seu desempenho, entre outros.

No âmbito das aplicações informáticas, as empresas têm a ambição de integrar regras do negócio que permitam automatizar tarefas, gerar processos de auditoria e incorporar algoritmos de inteligência artificial e *machine learning* (IA/ML) que aprendam com os dados, gerem alertas (para erros e falhas) e apresentem estimativas.



Serviços Baseados em Dados

Em nenhum dos Casos de Estudo analisados se encontram, de forma significativa, serviços baseados em dados, sendo estes usados, de forma limitada, para avaliação do desempenho dos processos e da organização.

Quando questionados sobre esta matéria, os empresários e equipas reconhecem que há um enorme potencial para a proposta de novos modelos de negócio, como *Product as a Service* ou a subscrição de serviços.

Por exemplo, uma empresa que comercializa máquinas e equipamentos pode passar a vender, além da máquina, a subscrição de uma plataforma onde é possível ter acesso a: (i) conteúdos formativos sobre a operação da máquina; (ii) *dashboards* de análise estatística do desempenho da máquina; (iii) algoritmos de IA/ML que podem ser treinados com os dados reais da empresa e, assim, alimentar sistemas de recomendação de ações de otimização dos ciclos produtivos, com impacto ao nível da redução dos consumos de energia, de manutenção preventiva, entre outras, poupando dinheiro à empresa.

No âmbito da indústria alimentar, injeção de peças plásticas, produção de vidro e peças cerâmicas, o recurso a algoritmos de IA/ML são hoje a chave para a deteção de defeitos, através da criação de bases de dados de treino desses algoritmos de “tudo o que não é produto bom”. Ou seja, para ajudar na deteção, por exemplo, de peças riscadas, lascadas, partidas, de fruta fora de calibre, com uma cor que evidencia estar muito verde, etc.

Neste âmbito, existe ainda um longo caminho a percorrer para se trazer a “matemática” para o “chão de fábrica” e colocar ao serviço da indústria o enorme valor acrescentado que a ciência de dados pode aportar.

São vários os exemplos de novos serviços e modelos de negócio que podem surgir a partir dos dados, por exemplo:

- Serviços de recomendação capazes de orientar a escolha para um dado produto ou serviço, com base no histórico de compras ou nas preferências de um cliente/consumidor.
- Serviços de análise de dados que ajudem as empresas a transformar os dados em conhecimento e valor para o negócio, suportando a tomada de decisão.
- Serviços de gestão de dados que apoiem as empresas na recolha, catalogação, armazenamento, *backup* e gestão de grandes quantidades de dados, de maneira eficiente.
- Serviços de monitorização de dados em tempo real para detetar anomalias ou tendências e fornecer alertas.
- Serviços de otimização dos processos de negócios para aumentar a sua eficiência operacional.
- Serviços de previsão que usam dados históricos para prever tendências ou eventos futuros, como previsão da procura de mercado, falhas em equipamentos, etc.

Recursos Humanos

Garantir o envolvimento e comprometimento das equipas desde a definição dos projetos de digitalização é chave para o seu sucesso.

Para tal, destacam-se as seguintes boas práticas que podem ser adotadas de forma transversal a todos os setores de atividade:

- Avaliar, numa primeira fase, o nível de literacia digital das pessoas, as ações em curso para o desenvolvimento de novas competências e as necessidades formativas.
- Definir, posteriormente, as competências internas a desenvolver para dar resposta à transição digital.
- Identificar a necessidade de reforçar equipas e parceiros tecnológicos estratégicos.
- Traçar um plano de capacitação das pessoas para a gestão das mudanças e para usar os novos sistemas de informação, bem como para a análise global de dados.

Desenvolver questionários para obter o feedback das pessoas sobre a digitalização, diagnosticar necessidades formativas e traçar ações de capacitação.



Gestão do Conhecimento

Segundo Takeuchi e Nonaka, as empresas sustentáveis são aquelas que, de forma holística e “viva”, criam conhecimento, o disseminam pela organização e o incorporam rapidamente em novas tecnologias, processos e produtos.

Ora, tal só é possível com a existência de uma estratégia integradora e um conjunto de boas práticas que podem e devem ser implementadas em todos os setores de atividade, nomeadamente:

- Avaliar a utilização de sistemas colaborativos para a disseminação da informação e partilha do conhecimento.
- Definir estratégias de documentação dos projetos, iniciativas e atividades de inovação ou melhoria contínua e registo de boas práticas e lições aprendidas.
- Recorrer a plataformas ágeis e colaborativas de gestão dos projetos, avaliação de riscos e registo de lições aprendidas.

Promover a realização de fóruns internos de partilha do conhecimento e assegurar que todos têm conhecimento das mudanças em curso.

4.2. BOAS PRÁTICAS SETORIAIS

METALOMECÂNICA

(incluindo Moldes & Plásticos)

O setor da metalomecânica, do qual são exemplo três dos Casos de Estudo elaborados, caracteriza-se tipicamente por um modelo de negócio que produz sob encomenda e no qual o processo produtivo está assente em operações discretas executadas por máquinas, com ou sem suporte de uma pessoa, ou manualmente, das quais se obtêm, peças únicas, que foram alvo de projeto de engenharia e desenho CAD.

Destes Casos de Estudo destacam-se as seguintes boas práticas implementadas e específicas deste setor de atividade.

Boas Práticas Implementadas

- Instalação de uma rede de dados no chão de fábrica capaz de ligar máquinas e equipamentos a sistemas de informação para se medirem os consumos e tempos de produção, indexados a cada ordem de trabalho e, assim, calcular os indicadores de avaliação da eficiência das operações e os custos de produção.
- A implementação de uma estratégia integrada de gestão da informação, em toda a cadeia de valor da empresa. Inclui a informação gerada desde: (i) as atividades comerciais de prospeção de clientes e resposta a pedidos de cotação, (ii) a gestão de projetos de produção de um produto, (iii) desenho e engenharia da respetiva lista de materiais, designada nestas indústrias de BOM (*Bill of Materials*), (iv) produção das peças e montagem, (v) testes de qualidade, ao processo logístico e (vi) assistência pós-venda.
- Para alcançar estes objetivos, estas empresas optaram pelo licenciamento de sistemas comerciais de CRM, ERP, Gestão de Projetos, Gestão da Produção e Planeamento e Gestão da Qualidade, criando integradores, através de plataformas web, que asseguram um fluxo contínuo da informação e uma análise dos dados, em tempo real.
- Integrada nesta estratégia de digitalização destaca-se a implementação de sistemas de gestão documental, que asseguram, através da leitura de meta-dados, a indexação e versionamento de ficheiros, como cadernos de encargos, desenhos CAD, fichas técnicas, instruções de trabalhos e afins. Estes sistemas são críticos para as empresas deste setor que lidam, todos os dias, com a gestão de versões, de desenhos CAD de BOMs com centenas de peças. Garantir que uma peça é produzida segundo a última versão do CAD, que está aprovada, é muitas vezes um desafio nestas empresas.
- Desenvolvimento de *dashboards* por área da empresa (comercial, gestão de projetos, produção e controlo da qualidade) e global para a análise dos principais indicadores de desempenho da organização.
- O desenvolvimento de um programa *Lean* é encarado por estas empresas como basilar para a implementação com sucesso da transformação digital, devido à elevada diversidade de peças, produtos e operações e à forte probabilidade da transformação digital falhar por falta de organização física no chão de fábrica e de métodos de trabalho.

No Caso de Estudo da empresa que produz peças plásticas por injeção para o setor automóvel, e que se situa a jusante da cadeia de valor dos Moldes, o modelo de negócio também visa dar resposta a encomendas de clientes, porém operando de forma contínua. Para além das boas práticas citadas anteriormente, destaca-se a digitalização das ações de controlo da qualidade que

têm de obedecer aos requisitos da norma IATF 16949: 2016, obrigatória para empresas que fornecem diretamente os fabricantes automóvel.

Para se compreender o impacto da digitalização, veja-se um exemplo. Um cliente exige o controlo dimensional (X, Y e Z), em três pontos de uma peça, que é injetada num molde com 10 cavidades, sendo necessário garantir a rastreabilidade da cavidade. Ora neste exemplo, é necessário criar 90 processos de controlo estatístico, que estão organizados por Ponto Crítico (3), Cota X, Y ou Z e Cavidade (10). O registo destas medições era efetuado numa folha de cálculo, onde eram traçados alguns gráficos para se avaliar o comportamento destas dimensões ao longo do tempo e se o processo de produção era capaz de cumprir as especificações do cliente.

Esta PME, para fazer face a este desafio, decidiu adotar um sistema de controlo estatístico, que recolha os dados, devidamente rastreados à peça em análise, diretamente dos equipamentos de medição para este sistema, no qual são atualizados, em tempo real, os *dashboards* de análise estatística, tabelas e relatórios que a empresa envia diretamente aos seus clientes e no qual pode também gerir os ensaios de validação dos seus sistemas de medição, ocorrências e as ações de correção ou melhoria adotadas.



TÊXTIL

O setor Têxtil, do qual são exemplo duas das empresas analisadas nos Casos de Estudo, caracteriza-se tipicamente por um modelo de negócio que produz sob encomenda e no qual o processo produtivo está assente em operações discretas executadas por máquinas, com ou sem suporte de uma pessoa, ou manualmente, das quais se obtêm vários artigos do mesmo tipo, que foram alvo de design gráfico. Os artigos a produzir seguem um roteiro de produção que está bem definido e que reúne um conjunto de operações que ocorrem, tipicamente, de forma sequencial.

Destes Casos de Estudo destacam-se as seguintes boas práticas, implementadas e específicas deste setor de atividade.

Boas Práticas Implementadas

- O desafio diário destas empresas centra-se no planeamento das ordens de produção face aos prazos de entrega. Como este trabalho implica uma avaliação contínua dos recursos disponíveis (pessoas, máquinas e stocks de matérias-primas), para se lançarem as ordens de produção que integram uma ou várias ordens de encomenda, é necessário implementar uma rede de dados no chão de fábrica, que ligue máquina e equipamentos a sistemas de informação. Essa recolha de consumos e tempos de produção que se encontram indexados às ordens de produção, permite calcular e avaliar a eficiência das operações, bem como os custos associados.
- Para conseguir visualizar a capacidade disponível e, assim, produzir e estimar o prazo de entrega de uma encomenda, com base nos tempos de produção de cada operação e da sua eficiência média, são desenvolvidos *dashboards* de análise dos dados, globais e específicos (área comercial e gestão da produção).
- Geralmente, a filosofia *Lean* suporta a transformação digital, pois permite reestruturar a organização física do chão de fábrica, como a disposição de equipamentos e máquinas industriais, e de métodos de trabalho.

VIDRO

Os Casos de Estudo que foram selecionadas para se avaliarem boas práticas no setor do Vidro, representam duas realidades distintas em termos de modelo de negócio e operação.

Num dos Casos, as operações são discretas e visam dar resposta à encomenda de um produto, que pode ser único e desenhado à medida das necessidades do cliente.

No outro Caso, no qual a empresa se dedica à produção de um único tipo de material de construção, e nas empresas que produzem vidro de embalagem, os processos são contínuos, 100% automáticos e operam 24 horas/7 dias por semana, praticamente 365 dias por ano, não sendo eficiente desligar a zona quente. Estes processos são controlados por sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), responsáveis por gerir os sensores do processo e com os quais as pessoas interagem a partir dos HMI (*Human Machine Interfaces*).

Destes Casos de Estudo destacam-se as seguintes boas práticas, implementadas e específicas deste setor de atividade.

Boas Práticas Implementadas

- Seja num processo discreto ou contínuo é necessária a existência de um sistema ERP para a gestão global da empresa e que, poderá estar integrado com o sistema SCADA para a gestão de stocks, através da contabilização das quantidades consumidas de matérias-primas e materiais de embalagem, bem como das quantidades produzidas, entre muitos outros aspetos.
- É fundamental a segregação da rede industrial das restantes redes de dados das empresas para se evitar a paragem integral de uma fábrica devido a questões de cibersegurança. Apesar de ser um contrassenso em termos dos princípios de interconectividade preconizados pela Indústria 4.0, muitas das redes SCADAs de empresas de laboração contínua, não estão integradas com qualquer outro sistema, por questões de segurança da informação.
- Neste setor, e principalmente nos processos contínuos, é imperativa a implementação de um sistema que seja capaz de analisar, em tempo real, o enorme volume de dados gerado a cada instante e integrar algoritmos que consigam aprender com séries de dados e apoiem as equipas a avaliar tendências, que resultem em perdas de eficiência, falhas nos equipamentos, defeitos, etc. Tratando-se de processos que exigem um consumo intensivo de energia, a análise dos dados é igualmente crítica para a monitorização dos consumos energéticos e das respetivas emissões de GEE (Gases de Efeito de Estufa).



AGROALIMENTAR

O setor Agroalimentar, do qual são exemplo duas grandes empresas portuguesas, analisadas nos Casos de Estudo, caracterizam-se tipicamente por processos de produção contínuos, que respondem a encomendas ou a estimativas de procura dos mercados.

As exigências a que este setor está sujeito por questões de segurança alimentar e de rastreabilidade ao longo das cadeias de abastecimento, produção, distribuição e venda, implicam uma complexidade acrescida nos processos de transformação digital.

Destes Casos de Estudo destacam-se as seguintes boas práticas, implementadas e específicas deste setor de atividade.

Boas Práticas Implementadas

- A criação de uma arquitetura de dados que garanta a rastreabilidade, desde a produção das matérias-primas à colocação do produto em prateleira.
- A implementação de um sistema ERP, para a gestão global da empresa, e que poderá estar integrado com sistemas SCADA que possam existir na fábrica, para assegurar a gestão de stocks, através da contabilização das quantidades consumidas de matérias-primas e materiais de embalagem, bem como das quantidades produzidas, entre muitos outros aspetos.
- A implementação de sistemas dedicados ao controlo da qualidade, que permita a digitalização dos diversos planos de análise e auditoria que são realizados ao longo da cadeia de valor, por exemplo, na receção das matérias-primas, na produção de produtos intermédios, no produto final, entre outros.
- À semelhança do verificado nos processos contínuos do setor do vidro, sendo alguns destes fornecedores diretos do setor alimentar (como é o caso do vidro de embalagem), é imprescindível a implementação de um sistema que seja capaz de analisar, em tempo real, o enorme volume de dados gerado a cada instante e integrar algoritmos que consigam aprender com séries de dados e apoiem as equipas a avaliar tendências, que resultem em perdas de eficiência, falhas nos equipamentos, defeitos, etc.

5. CONCLUSÕES

As estratégias de digitalização podem ser definidas como a análise dos requisitos industriais para propor um conjunto de funcionalidades digitais capazes de suprir necessidades específicas, mas também de fornecer vantagens valiosas para a competitividade e a sobrevivência futuras das empresas. Esta abordagem, que contempla uma vertente de mudança de práticas intensivas em mão-de-obra, sem valor acrescentado, por configurações de manufatura digital, tornou-se numa realidade cada vez mais comum e *standard* na Indústria 4.0.

O alcance desta visão e objetivos só será possível com a capacitação das empresas e suas equipas com ferramentas de gestão estratégica e operacional que agilizem o trabalho, contribuam para a sua segurança e bem-estar, e transformem a informação contida nos dados, medidos em toda a cadeia de valor, em conhecimento, contribuindo assim para o conceito de organização super-humana, inteligente, conectada, eficiente e sustentável.

Partindo destas premissas de Indústria 4.0 e Sociedade 5.0, o presente Guia de Boas práticas para a Implementação dos Princípios da Indústria 4.0 teve como principal objetivo reunir um conjunto de recomendações e diretrizes que orientem as empresas na criação das suas estratégias globais de transformação digital.

Identifica-se, em primeiro lugar, que as empresas necessitam de começar com um diagnóstico i4.0, procurando avaliar a sua maturidade digital, identificar boas práticas e áreas críticas que carecem de intervenção, definir uma estratégia de digitalização que consiga colmatar estas lacunas, traçar um plano de execução e capacitação das pessoas, bem como

avaliar investimentos chave a serem realizados para preconizar esta transformação.

Para o efeito, poderá ser utilizado o modelo ShiftTo4.0 que propõe a avaliação do estado de maturidade digital de uma empresa em função das ações e práticas implementadas.

Pode ser útil criar e interagir, de forma contínua, com redes globais de parceiros antes da introdução de qualquer iniciativa i4.0. Os estudos de benchmarking são uma forma de identificar como outras empresas percorreram processos semelhantes de transformação digital, soluções adotadas, formas de ultrapassar desafios e discussão de estratégias.

Destaca-se como denominador comum o forte investimento realizado pelas empresas na definição da estratégia de digitalização, em sensorização dos processos, máquinas e equipamentos, em automação, em novos sistemas de informação, em serviços especializados de integração e consolidação de bases de dados, em design e desenvolvimento de *dashboards* de análise estatística de dados, bem como em formação para assegurar a capacitação das pessoas.

Geralmente, essas iniciativas originam o desenvolvimento de um projeto de II&D que permitirá dar resposta aos vários desafios técnicos e científicos associados à criação de um sistema integral e inteligente de gestão do conhecimento, avançar o estado da arte das principais áreas de negócio face aos desafios da Indústria 4.0, bem como fazer um *scale up* dessas iniciativas e sistemas para outras empresas ou unidades industriais, garantido a harmonia de procedimentos e formas de trabalhar, a gestão conjunta, a partilha de conhecimento, e a maximização das capacidades produtivas.

Inclusivamente, esses projetos costumam servir as candidaturas a sistemas de incentivo como o da Inovação Produtiva, como forma de captar financiamento para os investimentos em transformação digital.

Da análise de *benchmarking* internacional e nacional, também a cibersegurança se destaca como denominador comum. Pode e deve ser aplicada em qualquer setor de atividade, sob pena de não se conseguir assegurar a continuidade das operações em caso de acidente e/ou ataques cibernéticos, com destaque para a monitorização e o controlo do processo produtivo.

Concluindo, a integração e conectividade de processos, a prototipagem 3D, a análise de dados em tempo real de toda a cadeia de valor e outras iniciativas i4.0 pressupõem uma estratégia de cibersegurança, mas também um plano de capacitação das pessoas para operar com os novos sistemas e processos e analisar e extrair o maior valor possível dos dados, convertendo este conhecimento em ações concretas com impacto direto no aumento da eficiência, produtividade e competitividade das empresas.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmad, A., Al-Ahmari, A. M., Aslam, M. U., Abidi, M. H., & Darmoul, S. (2015). Virtual Assembly of an Airplane Turbine Engine. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1726-1731. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.335>
- Alam, S., Tambunan, O., & Shihab, M. R. (2020). The Role of Information Technology Leadership in Information Technology Role Transition from Support to Strategic: Case Study of the National Institute of Aeronautics and Space. In 2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), Bandung, Indonesia. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9264924>
- Alexopoulos, K., Nikolakis, N., & Xanthakis, E. (2022). Digital Transformation of Production Planning and Control in Manufacturing SMEs-The Mold Shop Case. *Applied Sciences*, 12(21), 1-14. <https://doi.org/10.3390/app122110788>
- Beliatis, M. J., Jensen, K., Ellegaard, L., Aagaard, A., & Presser, M. (2021). Next Generation Industrial IoT Digitalization for Traceability in Metal Manufacturing Industry: A Case Study of Industry 4.0. *Electronics*, 10(5), 628. <http://dx.doi.org/10.3390/electronics10050628>
- Choi, K. (2022). 3D dynamic fashion design development using digital technology and its potential in online platforms. *Fashion and Textiles*, 9(9), 1-28. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00286-1>
- González, G. A., Hernández, A. S., Vásquez, M. G., Uribe, J. V., & Avellaneda, A. B. (2022). Sustainable manufacturing in the fourth industrial revolution: A big data application proposal in the textile industry. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(4), 614-636. <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.3922>
- Guggenmos, F., Häckel, B., Ollig, P., & Stahl, B. (2022). Security First, Security by Design, or Security Pragmatism – Strategic Roles of IT Security in Digitalization Projects. *Computers & Security*, 118, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102747>
- Hamzaoglu, B., Özkar, M., & Aydın, S. (2022). Towards a Digital Practice of Historical Stone Carvings. In B. Pak, G. Wurzer, & R. Stouffs (Eds.), *Co-creating the Future: Inclusion in and through Design - Proceedings of the 40th Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe* (pp. 227–234). http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/eaaade2022_396
- Margherita, E. G., & Braccini, A. M. (2020). Industry 4.0 Technologies in Flexible Manufacturing for Sustainable Organizational Value: Reflections from a Multiple Case Study of Italian Manufacturers. *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10047-y>
- Moeketsi, T., & Letaba, P. (2022). Leapfrogging pathway for fourth industrial revolution: A case of process innovation within an automotive subsidiary firm. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 33(4), 81-93. <https://doi.org/10.7166/33-4-2684>
- Mourtzis, D., & Doukas, M. (2014). Knowledge Capturing and Reuse to Support Manufacturing of Customised Products: A Case Study from the Mould Making Industry. *Procedia CIRP*, 21, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.165>
- Parra, B. B., Cerra, P. P., & Peñín, P. I. (2022). Combining ERP, Lean Philosophy and ICT: An Industry 4.0 Approach in an SME in the Manufacturing Sector in Spain. *Engineering Management Journal*, 34(4), 655-670. <https://doi.org/10.1080/10429247.2021.2000829>
- Yabansu, Y. C., Rehn, V., Hötzer, J., Nestler, B., & Kalidindi, S. R. (2019). Application of Gaussian process autoregressive models for capturing the time evolution of microstructure statistics from phase-field simulations for sintering of polycrystalline ceramics. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 27, 1-24. <https://doi.org/10.1088/1361-651X/ab413e>
- Yu, Z., Zheng, W., Li, Z., Lu Y., Yun, X., Qin, Z., & Lu, X. (2021). Accelerated exploration of TRIP metallic glass composite by laser additive manufacturing. *Journal of Materials Science & Technology*, 78, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.10.057>

GLOSSÁRIO

- APS** O *Advanced Planning and Scheduling* (APS) é um software utilizado para otimizar os processos de planeamento e programação da produção. Projetado para gerir a complexidade e as restrições presentes nas operações de produção, o APS tem em consideração fatores como recursos disponíveis, capacidade de produção, encomendas, prazos de entrega, sequenciamento de tarefas, entre outros. Como este software utiliza algoritmos, as análises e os cálculos apresentados são precisos, auxiliando a tomada de decisões inteligentes.
- BI** O *Business Intelligence* (BI) refere-se ao processo de recolha, organização, análise e apresentação de informações relevantes para apoiar a tomada de decisões estratégicas e operacionais nas empresas. Significa que diferentes tecnologias, ferramentas e metodologias são utilizadas para transformar dados brutos em conhecimento. Deste modo, a extração de conhecimento tem origem em várias fontes de dados, como chão de fábrica, vendas, marketing, entre outras, o que permite às empresas contar com uma visão mais clara e abrangente do seu desempenho.
- CAD** O *Computer Aided Design* (CAD) é um software, que pode ser combinado com ferramentas digitais, para criar, modificar, analisar e otimizar projetos em várias áreas, como arquitetura, engenharia, design industrial, entre outras. Permite que os projetistas criem modelos virtuais em 2D ou 3D de produtos, estruturas ou ambientes, e utilizem recursos como linhas, formas geométricas, texturas, cores e informações específicas. Enquanto modelos digitais, conferem maior precisão aos projetos, redução de erros, melhoria na comunicação entre departamentos, bem como a redução de custos de produção.
- CAM** O *Computer Aided Manufacturing* (CAM) refere-se à utilização de software e ferramentas computacionais para automatizar e otimizar os processos de produção. O CAM opera em conjunto com o CAD para transformar modelos digitais em instruções e comandos precisos para as máquinas e equipamentos. É como se o projeto fosse primeiro traduzido virtualmente num processo real de produção, contemplado várias etapas, como corte, impressão 3D, montagem, entre outras. Esta ferramenta confere às empresas aumento de produtividade, redução de erros, melhoria da qualidade, maior flexibilidade de produção, redução de tempos de ciclo e otimização do uso de recursos.
- CNC** O *Computerized Numerical Control* (CNC) é um sistema de controlo automatizado que pode ser incorporado em máquinas e equipamentos industriais. O CNC é responsável por controlar essas máquinas, por meio de instruções e comandos programados em formatos numéricos. Como se trata de uma combinação de software, algoritmos e hardware, para interpretar os comandos programados e controlar os movimentos precisos das máquinas e operações relacionadas, é proporcionado às empresas maior eficiência, produtividade e qualidade na produção de peças complexas, bem como a redução significativa de dependências por intervenções manuais dos operadores.
- CPS** O *Cyber Physical System* (CPS) refere-se a um sistema integrado, que combina elementos físicos, como máquinas, dispositivos móveis, entre outros, ligados a sensores e, por conseguinte, a componentes computacionais, possibilitando a interação contínua e colaborativa entre esses sistemas e os objetos. A integração de componentes físicos permite que os sistemas ciberfísicos monitorizem e controlem, em tempo real, todo o ambiente da fábrica, mas também têm a capacidade de processar esses dados e auxiliar as empresas na tomada de decisões inteligentes e estratégicas.
- CRM** O *Customer Relationship Management* (CRM) pode ser definido como uma estratégia de negócio que utiliza um conjunto de práticas, tecnologias e ferramentas para gerir e melhorar o relacionamento que as empresas estabelecem com os seus clientes. Sendo o principal objetivo criar relacionamentos duradouros e mutuamente benéficos, o CRM pode ser utilizado para centralizar a organização e a gestão dos dados dos clientes, como dados de contratos, histórico de compras, necessidades, preferências, fidelizar clientes existentes, bem como automatizar vendas, para referir algumas possibilidades.
- ERP** O *Enterprise resource planning* (ERP) diz respeito ao sistema que permite às empresas gerir e automatizar uma variedade de processos e atividades relacionadas. Este sistema é composto por um conjunto de módulos interligados que abrangem áreas funcionais-chave, como finanças, contabilidade, stocks, compras, vendas, recursos humanos, produção, distribuição, entre outras, fornecendo uma visão unificada e centralizada dos dados e processos da empresa. Uma das suas mais valias é que o ERP integra e os processos e fluxos de trabalho de diferentes departamentos e áreas funcionais, o que elimina a necessidade de sistemas separados e redundantes que criam ilhas de informação.

- IoT** A *Internet of Things* (IoT) é um conceito em que objetos físicos podem ser conectados à Internet para trocar dados e informações entre si, sem a necessidade de intervenção humana direta. A ideia subjacente é permitir que objetos e dispositivos comuns, como máquinas e equipamentos industriais, comuniquem entre si e laborem, no caso da indústria, por meio de conexões em rede. Portanto, esses objetos têm de ser dotados de conectividade, que possibilita os fluxos de comunicação entre os dispositivos, por exemplo, através de conexões sem fio, como Wi-Fi, Bluetooth, entre outras.
- LAM** O *Laser Additive Manufacturing* (LAM) é um tipo de fabrico aditivo que utiliza lasers, por exemplo, para fundir metal camada a camada e criar estruturas 3D complexas com elevada precisão. Esta tecnologia tem sido amplamente utilizada em várias indústrias, incluindo a aeroespacial, a automóvel e a de dispositivos médicos. Nos últimos anos, a LAM também tem sido aplicada na produção de óculos metálicos.
- MES** O *Manufacturing Execution System* (MES) é um software utilizado na indústria para monitorizar, controlar e gerir, em tempo real, as atividades de produção. O MES atua como uma camada intermediária entre os sistemas de planeamento (como o ERP) e o chão de fábrica, fornecendo visibilidade e controlo sobre as operações. Ele tem muitas outras funcionalidades valiosas, como o facto de ser um recurso que permite avaliar o desempenho da produção, analisar indicadores-chave de desempenho (KPIs) e gerar relatórios detalhados. Assim, este instrumento auxilia a tomada de decisões baseadas em dados para melhorar a eficiência, qualidade e produtividade da produção.
- SCADA** O *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) costuma ser utilizado para monitorizar e controlar, em tempo real, os processos industriais. Este sistema tem essencialmente três características que o distingue das outras tecnologias, nomeadamente a supervisão, o controlo remoto e a aquisição, instantânea, de dados presentes em dispositivos e sensores. Os operadores podem controlar os processos à distância, sem a necessidade de intervenção física, ajustar parâmetros, bem como identificar áreas de melhoria para aumentar a eficiência e a produtividade, uma vez que o SCADA lhes fornece uma visão abrangente e real do *status* das operações. Esses dados são apresentados aos operadores em interfaces gráficas, permitindo que eles visualizem, analisem e acompanhem os processos em execução.

FICHA TÉCNICA

Título

Guia de Boas Práticas para a Indústria 4.0

Coordenação

Leonor Teixeira - Universidade de Aveiro (UA)
Cármem Guimarães - Universidade de Aveiro (UA)

Designação do Projeto

SHIFT2Future – Promoção da economia 4.0 na indústria e serviços de PME

Promotores do Projeto

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade
IAPMEI – Agência para a Competitividade e Inovação
TECMINHO – Associação Universidade-Empresa para o Desenvolvimento
UA – Universidade de Aveiro
CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

Equipa Técnica

Cristina Barros - SINMETRO
Bruno Frutuoso Costa - SINMETRO
Diana Ramos - SINMETRO

Editora

UA - Universidade de Aveiro
1ª edição – junho 2023

ISBN

978-972-789-873-2

DOI

<https://doi.org/10.48528/fzgw-nn60>

Os conteúdos apresentados são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores. Esta obra encontra-se sob a Licença Creative Commons BY-NC-ND 4.0.

GUIA DE BOAS PRÁTICAS
PARA A INDÚSTRIA 4.0

www.shift2future.pt

SHIFT2 FUTURE

CONSÓRCIO



PROJETO CO-FINANCIADO POR:

