INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Ferramenta de Maturidade Indústria 4.0: Aplicação em Ecossistemas Empresariais Regionais

JOÃO PEDRO ALMEIDA PACHECO
outubro de 2022

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

FERRAMENTA DE MATURIDADE INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÃO EM ECOSSISTEMAS EMPRESARIAIS REGIONAIS

João Pedro Almeida Pacheco

1150436

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

FERRAMENTA DE MATURIDADE INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÃO EM ECOSSISTEMAS EMPRESARIAIS REGIONAIS

João Pedro Almeida Pacheco

1150436

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor António Henrique Mendes de Almeida e coorientação do Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO DO PORTO

JÚRI

Presidente

Professor Doutor António Manuel Pereira da Silva Amaral

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Doutor António Henrique Mendes de Almeida

Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Gustavo Dalmarco

Investigador Sénior, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre fizeram tudo por mim.

A toda a restante família, especialmente aos meus avós, pela confiança, força e motivação transmitidas ao longo do meu percurso académico.

Ao meu orientador, o Professor Doutor António Henrique Mendes de Almeida, e coorientador, o Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro, como forma de reconhecimento pelo apoio contínuo e pela disponibilidade e entrega totais nos últimos meses.

Aos profissionais do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), com os quais trabalhei em equipa no âmbito do Projeto SAP 4.0 – a Daniela Sofia Silva, o Engenheiro Filipe Ferreira e o Pedro Senna –, pelo habitual ambiente de colaboração descontraído e leve, e por todos os conhecimentos e experiências partilhados.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria 4.0; *Key Enabling Technologies*; Modelos de Maturidade Digital; *Roadmaps* Tecnológicos

RESUMO

Na última década, a Indústria 4.0 (também conhecida por Quarta Revolução Industrial) tem vindo a popularizar-se como um movimento de atualização e reformulação da indústria à escala global. Representada por um conjunto ou grupo de soluções tecnológicas avançadas, a Indústria 4.0 promete modernizar as infraestruturas e os recursos à disposição das empresas/organizações industriais pelo mundo fora, aumentando os seus níveis de eficiência e de produtividade.

Localmente, o tecido industrial da área geográfica do Entre Douro e Vouga revela algumas carências e fragilidades, sobretudo na esfera da digitalização, pelo que se justifica o desenvolvimento de uma ferramenta para a evolução ou transição digital dos vários setores de atividade localizados na região. De início, procede-se à análise (quantitativa) de maturidade digital de uma série de organizações, com recurso ao Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC. Os valores apurados (numa escala de 1 a 6) correspondem aos níveis globais de maturidade digital de cada empresa sujeita a avaliação e traduzem o seu posicionamento em matéria de digitalização. Pelo cálculo da média aritmética dos respetivos patamares de maturidade digital (por dimensão ou vertente do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC) das entidades avaliadas, pertencentes a cada um dos ramos de atividade identificados pelos códigos numéricos CAE 259, 289 e 293, torna-se possível a elaboração de um diagnóstico de maturidade digital ao nível setorial. Em função do estado atual de cada ramo industrial, traçam-se rotas próprias, inseridas numa dinâmica evolutiva. Após a elaboração/realização de propostas genéricas, focadas na adoção ou implementação sequencial de *Key Enabling Technologies* da Indústria 4.0, devem ser as firmas de cada setor a ponderar, de acordo com a sua condição financeira no momento, a sua estratégia operacional e os seus planos para o futuro, até qual dos níveis de maturidade digital seguintes pretendem avançar.

KEYWORDS

Industry 4.0; Key Enabling Technologies; Industry 4.0 Maturity Models; Technology Roadmaps

ABSTRACT

Over the last decade, Industry 4.0 (also known as the Fourth Industrial Revolution) has been gaining popularity as an industry reform movement on a global scale. Represented by a group or a set of advanced technology solutions, Industry 4.0 promises to modernize worldwide industrial companies' facilities and resources, increasing their effectiveness and productivity levels.

On a local level, industrial fabric from the geographical area of Entre Douro e Vouga reveals some gaps and weaknesses, mainly in the digitalization scope, that's why the development of a tool focused on the local business sectors' digital transformation makes sense. It begins with a quantitative maturity analysis of a series of enterprises, using Modelo de Maturidade Digital i4.0 INESC TEC. All values obtained (on a scale from 1 to 6) correspond to the global maturity levels of each organization assessed and indicate/represent their digital positioning. Calculating the arithmetic mean of all maturity levels (for every Modelo de Maturidade Digital i4.0 INESC TEC's dimension) from evaluated organizations, which belong to the activity sectors identified by the CAE numerical codes 259, 289 and 293, enables the development of a proper sectorial maturity diagnosis. According to each industrial branch's current reality or state, individual paths are created, respecting an evolutionary logic. After the delivery of standard proposals, based on the sequential adoption or implementation of Industry 4.0 Key Enabling Technologies, companies from each industrial sector must decide, considering their present financial situation, their operational strategy and their future plans, which of the following maturity levels they are willing to reach.

LISTA DE SIGLAS

AECOA	Associação Empresarial do Concelho de Oliveira de Azeméis
AEF	Associação Empresarial do Concelho de Santa Maria da Feira
CAD	*Computer-Aided Design*
CAE	Código de Atividade Económica
CAM	*Computer-Aided Manufacturing*
CESE	Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais
DREAMY	*Digital Readiness Assessment Maturity Model*
DRL	*Digital Readiness Level*
ECO	*Environment, Competence and Operability*
ERP	*Enterprise Resource Planning*
GRAMI	*Global Readiness Assessment Model for Industry 4.0*
IBM	*International Business Machines*
I&D	Investigação & Desenvolvimento
INE	Instituto Nacional de Estatística
INESC TEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência
IoT	*Internet of Things*
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
IT	*Information Technology*
KET	*Key Enabling Technologies*
MES	*Manufacturing Execution System*

MM	*Maturity Model*
OEM	*Original Equipment Manufacturer*
OPC UA	*Open Platform Communications Unified Architecture*
OSCM	*Operations and Supply Chain Management*
PME	Pequenas e Médias Empresas
POM	*Production and Operations Management*
PPX	*Pay-Per-X*
SABI	Sistema de Análise de Balanços Ibéricos
SAP	Sistemas Avançados de Produção
SCM	*Supply Chain Management*
SI	Sistemas de Informação
SIMMI	*System Integration Maturity Model Industry 4.0*
SME	*Small and Medium-Sized Enterprises*
WDC	*Working Data Capital*

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Indústria 4.0	*Networking* entre computadores, dispositivos, equipamentos, máquinas e processos industriais, com base nos recentes/últimos avanços verificados no panorama das Tecnologias da Informação e da Comunicação (Bretz et al., 2022).
Key Enabling Technologies	Conjunto/grupo de tecnologias de ponta, vinculadas à Quarta Revolução Industrial, com potencial de utilização em contexto de apoio ou suporte à tomada de decisão estratégica em tempo real (Bigliardi et al., 2020).
Modelos de Maturidade Digital	Ferramenta, metodologia ou técnica desenvolvida para avaliar os processos de empresas/organizações industriais e quantificar o seu respetivo nível de maturidade digital (Angreani et al., 2020).
Roadmaps Tecnológicos	Diagrama ou mapa que apresenta uma lista (ordenada) de soluções tecnológicas a adotar/implementar por uma determinada firma (El-Warrak et al., 2022).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis ou patamares de maturidade da Indústria 4.0 (Schuh et al., 2020) 13
Figura 2 - Fases do Projeto SAP 4.0 25
Figura 3 - Vislumbre do questionário de autoavaliação *online* 29
Figura 4 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 259 30
Figura 5 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 289 30
Figura 6 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 293 30
Figura 7 - Gráfico ou matriz para o posicionamento digital de empresas 31
Figura 8 - Atividades ou etapas da ferramenta desenvolvida 33
Figura 9 - Gráfico de radar vetorial da empresa A 34
Figura 10 - Gráfico de radar axial da empresa A 34
Figura 11 - Gráfico de radar vetorial da empresa B 35
Figura 12 - Gráfico de radar axial da empresa B 35
Figura 13 - Posicionamento digital da empresa A 36
Figura 14 - *Roadmap* desenvolvido para a empresa A 37
Figura 15 - Posicionamento digital da empresa B 38
Figura 16 - *Roadmap* desenvolvido para a empresa B 38

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Análise comparativa entre Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 9

Tabela 2 - Ficha tecnológica de *Big Data* e *Analytics* 15

Tabela 3 - Ficha tecnológica de *Blockchain* 16

Tabela 4 - Ficha tecnológica de Cibersegurança 16

Tabela 5 - Ficha tecnológica de *Cloud* 17

Tabela 6 - Ficha tecnológica de *Digital Twin* 17

Tabela 7 - Ficha tecnológica de Fabrico Aditivo 18

Tabela 8 - Ficha tecnológica de Integração Horizontal e Vertical de Sistemas 18

Tabela 9 - Ficha tecnológica de *Internet of Things* (*IoT*) 19

Tabela 10 - Ficha tecnológica de Realidade Aumentada 19

Tabela 11 - Ficha tecnológica de *Robots* Autónomos 20

Tabela 12 - Ficha tecnológica de Simulação 20

Tabela 13 - Ficha tecnológica de 5G 21

Tabela 14 - Estrutura da dimensão de Tecnologias e SI do Modelo de Maturidade Digital i4.0 27

Tabela 15 - Correspondência entre tecnologias e vetores da dimensão de Tecnologias e SI 27

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 3

1.1 Contextualização e Objetivos 3

1.2 Metodologia 3

1.3 Estrutura do Documento 3

1.4 Empresa ou Local de Acolhimento 4

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 7

2.1 *Overview* da Indústria 4.0 7

2.2 Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 8

2.2.1 Introdução aos Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 8

2.2.2 Análise Comparativa entre Modelos de Maturidade da Indústria 4.0 8

2.3 Níveis ou Patamares de Maturidade da Indústria 4.0 13

2.4 Key Enabling Technologies 15

3 DESENVOLVIMENTO 25

3.1 Enquadramento Geral do Projeto SAP 4.0 25

3.2 Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC 26

3.3 Questionário de Autoavaliação *Online* 28

3.4 Análise ou Diagnóstico de Maturidade Digital por Setor de Atividade 29

3.5 Gráfico ou Matriz para o Posicionamento Digital de Empresas 31

3.6 Aplicação da Ferramenta/Metodologia Desenvolvida 33

3.6.1 Análise de Maturidade Digital 33

3.6.1.1 Resumo do Processo de Análise de Maturidade Digital da Empresa A 33

3.6.1.2 Resumo do Processo de Análise de Maturidade Digital da Empresa B 35

3.6.2 Definição de Planos Estratégicos Tecnológicos (*Roadmaps*) 36
3.6.2.1 *Roadmap* Desenvolvido para a Empresa A 36
3.6.2.2 *Roadmap* Desenvolvido para a Empresa B 38
4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS 41
4.1 Conclusões 41
4.2 Propostas de Trabalhos Futuros 42
5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO 45
6 ANEXOS 51
6.1 Questionário de Autoavaliação *Online* 51
6.2 *Website* do Projeto SAP 4.0 62

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Objetivos

1.2 Metodologia

1.3 Estrutura do Documento

1.4 Empresa ou Local de Acolhimento

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Objetivos

A presente tese de mestrado foca-se na aplicação de uma ferramenta ou metodologia que cobre as várias etapas (e subetapas) do processo de transição digital de empresas/organizações pertencentes a setores industriais. Pretende-se demonstrar a utilidade da ferramenta em questão no contexto particular e real de duas empresas com instalações/unidades de fabrico situadas na área geográfica do Entre Douro e Vouga.

1.2 Metodologia

Inicialmente, a ferramenta proposta contempla a realização de análises de maturidade digital individuais, com base na estrutura e no teor do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, para as organizações selecionadas. Segue-se o diagnóstico de maturidade digital dos setores de atividade considerados (CAE 259, CAE 289 e CAE 293), que resulta da ponderação da média aritmética dos respetivos níveis de maturidade digital (por dimensão do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC) de cada uma das suas instituições avaliadas. De acordo com os resultados finais da avaliação quantitativa, que correspondem precisamente aos níveis globais de maturidade digital de cada setor, elaboram-se três *roadmaps* genéricos (um por setor) assentes na implementação sucessiva de algumas das principais tecnologias da Indústria 4.0. Tendo em vista o crescimento sustentado de cada ramo de atividade industrial, as várias tecnologias a propôr surgem ordenadas de forma crescente ou hierárquica, em função do respetivo patamar de maturidade digital associado.

1.3 Estrutura do Documento

Estruturalmente, o documento segmenta-se em vários capítulos principais:

• Capítulo 1 – Introdução – Apresenta a contextualização ou o enquadramento da dissertação de mestrado e os seus respetivos objetivos, o tipo de ferramenta ou metodologia a utilizar, a estrutura geral do presente documento e ainda a instituição parceira.

• Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica – Destina-se à exploração de assuntos ou conteúdos temáticos no âmbito da Quarta Revolução Industrial que, mais à frente, integram o Capítulo 3.

• Capítulo 3 – Desenvolvimento – Contempla a estrutura da ferramenta/metodologia proposta e a sua aplicação concreta para duas empresas ou organizações industriais da região do Entre Douro e Vouga.

• Capítulo 4 – Conclusões e Propostas de Trabalhos Futuros – Incorpora algumas considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, juntamente com uma proposta válida de futuro.

• Capítulo 5 – Bibliografia e Outras Fontes de Informação – Partilha todas as referências bibliográficas utilizadas na escrita do Capítulo 2.

• Capítulo 6 – Anexos – Revela a versão completa/integral do questionário de autoavaliação *online* e também o *website* do Projeto SAP 4.0.

1.4 Empresa ou Local de Acolhimento

Esta dissertação realiza-se sob a alçada do Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais (CESE), que se trata de um dos vários *clusters* do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), no âmbito do Projeto SAP 4.0 – Caraterização *As-Is* e Definição de *Roadmap* Estratégico Tecnológico para os Sistemas Avançados de Produção do Entre Douro e Vouga –, coordenado por duas associações empresariais locais: a Associação Empresarial do Concelho de Oliveira de Azeméis (AECOA) e a Associação Empresarial do Concelho de Santa Maria da Feira (AEF).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Overview* da Indústria 4.0

2.2 Modelos de Maturidade da Indústria 4.0

2.3 Níveis ou Patamares de Maturidade da Indústria 4.0

2.4 *Key Enabling Technologies*

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Overview* da Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 surge pela primeira vez na edição de 2011 da *Hannover Messe*, considerada a feira (ou a plataforma) mais relevante à escala internacional no domínio da transformação digital ao nível industrial, como resultado de um projeto estratégico de alta tecnologia, liderado pelo Governo da Alemanha de então, que introduz a chamada Quarta Revolução Industrial (Isikli et al., 2017).

Existe uma série de definições válidas para o conceito de Indústria 4.0 no extenso universo de autores que escrevem e publicam sobre o tema. Os autores Schuh et al. (2020) descrevem Indústria 4.0 como a sinergia entre um trio de elementos tecnológicos chave: um grande volume de informação em tempo real, comunicação multilateral e interconetividade entre sistemas ciberfísicos e pessoas. De acordo com Tjahjono et al. (2017), a Quarta Revolução Industrial promove e valoriza um contexto de *smart factory* em que todas as máquinas no local estão habilitadas a comunicar entre si, partilhando dados e sendo controladas de forma totalmente autónoma. Segundo Lasi et al. (2014), a Indústria 4.0 fomenta o desenvolvimento e a melhoria de um vasto leque de áreas e processos, tais como a automação, a digitalização, a mecanização, a miniaturização e o *networking*.

No contexto atual, é fundamental que toda e qualquer organização industrial planeie e desempenhe a sua atividade dentro daquilo que são as especificidades e o rumo de um mercado cada vez mais competitivo e dinâmico. A volatilidade do mercado pressiona as empresas a introduzir alterações frequentes aos seus modelos de negócio e a seguir tendências globais, entre as quais a redução do período para desenvolvimento de produto (*time to market*), a individualização da procura (também denominada como *batch size one*), a flexibilidade na produção, a descentralização do poder ou a redistribuição do mesmo pelos vários cargos e o foco no aproveitamento e na eficiência dos recursos. De facto, considera-se que estes são os *triggers* económicos, políticos e sociais da Indústria 4.0 (Lasi et al., 2014).

A transição para a Indústria 4.0 alavanca de forma significativa o crescimento das economias e proporciona uma extensa lista de benefícios e vantagens às organizações dispostas a investir na adoção de tecnologias. Schuh et al. (2020) realçam o impacto francamente positivo que as tecnologias vinculadas à Indústria 4.0 podem ter nos vários departamentos de uma empresa, garantindo uma maior celeridade nos processos de tomada de decisão e de adaptação à instabilidade do mercado. Vaidya et al. (2018) sublinham o grande contributo da Quarta Revolução Industrial para os avanços notáveis verificados no plano das relações entre o triângulo formado por clientes, fornecedores e produtores. Tjahjono et al. (2017) afirmam que a plena efetivação da Indústria 4.0 no contexto de um determinado negócio resulta num aumento visível em indicadores como a eficiência, a flexibilidade, os padrões de qualidade ou a produtividade.

Uma grande percentagem das instituições, sobretudo na categoria das pequenas e médias empresas (PME), mostra-se relutante em apostar nas soluções que a Indústria 4.0 disponibiliza, suspeitando da objetividade ou da transparência das suas virtudes e receando um investimento financeiro avultado e um período/prazo de implementação demasiado longo (Schuh et al., 2020).

2.2 Modelos de Maturidade da Indústria 4.0

2.2.1 Introdução aos Modelos de Maturidade da Indústria 4.0

Considera-se que determinado processo de negócio, sistema ou tecnologia revela maturidade quando se encontra numa fase de desenvolvimento particularmente avançada (Wagire et al., 2021).

Regra geral, justifica-se a aplicação ou a utilização de modelos de maturidade da Indústria 4.0 em cenários típicos de avaliação (dimensão a dimensão) e de posicionamento de empresas/organizações industriais segundo uma escala de referência dividida em vários níveis de maturidade (Dikhanbayeva et al., 2020).

2.2.2 Análise Comparativa entre Modelos de Maturidade da Indústria 4.0

Ao longo da última década, verifica-se um crescimento significativo ao nível da quantidade de modelos de maturidade desenvolvidos e publicados no âmbito da emergente Indústria 4.0. Por se tratar de uma área efetivamente vasta, surge a necessidade de compilar uma amostra fiel e representativa de todo o universo de modelos de maturidade no panorama da Indústria 4.0, juntando alguns dos mais clássicos e genéricos com outros realmente diferenciados/singulares do ponto de vista estrutural ou temático.

O desenvolvimento de uma estratégia, iniciativa ou processo de segmentação da amostra de modelos de maturidade em questão resulta na formação de vários *clusters* ou nichos:

- Ambiente e Sustentabilidade
- Capital Humano
- *Data Science*
- Empresas / Organizações de *Machine Tool*
- Genéricos
- Gestão da Cadeia de Abastecimento e Operações
- Indústria da Construção
- Nações / Países
- Pequenas e Médias Empresas
- Pequenas e Médias Empresas em Portugal
- Pequenas e Médias Empresas na Malásia
- Setor da Defesa
- Setor Industrial
- Setor Industrial na Alemanha
- Setor Industrial na Índia

De uma forma organizada e visual, a Tabela 1 disponibiliza informação básica (nome identificativo, autor(es) ou entidade responsável, dimensões de análise consideradas, estágios ou níveis de maturidade propostos e respetivo universo temático) sobre cada um dos 25 modelos de maturidade garantidos/presentes na amostra.

Tabela 1 - Análise comparativa entre Modelos de Maturidade da Indústria 4.0

Nome Identificativo	**Autor(es) ou Entidade (Referência)**	**Dimensões de Análise**	**Estágios ou Níveis de Maturidade**	**Universo Temático**
Maturity Model	(Çınar et al., 2021)	*Factory* 4.0 *Logistics* 4.0 *Management* 4.0 *Operator* 4.0	*Level* 0: *Outsider* *Level* 1: *Beginner* *Level* 2: *Intermediate* *Level* 3: *Experienced* *Level* 4: *Top Performer*	Genérico
*OSCM*4.0	(Caiado et al.,	*POM* *SCM*	*Level* 0: *Nonexistent* *Level* 1: *Conceptual*	Gestão da Cadeia de

	2021)	*SCM* & *POM*	*Level* 2: *Managed* *Level* 3: *Advanced* *Level* 4: *Self-optimized*	Abastecimento e Operações
*GRAMI*4.0	(Tripathi & Gupta, 2021)	*Consumers* *Cybersecurity* *Ecological Sustainability* *Enabling Environment* *Human Resource* *Infrastructure* *Innovation Capability*	*GRAMI*4.0 *Scores* (0-1)	Nações / Países
Industry 4.0 *Maturity Model*	(Schumacher et al., 2016)	*Culture* *Customers* *Governance* *Leadership* *Operations* *People* *Products* *Strategy* *Technology*	*Level* 1 *Level* 2 *Level* 3 *Level* 4 *Level* 5	Setor Industrial
DREAMY	(Carolis et al., 2017)	*Design and Engineering* *Logistics Management* *Maintenance Management* *Production Management* *Quality Management*	*Level* 1: *Initial* *Level* 2: *Managed* *Level* 3: *Defined* *Level* 4: *Integrated and Interoperable* *Level* 5: *Digital-oriented*	Setor Industrial
Acatech Industrie 4.0 *Maturity Index*	(Zeller et al., 2019)	*Culture* *Information Systems* *Organizational Structure* *Resources*	*Level* 1: *Computerization* *Level* 2: *Connectivity* *Level* 3: *Visibility* *Level* 4: *Transparency* *Level* 5: *Predictive Capacity* *Level* 6: *Adaptability*	Setor Industrial
Industry 4.0 *Maturity Model for Machine Tool Companies*	(Rafael et al., 2020)	*Data-driven Services* *Smart Factory* *Smart Operations* *Smart Products* *Strategy and Organization*	*Level* 0: *Outsider* *Level* 1: *Beginner* *Level* 2: *Intermediate* *Level* 3: *Experienced* *Level* 4: *Expert* *Level* 5: *Top Performer*	Empresas / Organizações de *Machine Tool*
Maturity Model for SMEs in Malaysia	(Rahamaddulla et al., 2021)	*Culture* *Digitalization* *Employee* *Strategy* *Vertical Integration*	*Level* 0: *Newcomer* *Level* 1: *Learner* *Level* 2: *Experienced* *Level* 3: *Leader* *Level* 4: *Expert*	Pequenas e Médias Empresas na Malásia

			Level 5: *Top Performer*	
Data Science Maturity Model	(Ebru & G, 2021)	*Capability* *Process*	*Level* 1: *Initiated* *Level* 2: *Managed* *Level* 3: *Established* *Level* 4: *Predictable* *Level* 5: *Innovating*	*Data Science*
Defence Sector Maturity Model	(Bibby & Dehe, 2018)	*Factory of the Future* *People and Culture* *Strategy*	*Level* 1: *Minimal* *Level* 2: *Development* *Level* 3: *Defined* *Level* 4: *Excellence*	Setor da Defesa
Business Readiness Model with respect to Green Aspects	(Benešová et al., 2021)	*Business Processes* *Company Resources* *Product and Services* *Strategy and Leadership* *Technology*	*Level* 0: *Outsider* *Level* 1: *Beginner* *Level* 2: *Intermediate* *Level* 3: *Upper Intermediate* *Level* 4: *Advanced* *Level* 5: *Expert*	Ambiente e Sustentabilidade
Industry 4.0 - MM	(Gökalp et al., 2017)	*Application Management* *Asset Management* *Data Governance* *Organizational Alignment* *Process Transformation*	*Level* 0: *Incomplete* *Level* 1: *Performed* *Level* 2: *Managed* *Level* 3: *Established* *Level* 4: *Predictable* *Level* 5: *Optimizing*	Genérico
Industry 4.0 Maturity Model	(Wagire et al., 2021)	*Industry 4.0 Awareness* *Industry 4.0 Base Technology* *Organizational Strategy* *People and Culture* *Product and Services* *Smart Manufacturing* *Value Chain and Processes*	*Level* 1: *Outsider* *Level* 2: *Digital Novice* *Level* 3: *Experienced* *Level* 4: *Expert*	Setor Industrial na Índia
Digital Readiness Level 4.0 Model	(Pirola et al., 2020)	*People* *Processes* *Strategy* *Technology Integration*	*DRL* 1 *DRL* 2 *DRL* 3 *DRL* 4 *DRL* 5	Pequenas e Médias Empresas
ConFIRM	(Mansour et al., 2021)	*Human Capital* *Relationship Capital* *Structural Capital*	1-5	Indústria da Construção
IMPULS Readiness Model	(Lichtblau, 2015)	*Data-driven Services* *Employees* *Smart Factory* *Smart Operations*	*Level* 0: *Outsider* *Level* 1: *Beginner* *Level* 2: *Intermediate* *Level* 3: *Experienced*	Setor Industrial na Alemanha

		Smart Products *Strategy and Organization*	*Level* 4: *Expert* *Level* 5: *Top Performer*	
Industry 4.0 Maturity Model	(Isikli et al., 2017)	*Smart Business Processes* *Smart Products and Services* *Strategy and Organization*	*Level* 0: *Absence* *Level* 1: *Existence* *Level* 2: *Survival* *Level* 3: *Maturity*	Genérico
Maturity Model Evaluating Environmental Aspects	(Zoubek et al., 2021)	*IT* *Logistics* *Maintenance* *Production*	*Level* 0 *Level* 1 *Level* 2 *Level* 3 *Level* 4 *Level* 5	Ambiente e Sustentabilidade
Modelo de Avaliação de Maturidade Indústria 4.0	(Deloitte & School, 2020)	Gestão dos Ativos Intangíveis Inovação e Mudança Operações e Processos Orientação para o Cliente	Pontuação 0-100	Pequenas e Médias Empresas em Portugal
Industry 4.0 Maturity Model	(Schumacher et al., 2019)	*Corporate Standards* *Customers and Partners* *Data and Information* *Employees* *Products* *Strategy and Leadership* *Technology* *Value Creation Processes*	*Level* 1 *Level* 2 *Level* 3 *Level* 4	Setor Industrial
SIMMI 4.0	(Leyh et al., 2017)	*Digital Product Development* *Horizontal Integration* *Technology Criteria* *Vertical Integration*	*Level* 1: *Basic* *Level* 2: *Cross-departmental* *Level* 3: *Horizontal and Vertical* *Level* 4: *Full* *Level* 5: *Optimized Full*	Setor Industrial
The Connected Enterprise Maturity Model	(Automation, n.d.)	*Controls and Devices* *Information Infrastructure* *Networks* *Security Policies*	*Level* 1: *Assessment* *Level* 2: *Secure and Upgraded* *Level* 3: *Defined and Organized WDC* *Level* 4: *Analytics* *Level* 5: *Collaboration*	Setor Industrial
ECO Maturity Model	(Bretz et al., 2022)	*Environment* *Competence* *Operability*	*Level* 1: *Not Implemented* *Level* 2: *Partially Implemented* *Level* 3: *Fully Implemented*	Capital Humano
6*Ps Maturity Model*	(Spaltini et al., 2022)	*Partnership* *People* *Performance*	*Level* 1 *Level* 2 *Level* 3	Pequenas e Médias Empresas

		Platform *Process* *Product*	*Level* 4 *Level* 5	
PPX Maturity Model	(Schroderus et al., 2021)	*Competences and Culture* *Data Analytics* *Organizational Governance* *Production Technology* *Product Lifestyle Processes* *Risk Management* *Strategy*	*Level* 1: *Initial / Ad Hoc* *Level* 2: *Repeatable* *Level* 3: *Defined* *Level* 4: *Advanced* *Level* 5: *Optimized*	Setor Industrial

2.3 Níveis ou Patamares de Maturidade da Indústria 4.0

Schuh et al. (2020) criam e introduzem o seu próprio modelo, designado por *Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*, que visa orientar as empresas industriais ao longo de todo o seu processo de transformação digital. A Figura 1 representa os seis estados ou patamares de maturidade digital contemplados na estrutura do modelo, a saber: informatização, conectividade, visibilidade, transparência, capacidade preditiva e adaptabilidade. Dada a reputação do *Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*, pretende-se adotar o seu conjunto ou grupo de níveis de maturidade digital para o processo de desenvolvimento da ferramenta aplicada no capítulo seguinte.

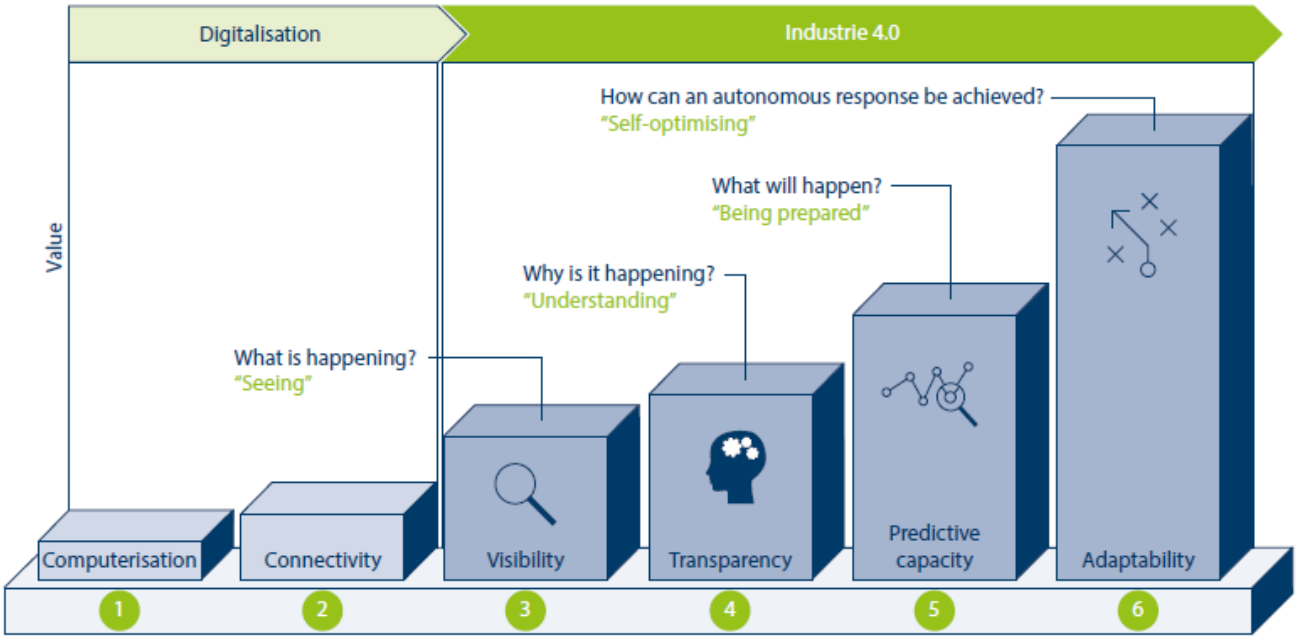


Figura 1 - Níveis ou patamares de maturidade da Indústria 4.0 (Schuh et al., 2020)

Nível 1: Informatização

Considera-se que a informatização lança as bases do processo de digitalização. Este primeiro nível é caraterizado pela utilização de várias tecnologias de informação de forma avulsa, isto é, sem qualquer tipo de integração entre si. Geralmente, a informatização apoia e simplifica a execução de tarefas repetitivas.

Nível 2: Conectividade

Na segunda etapa ou fase, verifica-se que as diferentes tecnologias de informação permanecem interligadas apenas no que diz respeito aos processos de negócio chave da organização. Certas partes dos sistemas de tecnologia operacional garantem conectividade e ainda interoperabilidade.

Nível 3: Visibilidade

A utilização de sensores viabiliza a captura e o processamento de enormes quantidades de informação acerca de operações ou processos. O rumo dos acontecimentos pode agora ser observado em tempo real nos vários departamentos da empresa, contrariamente ao que sucede no patamar anterior. É a chamada "sombra digital" da instituição.

Nível 4: Transparência

É a partir do quarto nível de maturidade que as empresas industriais compreendem o porquê do surgimento de certos eventos ou tendências e procuram fazer uso de toda a informação adquirida com a finalidade de gerar benefícios e mais-valias reais. Tipicamente, o processo de análise ao conjunto de dados recolhidos é levado a cabo por um ou mais engenheiros qualificados. Na teoria, o conhecimento acumulado facilita e melhora bastante a tomada de decisão.

Nível 5: Capacidade Preditiva

Posicionam-se nesta etapa todas as instituições que disponham de recursos capazes de simular uma ampla variedade de cenários futuros e identificar aqueles com maior probabilidade de ocorrência. A implementação de medidas de resposta às previsões não pode ser considerada automatizada.

Nível 6: Adaptabilidade

O patamar final destina-se a organizações que utilizam a informação proveniente da "sombra digital" no sentido de auxiliar a tomada de decisão e que implementam as medidas necessárias de forma automatizada, ou seja, sem qualquer tipo de intervenção humana.

2.4 Key Enabling Technologies

Genericamente, cada *Key Enabling Technology* (KET) representa uma ferramenta ou uma linha de inovação digital avançada que suporta a plena efetivação da Indústria 4.0. Neste contexto, importa sobretudo destacar as tecnologias de maior relevância: *Big Data* e *Analytics*, *Blockchain*, Cibersegurança, *Cloud*, *Digital Twin*, Fabrico Aditivo, Integração Horizontal e Vertical de Sistemas, *Internet of Things* (*IoT*), Realidade Aumentada, *Robots* Autónomos, Simulação e 5G.

Big Data e *Analytics*

O conceito de *Big Data* refere-se a um extenso volume de informação armazenada, proveniente de múltiplas fontes, que apoia ou suporta a tomada de decisão em tempo real (Isikli et al., 2017). Define-se *Analytics* como sendo o processo intensivo que consiste na execução de algoritmos e na utilização de técnicas para analisar a fundo grandes quantidades de dados, procurando identificar anomalias, correlações ou padrões existentes (Elgendy & Elragal, 2014). A Tabela 2 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Big Data* e *Analytics*.

Tabela 2 - Ficha tecnológica de *Big Data* e *Analytics*

Capacidades e valências	A análise aos dados recolhidos viabiliza a identificação de possíveis ameaças aos processos típicos da organização e a previsão de cenários ou soluções altamente favoráveis.
Dependências ou requisitos	Implica tratamento de dados não estruturados.
Nível de maturidade	Transparência
Principais ferramentas	*Apache Cassandra*; *Apache Hadoop*; *Tableau*

Blockchain

Sabe-se que a tecnologia *Blockchain* garante o armazenamento descentralizado, seguro e transparente da informação partilhada entre os vários membros ou utilizadores de uma rede *peer-to-peer*. Assim, forma-se naturalmente uma longa cadeia ou sequência de blocos encadeados, protegidos através do uso de criptografia e validados pela comunidade (Tijan et al., 2019). A Tabela 3 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Blockchain*.

Tabela 3 - Ficha tecnológica de *Blockchain*

Capacidades e valências	Permite ao utilizador monitorizar/rastrear bens, produtos ou serviços ao longo da cadeia de abastecimento, desde a sua origem até ao destino final.
Dependências ou requisitos	Os parceiros de negócio devem comprometer-se a implementar e a utilizar regularmente a tecnologia.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	*Ethereum*; *IBM Blockchain*; *MultiChain*

Cibersegurança

No meio industrial, a Cibersegurança envolve tudo o que sejam ações, boas práticas, conceitos, diretrizes, ferramentas, políticas ou tecnologias a implementar pelas organizações, com vista a precaver eventuais ataques informáticos de terceiros (Veale & Brown, 2020). O aumento exponencial verificado em tempos recentes nos domínios da conectividade e da utilização de protocolos de comunicação *standard* justifica um reforço do nível de defesa ou proteção dos sistemas industriais críticos e das linhas de produção contra ameaças sérias à cibersegurança das empresas (Vaidya et al., 2018). A Tabela 4 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de Cibersegurança.

Tabela 4 - Ficha tecnológica de Cibersegurança

Capacidades e valências	Eleva o nível de segurança operacional graças à deteção ou identificação antecipada de possíveis ameaças reais.
Dependências ou requisitos	Torna-se indispensável dar formação aos colaboradores para que estes saibam reagir a ciberataques.
Nível de maturidade	Conectividade
Principais ferramentas	*Metasploit*; *Wireshark*

Cloud

A definição ou a noção de *Cloud* remete para uma rede global de servidores virtuais que oferece capacidades brutais de armazenamento e de processamento/tratamento de dados a uma infinidade de utilizadores conectados entre si através dos respetivos dispositivos ou equipamentos (Erboz, 2020). A Tabela 5 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Cloud*.

Tabela 5 - Ficha tecnológica de *Cloud*

Capacidades e valências	O utilizador tem acesso imediato a aplicações, dados e programas a partir de qualquer um dos seus dispositivos.
Dependências ou requisitos	O *login* requer a existência de uma conexão/ligação *Wi-Fi* ou a utilização de um serviço de dados móveis.
Nível de maturidade	Conectividade
Principais ferramentas	*Google Drive*; *IBM Cloud*; *Microsoft Azure*

Digital Twin

Em suma, *Digital Twin* cria o modelo virtual de um ativo, bem ou produto físico a partir de informação obtida junto de múltiplas fontes ao longo de todo o seu ciclo de vida. De facto, o acesso ilimitado a dados em tempo real oferece garantias ao utilizador naquilo que é o entendimento do presente e o consequente vaticínio do futuro, suportando a tomada de decisão (Fuller & Fan, 2020). A Tabela 6 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Digital Twin*.

Tabela 6 - Ficha tecnológica de *Digital Twin*

Capacidades e valências	A utilização de *software Digital Twin* garante a economia/poupança de recursos físicos.
Dependências ou requisitos	Os itens ou sistemas físicos mais complexos podem desafiar a efetividade e a validade da tecnologia.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	*Azure Digital Twins*; *GE Digital Twin*; *Siemens NX*

Fabrico Aditivo

Dá pelo nome de Fabrico Aditivo (ou simplesmente Impressão 3D) o processo ou a tecnologia capaz de gerar produtos tridimensionais a partir de modelos digitais idealizados e projetados num qualquer *software CAD* (Isikli et al., 2017). Verifica-se que a estrutura dos produtos obtidos integra, de forma alternada, camadas de pó ou resina e camadas de cerâmicos, metais ou polímeros (Ghobakhloo, 2018). A Tabela 7 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de Fabrico Aditivo.

Tabela 7 - Ficha tecnológica de Fabrico Aditivo

Capacidades e valências	Agiliza a produção, fomenta a prototipagem, oferece maior criatividade/liberdade em termos de *design* de produto (customização) e reduz custos na cadeia de abastecimento.
Dependências ou requisitos	Exige um investimento financeiro preliminar avultado.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	*3DCloner DH G3*; *Creality CR-10*; *Creality Ender 3*

Integração Horizontal e Vertical de Sistemas

Por toda a extensão da cadeia de abastecimento, a Integração Horizontal de Sistemas reforça a partilha ou a troca multidirecional de informação útil entre as várias partes, nomeadamente fornecedores, produtores, empresas de distribuição e clientes. Quanto ao foro interno de cada empresa/organização, a Integração Vertical de Sistemas atualiza e melhora nitidamente o processo de comunicação entre departamentos, equipas de trabalho ou até mesmo níveis hierárquicos instituídos (Pérez-Lara et al., 2020). A Tabela 8 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de Integração Horizontal e Vertical de Sistemas.

Tabela 8 - Ficha tecnológica de Integração Horizontal e Vertical de Sistemas

Capacidades e valências	Para as empresas/organizações, demonstra-se que a Integração de Sistemas resulta num aumento geral da produtividade e da vantagem competitiva no mercado.
Dependências ou requisitos	A jornada de transição para um sistema integrado pode eventualmente levar alguns meses.
Nível de maturidade	Visibilidade
Principais ferramentas	*Data Spaces*; *OPC UA*

Internet of Things (*IoT*)

Em traços gerais, define-se *Internet of Things* (*IoT*) como sendo uma rede digital global de objetos ou sistemas físicos (computadores, dispositivos, equipamentos e máquinas) interligados que comunicam e partilham informação entre si, avançando para a tomada de decisão conjunta em tempo real (Ghobakhloo, 2018). A Tabela 9 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Internet of Things* (*IoT*).

Tabela 9 - Ficha tecnológica de *Internet of Things* (*IoT*)

Capacidades e valências	Garante uma maior visibilidade sobre os ativos, sobre as operações e sobre os processos da empresa/organização.
Dependências ou requisitos	Podem ocorrer falhas de privacidade e/ou segurança.
Nível de maturidade	Visibilidade
Principais ferramentas	*Drones*; Sensores industriais; *Smartwatches*

Realidade Aumentada

Destacada como uma das mais entusiasmantes e promissoras tecnologias vinculadas à Indústria 4.0, a Realidade Aumentada disponibiliza ao utilizador conteúdo gráfico pormenorizado que ilustra fielmente um ambiente, um cenário ou uma situação real (Ghobakhloo, 2018). Constata-se que a informação virtual pode ser utilizada no sentido de ampliar e enriquecer a perceção humana da realidade (Isikli et al., 2017). A Tabela 10 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de Realidade Aumentada.

Tabela 10 - Ficha tecnológica de Realidade Aumentada

Capacidades e valências	Num contexto tipicamente industrial, é capaz de dinamizar o processo de formação de colaboradores, introduzir melhorias nas áreas de controlo/gestão da qualidade e *design* de produto e simplificar várias ações ou tarefas de manutenção.
Dependências ou requisitos	A aquisição (e a própria manutenção) de ferramentas ou sistemas de Realidade Aumentada envolve custos tremendos.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	*BMW ConnectedDrive*; *Liver Explorer*; *Q-Warrior*; *Recon Jet*

Robots Autónomos

Como o próprio nome sugere, os *Robots* Autónomos executam, de forma totalmente independente, ações ou movimentos de natureza humana, percecionando o espaço ao seu redor e demonstrando capacidade de adaptação perante situações mais inesperadas (Bibby & Dehe, 2018). De facto, os *Robots* Autónomos exibem níveis de força, precisão e velocidade superiores aos de um operador/trabalhador comum, podendo inclusive desempenhar funções em locais considerados de risco para o ser humano (Vaidya et al., 2018). A Tabela 11 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de *Robots* Autónomos.

Tabela 11 - Ficha tecnológica de *Robots* Autónomos

Capacidades e valências	Pode estimular a redução dos custos e dos tempos de produção, do grau de desperdício e da taxa de defeitos/falhas por artigo.
Dependências ou requisitos	De uma forma geral, o tempo de carga dos *Robots* Autónomos é superior ao desejado.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	*Kuka KR Quantec*; *Yumi*

Simulação

As ferramentas ou tecnologias de Simulação permitem ao utilizador criar e desenvolver modelos virtuais que replicam uma infinidade de cenários autênticos (Ghobakhloo, 2018). Hoje em dia, os modelos de Simulação ganham ou reforçam o seu protagonismo em importantes áreas científicas e tecnológicas, nomeadamente em vários ramos da engenharia (Rodič, 2017). A Tabela 12 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas de Simulação.

Tabela 12 - Ficha tecnológica de Simulação

Capacidades e valências	Aposta na identificação e na prevenção de erros que, mais tarde, poderiam resultar em custos substanciais para a organização.
Dependências ou requisitos	Por norma, a análise de resultados dos modelos virtuais consome algum tempo.
Nível de maturidade	Capacidade Preditiva
Principais ferramentas	*AnyLogic*; *Arena*; *Simul8*

5G

Na senda da evolução/inovação natural verificada no panorama da comunicação *wireless* (em que a transferência de dados entre aparelhos não prevê a utilização de cabos ou fios) ao longo das últimas décadas, a recente tecnologia 5G vem elevar ainda mais a fasquia colocada pelas quatro gerações anteriores de redes móveis, sobretudo em parâmetros como a cobertura, a fiabilidade, a latência ou mesmo o volume de informação debitada (Dangi et al., 2022). A Tabela 13 inclui as capacidades e as valências, as dependências ou os requisitos, o nível de maturidade proposto e as principais ferramentas 5G.

Tabela 13 - Ficha tecnológica de 5G

Capacidades e valências	Suporta um número verdadeiramente impressionante de dispositivos conectados/ligados ao mesmo tempo.
Dependências ou requisitos	Nem todos os aparelhos ou equipamentos no mercado são plenamente compatíveis com a tecnologia 5G.
Nível de maturidade	Adaptabilidade
Principais ferramentas	MEO; NOS; Vodafone

DESENVOLVIMENTO

3.1 Enquadramento Geral do Projeto SAP 4.0

3.2 Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC

3.3 Questionário de Autoavaliação *Online*

3.4 Análise ou Diagnóstico de Maturidade Digital por Setor de Atividade

3.5 Gráfico ou Matriz para o Posicionamento Digital de Empresas

3.6 Aplicação da Ferramenta/Metodologia Desenvolvida

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Enquadramento Geral do Projeto SAP 4.0

Integrado numa equipa de trabalho multidisciplinar do Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais (CESE), um dos vários centros do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), participei ativamente num projeto encabeçado por um consórcio de duas associações: a Associação Empresarial do Concelho de Oliveira de Azeméis (AECOA) e a Associação Empresarial do Concelho de Santa Maria da Feira (AEF). A Figura 2 revela as duas grandes etapas ou fases do Projeto SAP 4.0.

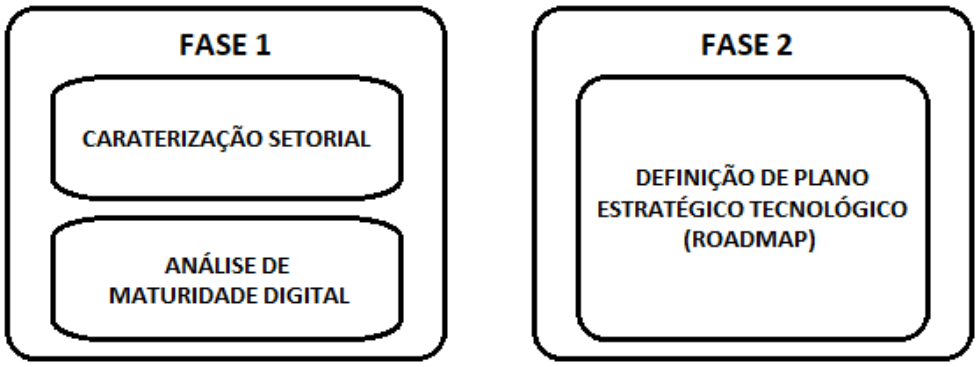


Figura 2 - Fases do Projeto SAP 4.0

Desde logo, é selecionada uma amostra constituída por nove organizações industriais da área geográfica do Entre Douro e Vouga, pertencentes aos ramos de atividade identificados pelos códigos numéricos CAE 259 (Fabricação de outros produtos metálicos), 289 (Fabricação de outras máquinas e equipamento para uso específico) e 293 (Fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis).
A realização de visitas presenciais às instalações/unidades de fabrico das empresas da amostra justifica-se pela necessidade de garantir ou de ter acesso a informação detalhada e fundamentada para o momento da sua caraterização individual. Com recurso a bases de dados estatísticas (INE e SABI), avança o processo de caraterização de cada um dos três setores acima nomeados, incluindo também as suas restantes empresas (fora da amostra) localizadas nos municípios de Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira e Vale de Cambra.

Como o próprio nome sugere, o Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC destina-se a contextos específicos de análise e ponderação do nível global de maturidade digital de instituições ou organizações empresariais. A metodologia disponível pode ser utilizada pela equipa de projeto no rescaldo das visitas às firmas que integram a amostra ou sob o formato de autoavaliação *online* por representantes de todas as outras empresas sediadas na região do Entre Douro e Vouga.

A segunda fase do Projeto SAP 4.0 consiste na definição dos moldes de um plano estratégico tecnológico (ou *roadmap*) voltado para o tecido empresarial local. Este prevê um conjunto de ações ou iniciativas, organizadas por cada dimensão do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, a realizar por empresas com ambições e planos concretos em matéria de transição digital. Por norma, as ações ou iniciativas recomendadas promovem a implementação de soluções tecnológicas avançadas capazes de alavancar cada uma das organizações envolvidas para níveis de maturidade digital superiores.

3.2 Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC

O Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC constitui uma ferramenta técnica pronta a ser utilizada em momentos de avaliação e quantificação do nível de maturidade digital de empresas ou organizações pertencentes a setores industriais.

Desde a sua criação de raiz, protagonizada por um grupo/núcleo de especialistas vinculados ao CESE, o Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC tem sido alvo de habituais *upgrades* ao nível da pertinência do seu conteúdo e da funcionalidade da própria estrutura. A sua versão mais recente contabiliza seis dimensões de análise:

- Cultura e Pessoas
- Estratégia, Governança e Processos de Negócio
- Tecnologias e Sistemas de Informação
- Processos e Operações
- Produtos e Serviços
- Contexto, Mercado e Regulação

No trabalho em curso, o foco de atuação incide única e exclusivamente sobre a dimensão de Tecnologias e Sistemas de Informação do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC. A Tabela 14 pretende esquematizar a ramificação da dimensão considerada, nomeando os seus eixos e vetores.

Tabela 14 - Estrutura da dimensão de Tecnologias e SI do Modelo de Maturidade Digital i4.0

Eixo	Vetor
Aquisição e Comunicação de Dados	Análise de Dados e *Business Intelligence*
	Interfaces Digitais
	Soluções *Data-driven*
	Tecnologias de Comunicação ao nível do Chão de Fábrica
Infraestrutura e Integração de Tecnologias e de Sistemas de Informação	Cobertura dos Processos de Negócio pelos Sistemas de Informação
	Gestão da Infraestrutura e Serviços *Cloud*
	Integração dos Sistemas de Informação
	Interoperabilidade
Segurança	Cibersegurança
Tecnologias Avançadas de Produção	Automação da Logística Interna
	Automação dos Equipamentos Produtivos
	Fabrico Aditivo
	Robótica Móvel
	Robots Autónomos

Por sua vez, a Tabela 15 estabelece a associação ou a correspondência direta entre algumas das principais tecnologias da Indústria 4.0 e determinados vetores que integram a dimensão de Tecnologias e Sistemas de Informação do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC.

Tabela 15 - Correspondência entre tecnologias e vetores da dimensão de Tecnologias e SI

Tecnologia	Vetor
Big Data e *Analytics*	Análise de Dados e *Business Intelligence*
Robótica Móvel	Automação da Logística Interna
Cibersegurança	Cibersegurança
Integração Horizontal e Vertical de Sistemas	Cobertura dos Processos de Negócio pelos Sistemas de Informação
Fabrico Aditivo	Fabrico Aditivo
Cloud	Gestão da Infraestrutura e Serviços *Cloud*
Dashboards	Interfaces Digitais

Robots Autónomos	*Robots* Autónomos

3.3 Questionário de Autoavaliação *Online*

Cabe às próprias Associações Empresariais dos Concelhos de Oliveira de Azeméis (AECOA) e de Santa Maria da Feira (AEF) a nomeação das empresas industriais, pertencentes aos setores de atividade considerados, da região do Entre Douro e Vouga a serem avaliadas *in loco* (ou no terreno) por uma equipa de profissionais do CESE. Também as restantes instituições dos municípios de Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira e Vale de Cambra podem inteirar-se do seu estado ou nível de maturidade digital. Para tal, basta que respondam de forma coerente e na íntegra a um questionário de autoavaliação *online* formulado para o efeito. Estima-se o nível de maturidade digital de uma organização através da conversão para o formato do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC (que a cada hipótese/opção de resposta faz corresponder uma etapa ou um patamar de maturidade digital) das várias respostas dadas por esta às perguntas colocadas no questionário e, a posteriori, pela realização do cálculo da sua média aritmética.

Após a realização de um estudo ou trabalho de investigação sobre as principais ferramentas disponíveis *online* para a elaboração de questionários de autoavaliação, decide-se pela utilização da plataforma *LimeSurvey*, que apresenta caraterísticas, funcionalidades e recursos técnicos ímpares, em comparação com as demais ferramentas analisadas.

Estruturalmente, o questionário de autoavaliação partilhado via *browser* (no *website* da ferramenta *LimeSurvey*) contabiliza sete grupos de perguntas – um por cada dimensão ou vertente do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, juntamente com outro inteiramente dedicado à caraterização geral da entidade representada pelo utilizador.

Na Figura 3, surgem algumas das perguntas inseridas no grupo referente à dimensão de Tecnologias e Sistemas de Informação do questionário de autoavaliação. A versão integral do questionário encontra-se disponível para consulta no Anexo 1.

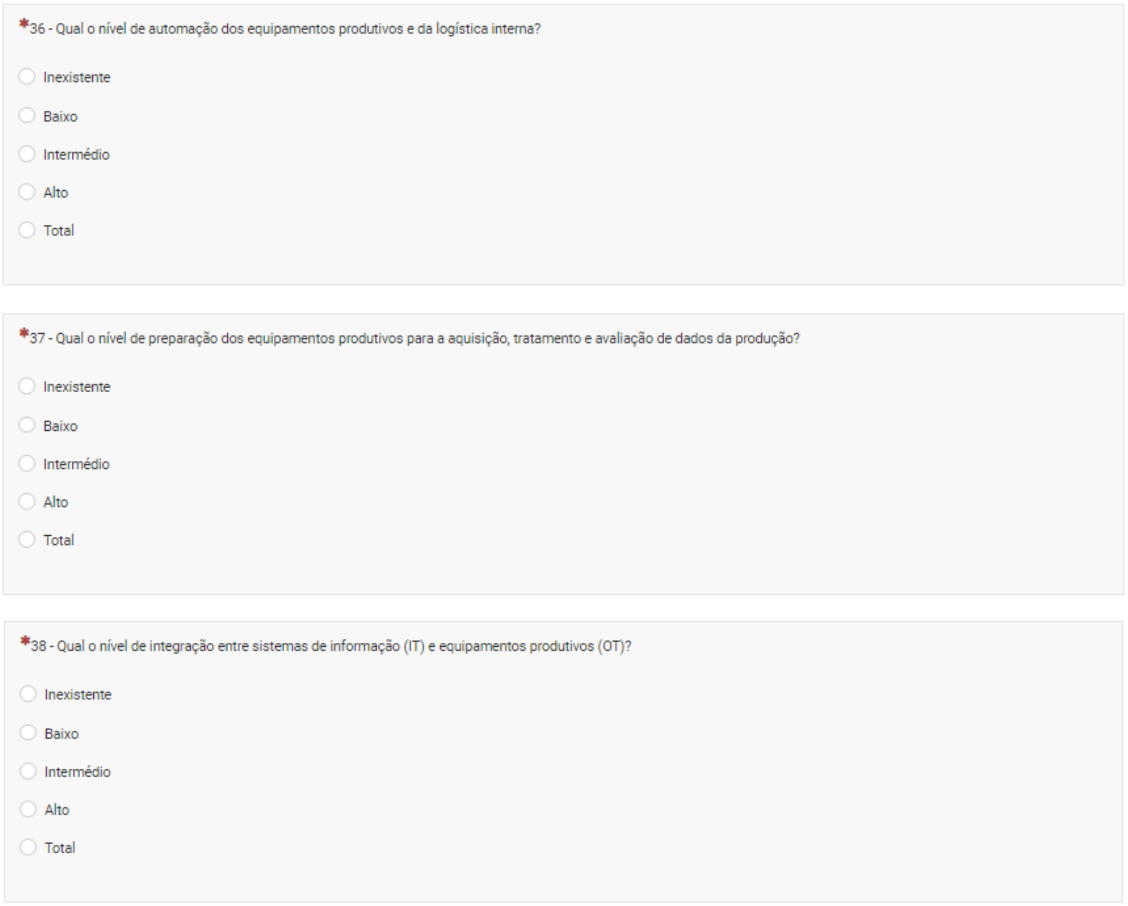


Figura 3 - Vislumbre do questionário de autoavaliação *online*

3.4 Análise ou Diagnóstico de Maturidade Digital por Setor de Atividade

Consideram-se apenas empresas ou organizações industriais que pertençam aos setores de atividade representados pelos códigos numéricos CAE 259 (Fabricação de outros produtos metálicos), 289 (Fabricação de outras máquinas e equipamento para uso específico) e 293 (Fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis) para serem alvo do processo de análise de maturidade digital já especificado. O cálculo ou a determinação da média aritmética para o conjunto dos níveis de maturidade digital (por dimensão do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC) de todas as instituições de cada ramo sujeitas a avaliação viabiliza a elaboração de um diagnóstico de maturidade digital do próprio.

As Figuras 4 (CAE 259), 5 (CAE 289) e 6 (CAE 293) apresentam gráficos de radar que se destinam a traduzir o panorama ou a realidade atual de cada setor industrial.

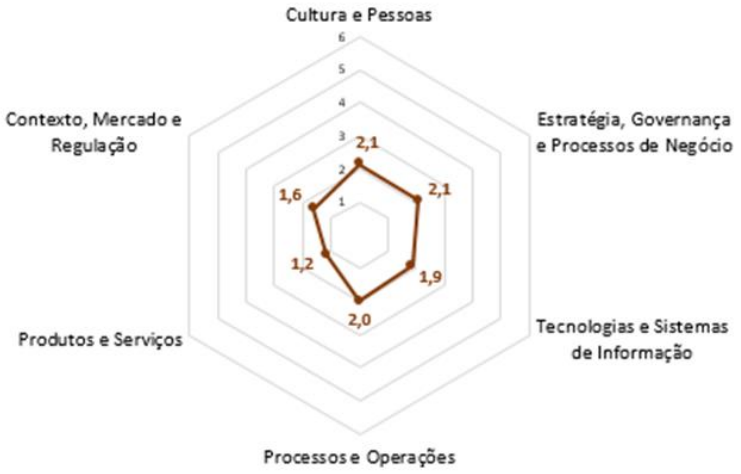


Figura 4 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 259

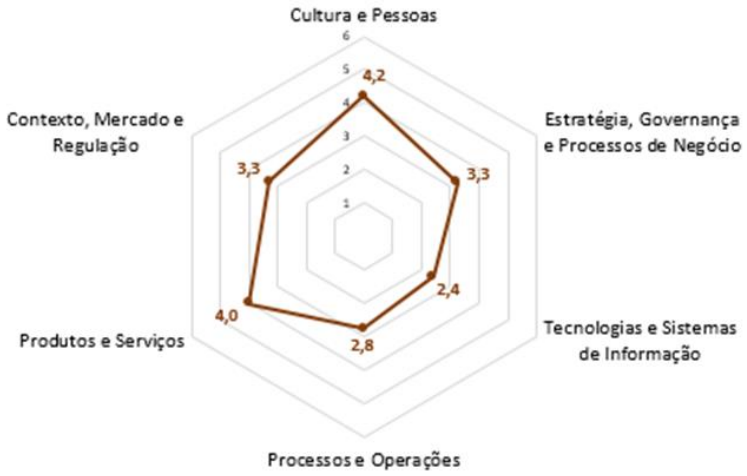


Figura 5 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 289

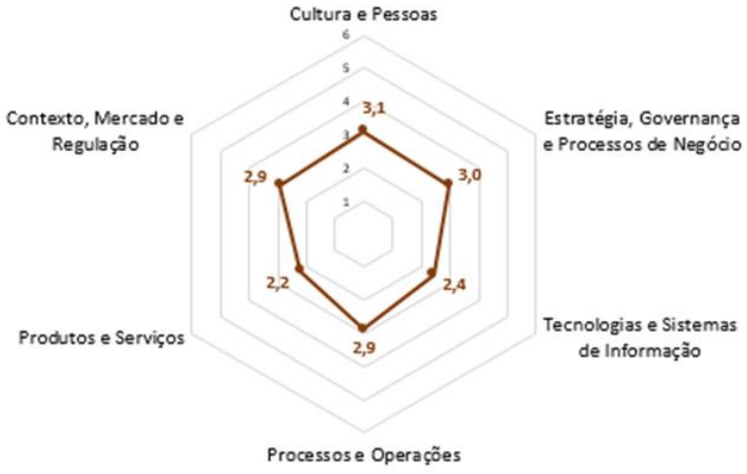


Figura 6 - Gráfico de radar do setor de atividade identificado pelo CAE 293

Em termos comparativos, verifica-se que o setor industrial mais atualizado ou desenvolvido dos três considerados acaba por ser o de "Fabricação de outras máquinas e equipamento para uso específico" (CAE 289). Por outro lado, o ramo de atividade com superior margem de crescimento ou progressão trata-se do de "Fabricação de outros produtos metálicos" (CAE 259).

3.5 Gráfico ou Matriz para o Posicionamento Digital de Empresas

De forma esperada, a amostra ou o conjunto de resultados/valores obtidos no desfecho do processo de análise de maturidade digital, que correspondem justamente aos níveis globais de maturidade digital de cada organização avaliada, traduz a coexistência de uma série de realidades díspares no mesmo ecossistema regional. O quadro atual convida à elaboração de um gráfico intuitivo que se destina à representação visual do posicionamento das empresas em matéria de adoção ou implementação (e respetiva utilização) de tecnologias digitais.

A Figura 7 demonstra o tipo de matriz idealizada e proposta para o efeito, constituída por dois eixos – o eixo das abcissas integra as várias *Key Enabling Technologies* descritas no capítulo da Revisão Bibliográfica e o eixo das ordenadas apresenta todos os estados ou patamares de maturidade digital do renomado *Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*. No caso particular do eixo dos xx, verifica-se que o grupo formado pelas 13 *Key Enabling Technologies* designadas respeita uma certa ordem ou sequência (explanada/justificada na página imediatamente a seguir), que assenta na definição de precedências naturais entre soluções tecnológicas.

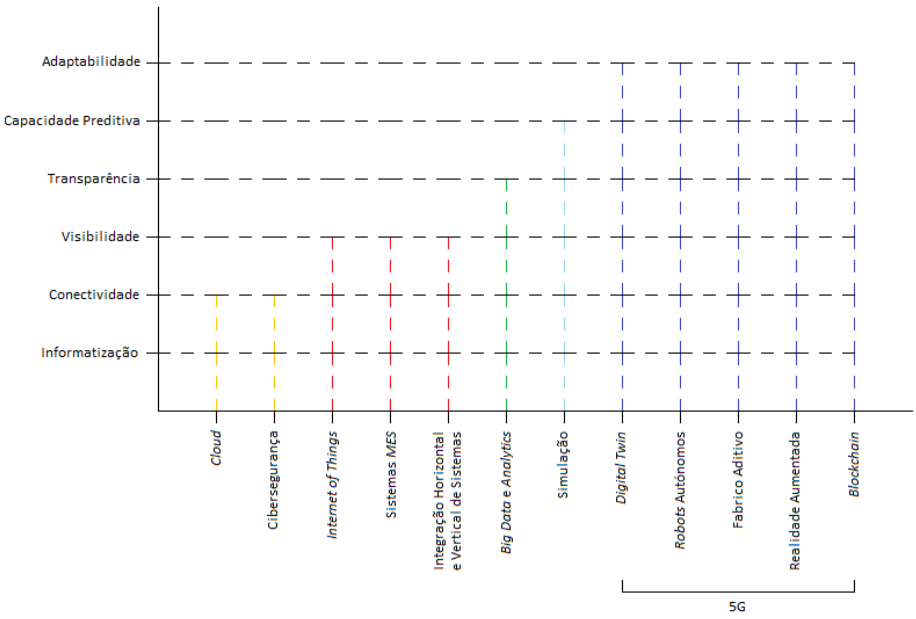


Figura 7 - Gráfico ou matriz para o posicionamento digital de empresas

Pretende-se que o tracejado na direção horizontal estabeleça os limites inferior e superior de cada um dos 6 níveis de maturidade digital do *Acatech Industrie 4.0 Maturity Index*. Na direção vertical, é feita a correspondência entre as soluções tecnológicas nomeadas e as respetivas etapas ou fases de maturidade digital associadas.

Em primeiro lugar, recomenda-se a utilização de um serviço *Cloud* para armazenamento, gestão e partilha de informação considerada relevante ou útil. Com o natural aumento da exposição/presença *online*, torna-se determinante realizar um investimento sério no âmbito da Cibersegurança, tendo em vista a defesa ou a proteção da respetiva infraestrutura tecnológica. A etapa ou a fase seguinte consiste na implementação de uma rede digital/virtual, assente no conceito de *Internet of Things*, que garanta a ligação entre os seus computadores, dispositivos, equipamentos e máquinas. Pretende-se agora que cada organização industrial decida utilizar um *software* do tipo *Manufacturing Execution System* (*MES*), criado/desenvolvido para executar e monitorizar atividades ou tarefas relacionadas com a produção. Desta feita, promove-se a Integração Horizontal (entre os vários sistemas de informação distribuídos ao longo da cadeia de abastecimento) e Vertical (envolvendo apenas sistemas de informação internos) de Sistemas. Entretanto, surge *Big Data e Analytics*, que se trata de uma análise minuciosa a uma extensa quantidade de dados estruturados, focada na identificação de correlações e/ou tendências ao nível dos processos. Importa também que as empresas recorram a programas/*softwares* de Simulação que detetem gargalos ou restrições operacionais e perspetivem cenários de melhoria. Situada ligeiramente abaixo do eixo horizontal, a rede 5G proporciona a cobertura e a velocidade necessárias para o funcionamento eficaz das tecnologias mais avançadas: o *Digital Twin*, os *Robots* Autónomos, o Fabrico Aditivo, a Realidade Aumentada e o *Blockchain*. Por sua vez, o *Digital Twin* permite a otimização e a realização de testes em protótipos virtuais. Seguem-se os *Robots* Autónomos, que garantem níveis de precisão e rigor ímpares nas mais variadas tarefas para as quais são designados. Mais adiante, encontra-se o Fabrico Aditivo, que viabiliza uma estratégia organizacional de produção customizada. Na sequência, a Realidade Aumentada pode vir a ser útil, nomeadamente para o aumento ou reforço (*in loco*) das faculdades cognitivas dos operadores/trabalhadores. Por fim, a adoção da tecnologia *Blockchain* insere-se na lógica da introdução de novos modelos de negócio e de serviços alternativos.

3.6 Aplicação da Ferramenta/Metodologia Desenvolvida

O presente subcapítulo reúne todo o *background* da aplicação efetiva da ferramenta ou metodologia desenvolvida. Por haver algum desfasamento temporal entre o encerramento ou o fim do Projeto SAP 4.0 (que ainda decorre) e o *timing* para submissão da presente dissertação/tese de mestrado, demonstra-se apenas a utilização da ferramenta em causa para um par de empresas industriais da região geográfica do Entre Douro e Vouga (e não para cada um dos três setores de atividade locais nomeados).

Antes de mais, selecionam-se duas instituições/organizações recentemente visitadas pela equipa de trabalho, e que se encontram em fases distintas no âmbito ou no contexto específico da digitalização. Com recurso ao Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, verifica-se que as empresas A e B (denominações atribuídas para proteger as suas identidades reais) apresentam níveis de maturidade digital de 1,8 e 3,7 valores, respetivamente, numa escala contínua que vai de 1 a 6.

Em função dos resultados da avaliação quantitativa, são estruturadas propostas concretas assentes na implementação de *Key Enabling Technologies* pelas empresas, num horizonte temporal a definir, que possibilitam ou viabilizam o acesso a cada um dos patamares de maturidade digital seguintes. Na Figura 8, indicam-se as várias atividades ou etapas da ferramenta sugerida.

Figura 8 - Atividades ou etapas da ferramenta desenvolvida

3.6.1 Análise de Maturidade Digital

3.6.1.1 Resumo do Processo de Análise de Maturidade Digital da Empresa A

Durante o período de visita às instalações ou unidades de fabrico da empresa A, a equipa de consultores trata de registar informação pormenorizada acerca de cada um dos 14 vetores que constituem a dimensão de Tecnologias e Sistemas de Informação do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC. A informação compilada, seja por acompanhamento/verificação *in loco* dos processos e dos recursos da organização ou através de breves testemunhos dos seus colaboradores, possibilita a elaboração de gráficos de radar que traduzem o panorama atual da empresa A: a Figura 9 apresenta o gráfico de radar vetorial e a Figura 10 contempla o gráfico de radar axial.

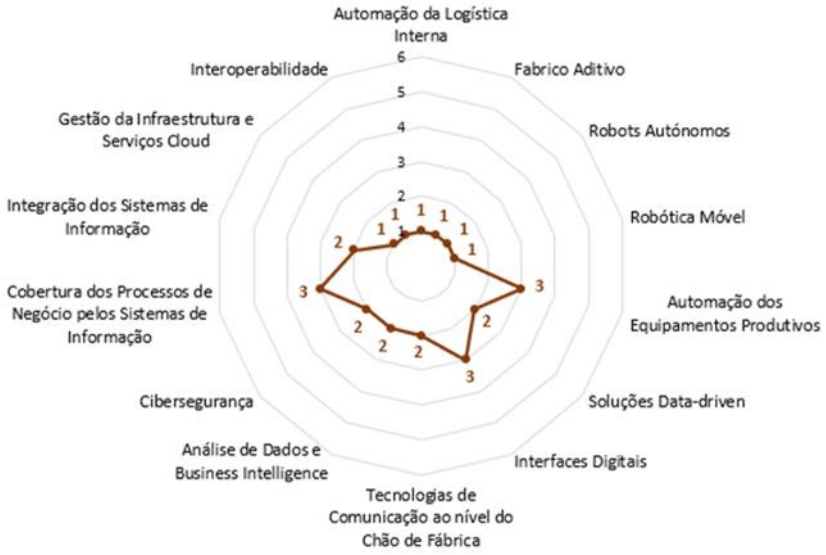


Figura 9 - Gráfico de radar vetorial da empresa A

Como nota de destaque, importa referir que, no contexto específico da figura anterior, a atribuição do nível de maturidade digital base (nível 1) a um determinado vetor indica a não existência/utilização da respetiva estratégia, política ou tecnologia.

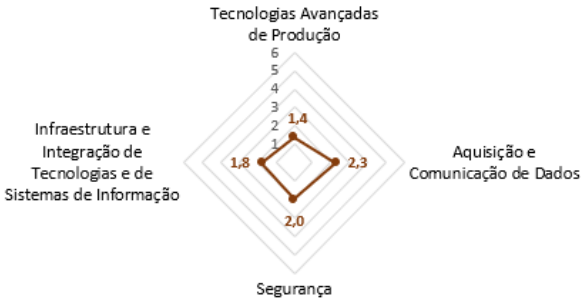


Figura 10 - Gráfico de radar axial da empresa A

No caso da empresa A, o eixo de Tecnologias Avançadas de Produção revela-se o menos desenvolvido e otimizado dos quatro eixos formados, sendo-lhe atribuído um nível de maturidade digital de 1,4 valores. A baixa classificação/ponderação obtida resulta sobretudo do facto de a empresa A não ter implementada, de momento, qualquer solução tecnológica para os vetores de Automação da Logística Interna, Fabrico Aditivo, Robótica Móvel ou *Robots* Autónomos.

Pertence ao eixo de Aquisição de Comunicação de Dados o nível de maturidade digital axial mais elevado: 2,3 valores. Comprova-se que a utilização de equipamentos produtivos com interfaces digitais avançadas, que garantem visibilidade sobre os processos a decorrer ao nível do chão de fábrica, inflaciona o resultado da avaliação do eixo em questão.

Em termos globais, um nível de maturidade digital de 1,8 valores coloca ou posiciona a empresa A na retaguarda em matéria de adoção/implementação e utilização de tecnologias ligadas à Indústria 4.0. Situada ainda na primeira etapa ou fase de maturidade digital (informatização), a empresa A aproxima-se do patamar seguinte: a conectividade.

3.6.1.2 Resumo do Processo de Análise de Maturidade Digital da Empresa B

Durante o período de visita às instalações ou unidades de fabrico da empresa B, a equipa de consultores trata de registar informação pormenorizada acerca de cada um dos 14 vetores que constituem a dimensão de Tecnologias e Sistemas de Informação do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC. A informação compilada, seja por acompanhamento/verificação *in loco* dos processos e dos recursos da organização ou através de breves testemunhos dos seus colaboradores, possibilita a elaboração de gráficos de radar que traduzem o panorama atual da empresa B: a Figura 11 apresenta o gráfico de radar vetorial e a Figura 12 contempla o gráfico de radar axial.

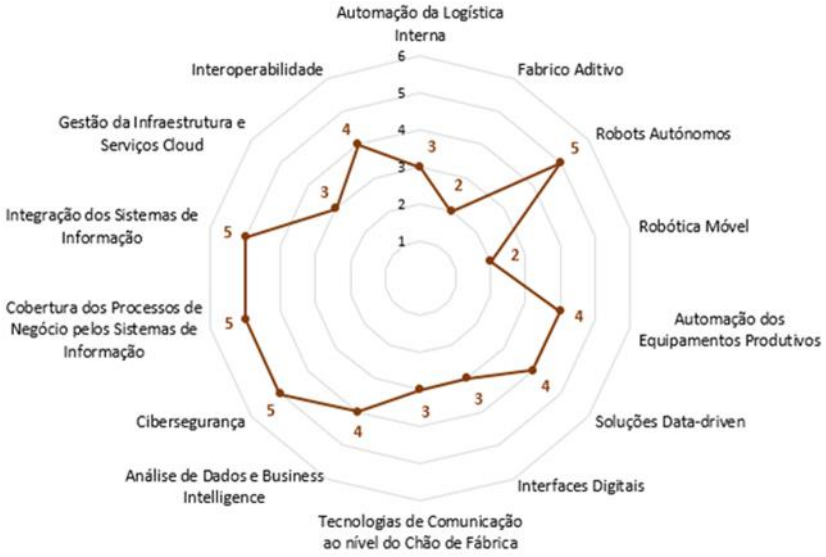


Figura 11 - Gráfico de radar vetorial da empresa B

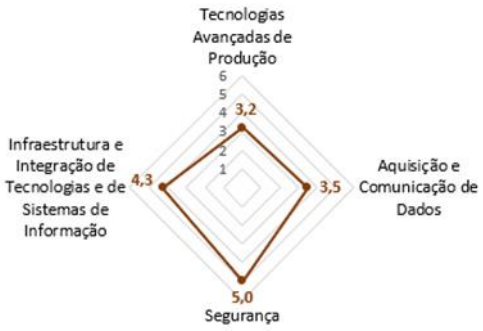


Figura 12 - Gráfico de radar axial da empresa B

Também no caso da empresa B, o eixo de Tecnologias Avançadas de Produção revela-se o menos desenvolvido e otimizado dos quatro eixos formados, sendo-lhe atribuído um nível de maturidade digital de 3,2 valores. Esta avaliação/ponderação quantitativa tem em conta o recurso a soluções ou a tecnologias de fabrico aditivo exclusivamente para o desenvolvimento de alguns protótipos e a utilização comum de robótica móvel sem opção de gestão de rotas de navegação.

Pertence ao eixo de Segurança o nível de maturidade digital axial mais elevado de todos: 5,0 valores. Considera-se que as diretrizes (ou *guidelines*) em vigor e as soluções de cibersegurança atualmente implementadas justificam em pleno o resultado da classificação do eixo em questão.

Globalmente, um nível de maturidade digital de 3,7 valores coloca ou posiciona a empresa B numa fase já relativamente adiantada em matéria de implementação e utilização de tecnologias associadas à Indústria 4.0. Situada no terceiro estado de maturidade digital (visibilidade), a empresa B aproxima-se do patamar seguinte: a transparência.

3.6.2 Definição de Planos Estratégicos Tecnológicos (*Roadmaps*)

3.6.2.1 *Roadmap* Desenvolvido para a Empresa A

Sabe-se, pela aplicação ou utilização objetiva do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, que à empresa identificada com a letra A corresponde um nível global de maturidade digital de 1,8 valores. A Figura 13 recupera a matriz presente no subcapítulo anterior (Figura 7), que, desta vez, conta com a indicação ou a sinalização do posicionamento real da organização em questão no âmbito específico da digitalização.

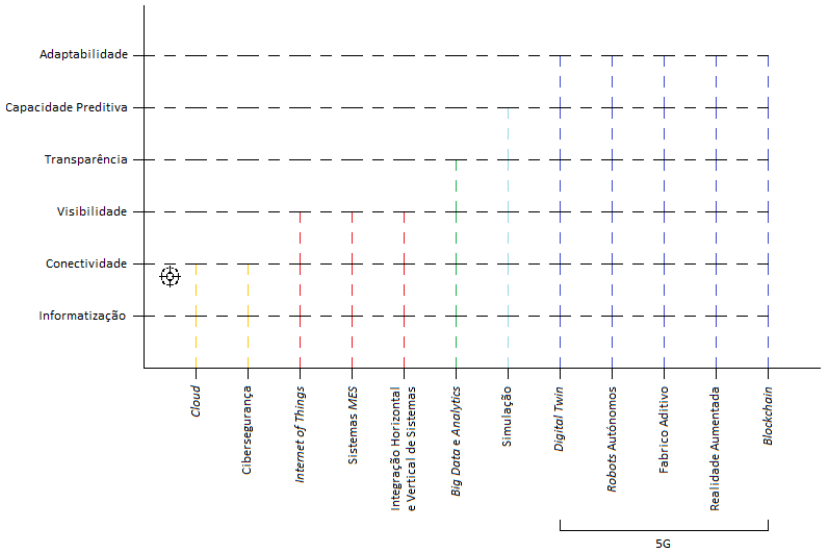


Figura 13 - Posicionamento digital da empresa A

Considerando o panorama ou a realidade atual da empresa A, define-se um rumo estratégico a seguir pela mesma numa perspetiva de transformação digital. Nesse contexto, a Figura 14 apresenta uma proposta estruturada genérica (ou *standard*), desenvolvida com base no quadro particular da empresa A e focada na adoção ou implementação ordenada de várias das principais tecnologias da Quarta Revolução Industrial.

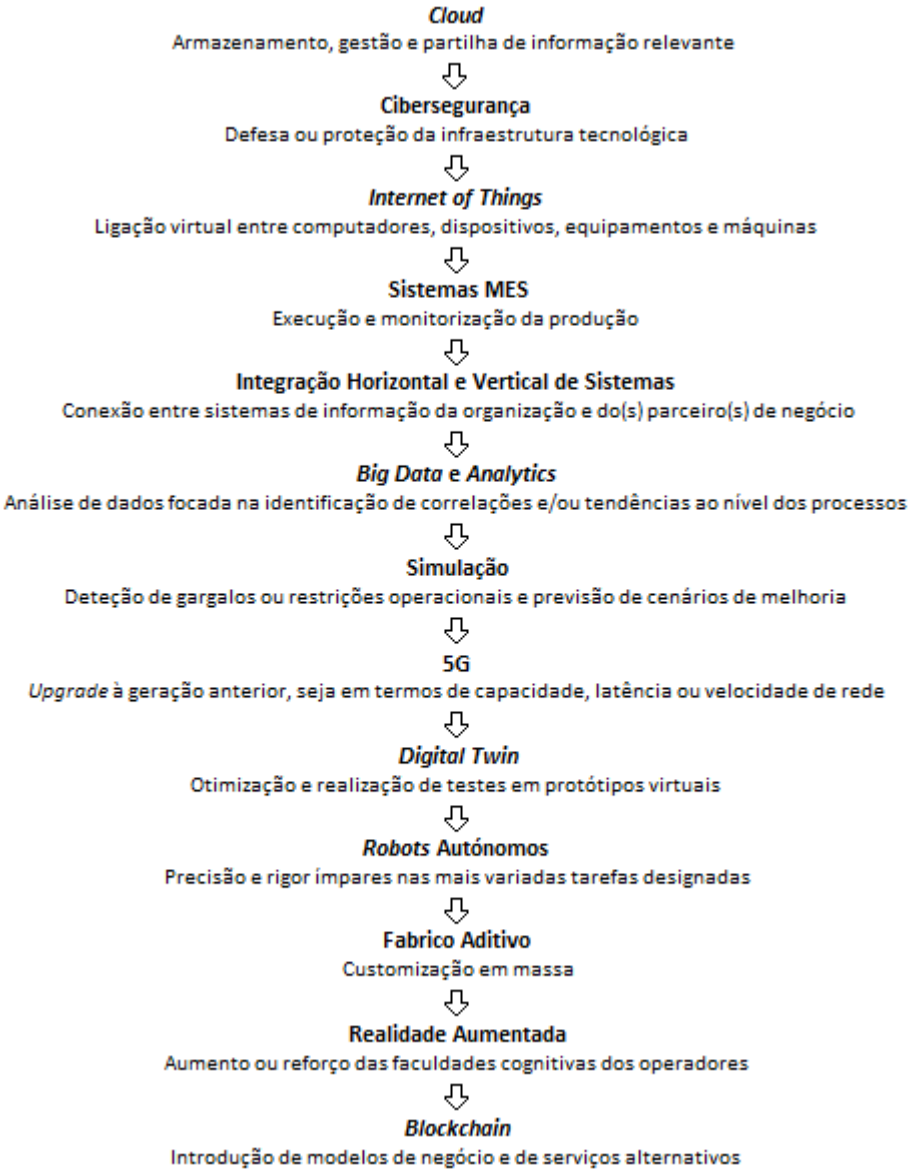


Figura 14 - *Roadmap* desenvolvido para a empresa A

3.6.2.2 *Roadmap* Desenvolvido para a Empresa B

Sabe-se, pela aplicação ou utilização objetiva do Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC, que à empresa identificada com a letra B corresponde um nível global de maturidade digital de 3,7 valores. A Figura 15 recupera a matriz presente no subcapítulo anterior (Figura 7), que, desta vez, conta com a indicação ou a sinalização do posicionamento real da instituição em questão no âmbito específico da digitalização.

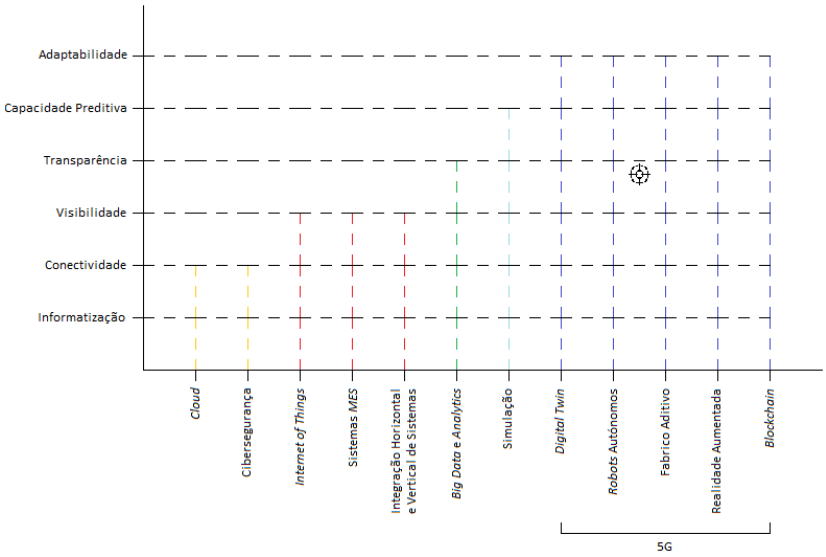


Figura 15 - Posicionamento digital da empresa B

Considerando o panorama ou a realidade atual da empresa B, define-se um rumo estratégico a seguir pela mesma numa perspetiva de transformação digital. Nesse contexto, a Figura 16 apresenta uma proposta estruturada genérica (ou *standard*), desenvolvida com base no quadro particular da empresa B e focada na adoção ou implementação ordenada de várias das principais tecnologias da Quarta Revolução Industrial.

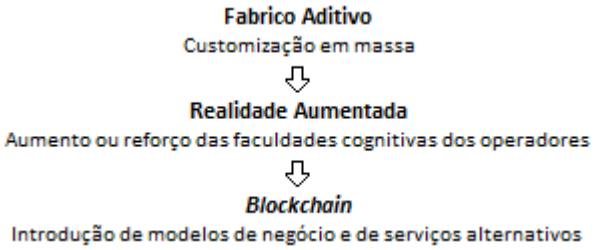


Figura 16 - *Roadmap* desenvolvido para a empresa B

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

4.2 Propostas de Trabalhos Futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

Prevê-se, desde logo, que um número considerável de empresas/organizações pertencentes ao tecido industrial do Entre Douro e Vouga apresente índices reduzidos em matéria de adoção ou implementação e consequente utilização de soluções tecnológicas avançadas vinculadas à Indústria 4.0. Face ao cenário desafiante da região, justifica-se o desenvolvimento de uma ação ou iniciativa, à escala local, que promova a transformação digital das suas instituições.

Com naturalidade, o Modelo de Maturidade Digital i4.0 do INESC TEC assume um papel de grande importância e relevo no seio do processo de análise ou diagnóstico de maturidade digital. A utilização efetiva deste tipo de ferramenta ou instrumento para um determinado conjunto de entidades resulta na obtenção de valores quantitativos (algures entre 1 e 6), que correspondem precisamente aos níveis de maturidade digital de cada firma avaliada e espelham o seu respetivo posicionamento (no momento) no âmbito da digitalização. De facto, os números/resultados gerados confirmam todas as expectativas e previsões iniciais para a área geográfica do Entre Douro e Vouga.

Selecionam-se criteriosamente duas empresas da amostra em fases ou momentos distintos do seu processo de digitalização (identificadas, respetivamente, pelas letras A e B por questões de confidencialidade), para as quais são estruturados *roadmaps* tecnológicos individuais, com base nos seus atuais níveis de maturidade digital provenientes da avaliação quantitativa efetuada. No que diz respeito aos planos estratégicos tecnológicos definidos (que, como seria de prever, acabam por ser bastante diferentes), verifica-se que estes assentam na implementação faseada de várias das *Key Enabling Technologies* da Indústria 4.0. Em função da própria natureza de cada tecnologia digital proposta e do sucesso da respetiva adoção, as organizações industriais podem, mais tarde, vir a colocar-se num dos patamares de maturidade digital superiores.

4.2 Propostas de Trabalhos Futuros

A curto ou médio prazo, o Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais (CESE), pertencente ao Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), ambiciona desenvolver e lançar uma plataforma virtual capaz de interligar o processo de análise/diagnóstico de maturidade digital de uma empresa sujeita a avaliação (no formato de questionário de autoavaliação *online* a preencher por um representante designado pela organização, e assente no seu Modelo de Maturidade Digital i4.0) com a definição do seu respetivo plano estratégico tecnológico (ou *roadmap*) individual. O conceito ou a ideia em mente é que a plataforma efetue a recomendação de um conjunto de tecnologias digitais da Indústria 4.0 a adotar/implementar, em função da estratégia operacional seguida por cada instituição, seja esta uma estratégia tradicional de produção em massa (focada na eficiência) ou uma estratégia de produção customizada (que valoriza a flexibilidade produtiva).

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Angreani, L. S., Vijaya, A., & Wicaksono, H. (2020). Systematic literature review of industry 4.0 maturity model for manufacturing and logistics sectors. *Procedia Manufacturing*, *52*(2019), 337–343. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.056

Automation, R. (n.d.). *The Connected Enterprise Maturity Model*.

Benešová, A., Basl, J., Tupa, J., & Steiner, F. (2021). Design of a business readiness model to realise a green industry 4.0 company. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *34*(9), 920–932. https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1946858

Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels–case of the defence sector. *Production Planning and Control*, *29*(12), 1030–1043. https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1503355

Bigliardi, B., Bottani, E., & Casella, G. (2020). Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: A bibliographic analysis. *Procedia Manufacturing*, *42*(2019), 322–326. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.086

Bretz, L., Klinkner, F., Kandler, M., Shun, Y., & Lanza, G. (2022). The ECO Maturity Model - A human-centered Industry 4.0 maturity model. *Procedia CIRP*, *106*, 90–95. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.160

Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., Nascimento, D. L. de M., & Garza-Reyes, J. A. (2021). A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, *231*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107883

Carolis, A. De, Macchi, M., Negri, E., & Terzi, S. (2017). *A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies*. *August*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66923-6

Çınar, Z. M., Zeeshan, Q., & Korhan, O. (2021). A framework for industry 4.0 readiness and maturity of smart manufacturing enterprises: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(12). https://doi.org/10.3390/su13126659

Dangi, R., Lalwani, P., Choudhary, G., You, I., & Pau, G. (2022). Study and investigation on 5g technology: A systematic review. *Sensors*, *22*(1), 1–32. https://doi.org/10.3390/s22010026

Deloitte, & School, N. I. M. (2020). Modelo de Avaliação de Maturidade Indústria 4.0 - Manual do Utilizador. *Abril 2020*, 66.

Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 23, pp. 1–22). MDPI. https://doi.org/10.3390/su12239927

Ebru, G., & G, M. O. (2021). Data-driven manufacturing : An assessment model for data science maturity. *Journal of Manufacturing Systems*, *60*(July), 527–546. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.011

El-Warrak, L., Nunes, M., Lyra, A., Barbosa, C. E., Lima, Y., Salazar, H., Argôlo, M., & De Souza, J. M. (2022). Analyzing Industry 4.0 trends through the Technology Roadmapping Method. *Procedia Computer Science*, *201*(C), 511–518. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.066

Elgendy, N., & Elragal, A. (2014). Big Data Analytics: A Literature Review Paper. *Journal of Management Analytics*, *2*(3), 175–201. https://doi.org/10.1080/23270012.2015.1082449

Erboz, G. (2020). *How To Define Industry 4.0: Main Pillars Of Industry 4.0*. *November*.

Fuller, A., & Fan, Z. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access*, *8*. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

Ghobakhloo, M. (2018). *The future of manufacturing industry : a strategic roadmap*. https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057

Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for industry 4.0: Industry 4.0-MM. *Communications in Computer and Information Science*, *770*(September), 128–142. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10

Isikli, E., Cevikcan, E., & Ustundag, A. (2017). *Managing The Digital Transformation* (Issue May 2019). https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, *6*(4), 239–242. https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4

Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., & Bay, L. (2017). The Application of the Maturity Model SIMMI 4 . 0 in Selected Enterprises Full Paper Chair of Information Systems Chair of Information Systems. *Twenty-Third Americas Conference on Information Systems*, *August*, 1–10.

Lichtblau, K. (2015). *IMPULS - Industrie 4.0 Readiness*. 0–77.

Mansour, H., Aminudin, E., & Mansour, T. (2021). Implementing industry 4.0 in the construction industry- strategic readiness perspective. *International Journal of Construction Management*. https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1975351

Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Marmolejo-Saucedo, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Vasant, P. (2020). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Networks*, *26*(7), 4767–4775. https://doi.org/10.1007/s11276-018-1873-2

Pirola, F., Cimini, C., & Pinto, R. (2020). Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *31*(5), 1045–1083. https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0305

Rafael, L. D., Jaione, G. E., Cristina, L., & Ibon, S. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, *159*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120203

Rahamaddulla, S. R. Bin, Leman, Z., Baharudin, B. T. H. T. Bin, & Ahmad, S. A. (2021). Conceptualizing smart manufacturing readiness-maturity model for small and medium enterprise (Sme) in malaysia. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(17). https://doi.org/10.3390/su13179793

Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija*, *50*(3), 193–207. https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017

Schroderus, J., Lasrado, L. A., Menon, K., & Kärkkäinen, H. (2021). Towards a Pay-Per-X Maturity Model for Equipment Manufacturing Companies. *Procedia Computer Science*, *196*(2021), 226–234. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.009

Schuh, G. G., Anderl, R., Gausemeier, J. J., ten Hompel, M. M., Wahlster, W. (Eds. ., Ander, Lr., Gausemeier, J. J., ten Hompel, M. M., & Wahlster, W. (Eds. . (2020). Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. *Acatech Study*, 64.

Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, *52*, 161–166. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040

Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihn, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, *79*, 409–414. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.110

Spaltini, M., Acerbi, F., Pinzone, M., Gusmeroli, S., & Taisch, M. (2022). Defining the Roadmap towards Industry 4.0: The 6Ps Maturity Model for Manufacturing SMEs. *Procedia CIRP*, *105*, 631–636. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.105

Tijan, E., Aksentijevi, S., & Ivani, K. (2019). Blockchain Technology Implementation in Logistics. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su11041185

Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, *13*, 1175–1182. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191

Tripathi, S., & Gupta, M. (2021). A holistic model for Global Industry 4.0 readiness assessment. *Benchmarking*, *28*(10), 3006–3039. https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2020-0354

Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 - A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, *20*, 233–238. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034

Veale, M., & Brown, I. (2020). Cybersecurity. *EconStor*, 0–22.

Wagire, A. A., Joshi, R., Rathore, A. P. S., & Jain, R. (2021). Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning and Control*, *32*(8), 603–622. https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1744763

Zeller, V., Hocken, C., Stich, V., Zeller, V., Hocken, C., Stich, V., & Index, M. (2019). *acatech Industrie 4 . 0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model*. 0–8.

Zoubek, M., Poor, P., Broum, T., Basl, J., & Simon, M. (2021). Industry 4.0 maturity model assessing environmental attributes of manufacturing company. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/app11115151

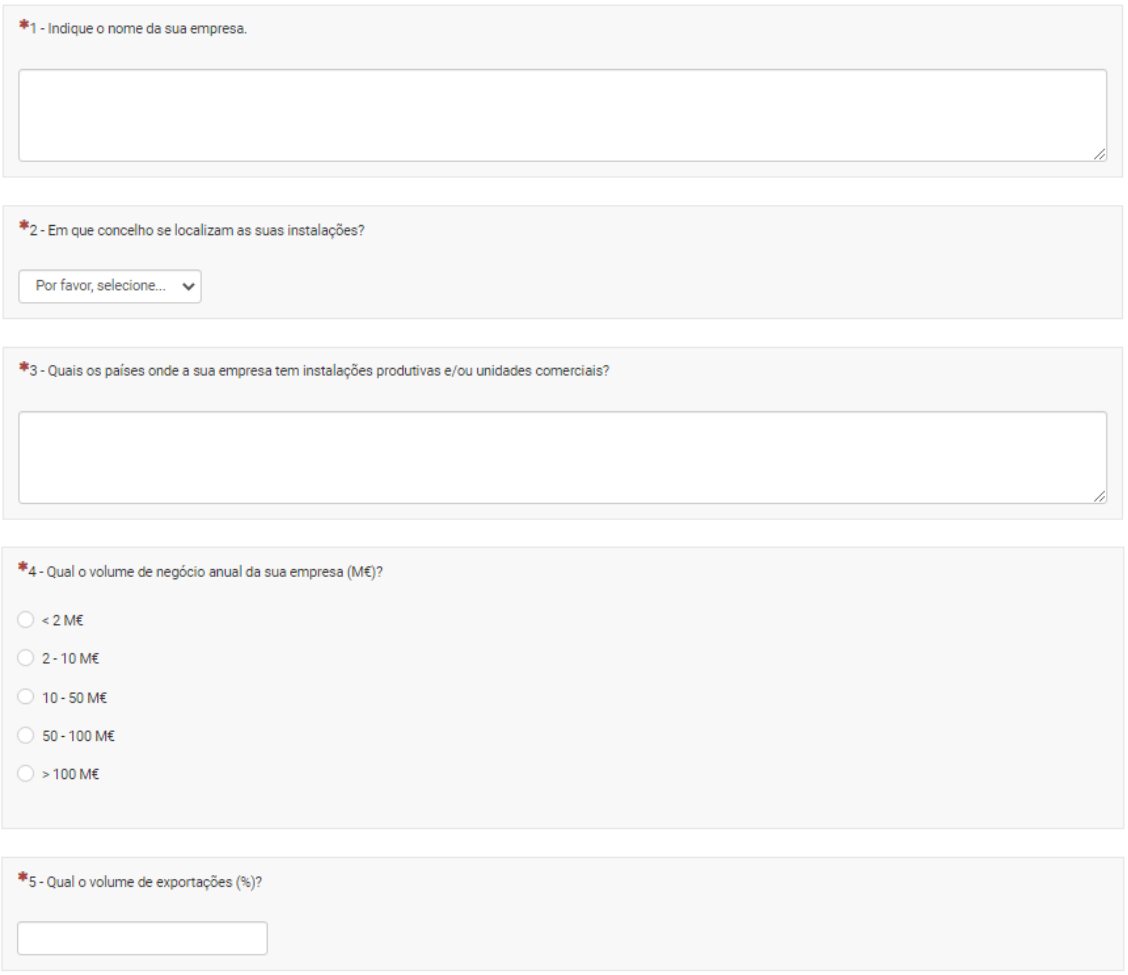
ANEXOS

6.1 Questionário de Autoavaliação *Online*

6.2 *Website* do Projeto SAP 4.0

6 ANEXOS

6.1 Questionário de Autoavaliação *Online*



*1 - Indique o nome da sua empresa.

*2 - Em que concelho se localizam as suas instalações?

Por favor, selecione...

*3 - Quais os países onde a sua empresa tem instalações produtivas e/ou unidades comerciais?

*4 - Qual o volume de negócio anual da sua empresa (M€)?

- < 2 M€
- 2 - 10 M€
- 10 - 50 M€
- 50 - 100 M€
- > 100 M€

*5 - Qual o volume de exportações (%)?

*6 - Qual o destino das exportações da sua empresa?

- [ ] Europa
- [ ] Ásia
- [ ] América
- [ ] África
- [ ] Oceânia

*7 - Qual o número de colaboradores da empresa?

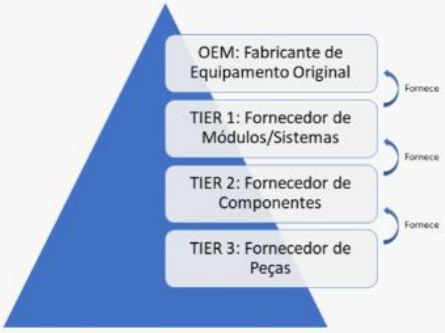
- ( ) < 10 colaboradores
- ( ) 10 - 50 colaboradores
- ( ) 50 - 100 colaboradores
- ( ) 100 - 250 colaboradores
- ( ) > 250 colaboradores

*8 - Qual o principal setor industrial que a sua empresa fornece?

- [ ] Agricultura e pesca
- [ ] Alimentar
- [ ] Calçado
- [ ] Cerâmica
- [ ] Construção
- [ ] Energia
- [ ] Farmacêutico
- [ ] Imobiliário
- [ ] Madeira e cortiça
- [ ] Metalomecânica
- [ ] Papel e celulose
- [ ] Petroquímico
- [ ] Têxtil
- [ ] Veículos e acessórios automóvel
- [ ] Vidro
- [ ] Outro:

Qual é o setor que mais representa os principais clientes da sua empresa?

*9 - A figura representa a cadeia de abastecimento. Em que posição se encontra a sua empresa?



- [ ] OEM
- [ ] Tier 1
- [ ] Tier 2
- [ ] Tier 3

Atribui-se o termo OEM (Original Equipment Manufacturer) às organizações que fabricam componentes ou sistemas aplicados/utilizados em produtos finais de outras empresas.

*10 - Quais dos seguintes processos são realizados na sua empresa e quais são subcontratados?

	Interno	Subcontratado	Ambos	Não aplicável
Comercial	○	○	○	○
Engenharia	○	○	○	○
Produção e Logística Interna	○	○	○	○
Logística Externa	○	○	○	○
Manutenção de Sistemas de Informação	○	○	○	○
Manutenção de Ativos de Produção	○	○	○	○
I&D	○	○	○	○
Controlo da Qualidade	○	○	○	○
Desenvolvimento de Produto	○	○	○	○
Instalação	○	○	○	○
Assistência Técnica	○	○	○	○

11 - No caso de realizar produção, qual o modelo de produção em que opera?

- [ ] Produção por encomenda
- [ ] Produção para stock
- [ ] Desenvolvimento à medida
- [ ] Montagem por encomenda

*12 - Considera que a sua empresa fornece:

- [ ] Produto
- [ ] Serviço
- [ ] Produto com serviço associado

*13 - O número de referências de produtos finais aumentou significativamente até 2019?

- Sim
- Não

*14 - O número de encomendas aumentou significativamente até 2019?

- Sim
- Não

*15 - A quantidade por encomenda aumentou até 2019?

- Sim
- Não

*16 - Qual o nível de diversidade relativamente a referências de produtos finais?

- < 10
- 10 - 100
- 100 - 1000
- 1000 - 10000
- > 10000

*17 - Como classifica o nível de concorrência?

- Muito baixo
- Baixo
- Intermédio
- Alto
- Muito alto

Muito baixo: No segmento de mercado onde atua, existe apenas 1 alternativa ao produto oferecido pela empresa.
Baixo: No segmento de mercado onde atua, existem apenas 2 alternativas ao produto oferecido pela empresa.
Intermédio: No segmento de mercado onde atua, existem 3 alternativas ao produto oferecido pela empresa.
Alto: No segmento de mercado onde atua, existem, pelo menos, 5 alternativas ao produto oferecido pela empresa.
Muito alto: No segmento de mercado onde atua, existem mais do que 10 alternativas ao produto oferecido pela empresa.

*18 - Existe sazonalidade na produção/expedição?

- Sim
- Não

*19 - Como classifica o poder de negociação da sua empresa com os seus fornecedores?

- Muito baixo
- Baixo
- Intermédio
- Alto
- Muito alto

*20 - Qual a % de matérias-primas nacionais incorporada na produção?

21 - No caso de importação de matéria-prima, qual é a origem?

- [ ] Europa
- [ ] Ásia
- [ ] América
- [ ] África
- [ ] Oceânia

*22 - Os seus equipamentos de produção são maioritariamente importados?

- ( ) Sim
- ( ) Não
- ( ) Não aplicável

23 - No caso de importação, qual é a origem dos seus equipamentos produtivos?

*24 - Os seus sistemas de informação são maioritariamente importados?

- ( ) Sim
- ( ) Não

25 - No caso de importação, qual é a origem dos seus SI?

*26 - Como classifica a resistência à mudança por parte dos seus colaboradores?

- ( ) Inexistente
- ( ) Baixa
- ( ) Intermédia
- ( ) Alta
- ( ) Total
- ( ) Não aplicável

*27 - A sua empresa utiliza sistemas de gestão de conhecimento?

- ○ Não utiliza
- ○ Utiliza pouco
- ○ Utiliza para processos essenciais
- ○ Utiliza muito
- ○ Faz uso total
- ○ Não aplicável

Um sistema de gestão do conhecimento é uma ferramenta usada pelas empresas para ajudar a organizar documentos, perguntas frequentes e outras informações em formatos facilmente acessíveis tanto para clientes internos quanto externos.

*28 - Com que frequência a empresa investe na formação dos colaboradores em tecnologias digitais?

- ○ Nunca
- ○ Com baixa regularidade
- ○ Com regularidade
- ○ Com alta regularidade
- ○ Sempre
- ○ Não aplicável

Com baixa regularidade: Quando adotam e apenas mais uma vez para aprimorar.
Com regularidade: Quando adotam e durante as atualizações de sistemas/softwares.
Com alta regularidade: Nos momentos de adoção e atualização e após a identificação de falhas de produção decorrentes da falta de capacidades adaptativas.
Sempre: Nos momentos de adoção, atualização, identificação de falhas, análise de produtividade e ainda de forma preventiva, efetuando atualizações trimestrais ou semestrais.

*29 - Como a empresa incentiva a retenção de talento e o desenvolvimento pessoal dos colaboradores?

- ○ Não incentiva
- ○ Incentiva pouco
- ○ Incentiva
- ○ Incentiva consideravelmente
- ○ Incentiva totalmente
- ○ Não aplicável

Incentiva pouco: Permite alguma proatividade dos colaboradores em tarefas não essenciais ou de baixa relevância e em algumas tarefas essenciais.
Incentiva: Permite proatividade dos colaboradores em tarefas não essenciais e essenciais, mas não implementa propostas de melhoria sugeridas por estes.
Incentiva consideravelmente: Permite proatividade em tarefas não essenciais e essenciais, apenas implementa sugestões de melhoria após uma extensa avaliação por parte da gestão de topo e não oferece qualquer bonificação financeira por demonstração de proatividade.
Incentiva totalmente: Os colaboradores têm abertura para propôr melhorias em tarefas não essenciais e essenciais, possuem independência de decisões para proatividade e a organização oferece bonificações financeiras acima da média aos talentos identificados.

*30 - Em que fase do processo de digitalização se situa a empresa?

- ○ Processo não iniciado (estratégia inexistente)
- ○ Fase inicial de definição da estratégia
- ○ Estratégia e plano de ação tecnológico definidos
- ○ Validação de provas de conceito
- ○ Implementação em escala

*31 - Qual o nível de investimento em tecnologias digitais catalisadoras da Indústria 4.0?

- Inexistente
- Baixo
- Intermédio
- Acima da média
- Alto

Tecnologias digitais catalisadoras da Indústria 4.0: Sistemas Ciber-Físicos, Cibersegurança, Realidade Aumentada e/ou Realidade Virtual, Data Science, Robots Colaborativos/Inteligentes, Fabrico Aditivo, Simulação e Digital Twin, Integração Horizontal e Vertical de Sistemas, Computação em Nuvem (Cloud), Blockchain.

Inexistente: Menos de 0.1% do investimento total.
Baixo: Entre 0.1% e 1.0% do investimento total.
Intermédio: Entre 1.0% e 2.5% do investimento total.
Acima da média: Entre 2.5% e 5% do investimento total.
Alto: Mais de 5% do investimento total.

*32 - Qual o nível de gestão do risco na adoção de tecnologias digitais da chamada Indústria 4.0?

- Reduzido: Existe consciência do risco e recursos básicos de mitigação.
- Moderado: Existem ações em curso para identificação de processos.
- Elevado: Os processos estão identificados.
- Muito elevado: As prioridades estão claramente definidas.
- Máximo: O sistema de gestão do risco é implementado em todos os níveis da organização.

Reduzido: A gestão está consciente da necessidade de lidar com incertezas/riscos e forneceu recursos básicos para obter melhorias.
Moderado: A gestão está consciente da necessidade de lidar com incertezas/riscos e há ações em curso para identificar processos e riscos.
Elevado: Os processos estão identificados, mas as prioridades de risco não estão claramente definidas ou não são comunicadas a todos os colaboradores.
Muito elevado: Os processos estão identificados e as prioridades de risco estão claramente definidas e são comunicadas a todos os colaboradores.
Máximo: A responsabilidade pela gestão do risco é atribuída a todos os colaboradores e o sistema de gestão do risco é implementado em todos os níveis da organização.

*33 - Qual o nível de apoio e participação da gestão de topo no processo de digitalização?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo

Reduzido: A gestão de topo toma todas as iniciativas e decisões no processo de digitalização sem consultar os colaboradores e sem oferecer oportunidades de formação/qualificação para a adoção de novas tecnologias digitais.
Moderado: A gestão de topo toma todas as iniciativas e decisões sem considerar as opiniões e necessidades dos colaboradores, mas oferece oportunidades de formação/qualificação para a adoção de novas tecnologias digitais.
Elevado: Os colaboradores têm a possibilidade de apresentar pequenas sugestões de melhoria, que são discutidas e efetivadas pela gestão de topo. Também são oferecidas oportunidades de formação/qualificação para a adoção de novas tecnologias digitais.
Muito elevado: Os colaboradores têm liberdade para apresentar sugestões de melhoria significativas dos processos, tais como a mudança para novas ferramentas ou a incorporação/implementação de equipamentos/sensorização/robotização. A gestão de topo discute e toma a decisão final relativamente a essas sugestões de melhoria. Também são oferecidas oportunidades de formação/qualificação para a adoção de novas tecnologias digitais.
Máximo: Os colaboradores têm liberdade para tomar pequenas iniciativas e modificar os seus processos sem necessidade de aprovação por parte da gestão de topo. A gestão de topo incentiva a proatividade e oferece formação/qualificação adequadas.

*34 - Qual o nível de modelação dos processos de negócio?

- Inexistente
- Reduzido
- Intermédio
- Alto
- Total/Contínuo

Inexistente: Os processos de negócio não estão modelados.
Reduzido: Alguns processos de negócio críticos estão modelados.
Intermédio: Todos os processos de negócio críticos estão modelados.
Alto: Todos os processos de negócio estão modelados, mas não estão globalmente integrados.
Total/Contínuo: Todos os processos de negócio estão modelados e globalmente integrados.

*35 - Qual a frequência de revisão dos processos de negócio, numa lógica de melhoria contínua?

- ○ Inexistente
- ○ Reduzida
- ○ Intermédia
- ○ Alta
- ○ Total/Contínua

Inexistente: Não existe revisão de processos.
Reduzida: Alguns processos de negócio críticos são revistos.
Intermédia: Todos os processos de negócio críticos são revistos.
Alta: Todos os processos de negócio são revistos, mas não contam com o acompanhamento de gestores para revisão contínua.
Total/Contínua: Todos os processos de negócio são continuamente revistos e contam com o acompanhamento de gestores para a revisão contínua e melhorias.

*36 - Qual o nível de automação dos equipamentos produtivos e da logística interna?

- ○ Inexistente
- ○ Baixo
- ○ Intermédio
- ○ Alto
- ○ Total

*37 - Qual o nível de preparação dos equipamentos produtivos para a aquisição, tratamento e avaliação de dados da produção?

- ○ Inexistente
- ○ Baixo
- ○ Intermédio
- ○ Alto
- ○ Total

*38 - Qual o nível de integração entre sistemas de informação (IT) e equipamentos produtivos (OT)?

- ○ Inexistente
- ○ Baixo
- ○ Intermédio
- ○ Alto
- ○ Total

*39 - Qual o nível de aplicação/utilização das seguintes tecnologias na sua empresa?

	Não utiliza	Baixo	Intermédio	Alto	Muito alto
Internet das Coisas (Industrial Internet of Things)	○	○	○	○	○
Cibersegurança (Cybersecurity)	○	○	○	○	○
Realidade Aumentada e/ou Realidade Virtual (AR/VR)	○	○	○	○	○
Ciência dos Dados (Data Science)	○	○	○	○	○
Robôs Colaborativos/Inteligentes (Collaborative/Smart Robots)	○	○	○	○	○
Fabrico Aditivo / Impressão 3D (Additive Manufacturing / 3D Printing)	○	○	○	○	○
Simulação e/ou Gémeo Digital (Simulation / Digital Twin)	○	○	○	○	○
Integração Horizontal e Vertical de Sistemas IT e OT	○	○	○	○	○
Computação em Nuvem (Cloud)	○	○	○	○	○
Blockchain	○	○	○	○	○
Sistemas de Execução de Fabrico (MES)	○	○	○	○	○
Software de Gestão (ERP)	○	○	○	○	○
Desenho / Fabrico Assistido por Computador (CAD/CAM)	○	○	○	○	○

*40 - Qual o nível de cobertura dos processos de negócio pelos sistemas de informação implementados na empresa?

	SI não suporta	Baixo	Intermédio	Alto	Total	Não aplicável
Engenharia	○	○	○	○	○	○
Planeamento de Capacidades	○	○	○	○	○	○
Requisição de Materiais	○	○	○	○	○	○
Logística Interna	○	○	○	○	○	○
Execução e Controlo da Produção	○	○	○	○	○	○
Expedição e Logística Externa	○	○	○	○	○	○
Controlo da Qualidade	○	○	○	○	○	○
Gestão de Ativos Físicos	○	○	○	○	○	○
Comercial	○	○	○	○	○	○
Aprovisionamentos	○	○	○	○	○	○
Financeiro	○	○	○	○	○	○
Controlo de Gestão	○	○	○	○	○	○

*41 - Qual o nível de serviços digitais, baseados em dados, associados aos produtos?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo
- Não aplicável

Reduzido: A empresa prevê o uso de serviços orientados a dados para suporte de backoffice de produtos, mas apenas na estratégia digital de longo prazo.
Moderado: A empresa prevê o uso de serviços orientados a dados para suporte de backoffice de produtos e serviços adicionais com base em dados de produtos, mas apenas na estratégia digital de longo prazo.
Elevado: A empresa iniciou o desenvolvimento de serviços orientados a dados, internos ou com terceiros, para suporte de backoffice de produtos e serviços adicionais com base em dados de produtos para aprimorar a experiência do produto.
Muito elevado: A empresa já está a testar serviços orientados a dados, desenvolvidos internamente ou com terceiros, para suporte de backoffice de produtos e serviços adicionais com base em dados do produto para aprimorar a experiência do produto, com melhorias contínuas com base nos dados de feedback dos clientes.
Máximo: A empresa lançou e estabeleceu serviços orientados a dados, desenvolvidos internamente ou com terceiros, para suporte de backoffice de produtos e serviços adicionais com base em dados de produtos para aprimorar a experiência do produto, com melhorias contínuas com base em dados de feedback dos clientes. Os processos de criação de valor de produtos futuros consideram a unidade de servitização e os recursos de serviços orientados a dados.

*42 - Qual o nível de utilização de modelos de simulação e prototipagem digital (digital twin) no desenvolvimento e validação de novos produtos e/ou serviços?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo
- Não aplicável

Reduzido: A empresa desenvolve e utiliza apenas modelos digitais tradicionais (ex.: projeto CAD estático).
Moderado: A empresa desenvolve e utiliza apenas modelos digitais básicos (ex.: projeto mecânico CAD com simulação de estruturas), sem segmentação ou individualização de produtos.
Elevado: A empresa utiliza métodos de simulação de produtos e serviços para permitir a segmentação e individualização de produtos, sem capacidade de reconfiguração ágil para customização em massa.
Muito elevado: A empresa utiliza métodos de simulação de produtos e serviços para permitir a segmentação e individualização de produtos, com capacidade de reconfiguração ágil para customização em massa.
Máximo: A empresa utiliza métodos de simulação de produtos e serviços para permitir a segmentação e individualização de produtos, com capacidade de reconfiguração ágil para customização em massa, e integrados com os sistemas de informação e operação da organização permitindo prazos de entrega e ciclos de desenvolvimento de produtos rápidos.

*43 - Qual o nível de utilização de tecnologias digitais na colaboração (comunicação, partilha de documentos e conteúdos, acompanhamento do estado dos processos da cadeia de abastecimento) com os seus parceiros de negócio ao longo da cadeia de valor?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo
- Não aplicável

*44 - Qual o nível de aplicação e adoção de referenciais normativos no âmbito da digitalização (ex.: ISA 88, ISA 95, OPC-UA, etc)?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo
- Não aplicável

Reduzido: A empresa mantém políticas escritas para as diretrizes de padronização exigidas, mas essas políticas são visíveis apenas pela alta administração e não são divulgadas como uma estratégia cultural da empresa.
Moderado: A empresa mantém políticas escritas para as diretrizes de padronização exigidas e essas políticas são disseminadas como uma estratégia cultural da empresa. No entanto, a empresa não possui políticas para diretrizes de padronização em desenvolvimento e não acompanha o desenvolvimento de novas diretrizes.
Elevado: A empresa mantém políticas escritas para as diretrizes de padronização exigidas e essas políticas são disseminadas como uma estratégia cultural da empresa. A empresa monitoriza o desenvolvimento de novas diretrizes, com informações sobre esses novos padrões, divulgadas apenas para a alta administração, isto é, sem o envolvimento de outras equipas relacionadas (ex.: equipa de desenvolvimento e/ou departamentos de I&D).
Muito elevado: A empresa mantém versões digitais das políticas para as diretrizes de padronização exigidas e que são disseminadas como estratégia cultural da empresa. Acompanha o desenvolvimento de novas diretrizes, sendo que as informações das novas normas são disseminadas por toda a empresa. No entanto, a empresa não aloca recursos para auxiliar no desenvolvimento das normas como parte de órgãos de normalização e grupos de trabalho.
Máximo: A empresa mantém versões digitais das políticas para as diretrizes de padronização exigidas e que são disseminadas como estratégia cultural da empresa. Acompanha o desenvolvimento de novas diretrizes, sendo que as informações das novas normas são disseminadas por toda a empresa. A empresa aloca recursos para auxiliar no desenvolvimento das normas como parte de órgãos de normalização e grupos de trabalho.

*45 - Qual o grau de impacto da transformação digital na estratégia comercial da empresa (relação com clientes e fornecedores)?

- Reduzido
- Moderado
- Elevado
- Muito elevado
- Máximo
- Não aplicável

Reduzido: A empresa tem uma posição fraca e o modelo de negócio é uma cópia do modelo de outra empresa dominante e/ou forte no mesmo mercado, com algum uso de tecnologias digitais para mudar e ajustar constantemente a sua posição no mercado.
Moderado: A empresa tem uma posição sustentável, sendo considerada uma seguidora de mercado. O modelo de negócio é sobretudo uma cópia do modelo de outra empresa dominante e/ou forte, com o uso de tecnologias digitais para aprimorar a experiência do consumidor e realizar ajustes mediante o feedback do consumidor.
Elevado: A empresa tem uma posição favorável, sendo considerada uma desafiante de mercado. O modelo de negócio é um mix de produtos copiados de empresas dominantes e/ou fortes com desenvolvimento próprio. Utiliza tecnologias digitais para aprimorar a experiência do consumidor e concentra-se em realizar ajustes constantes à estratégia de negócio, mantendo interações quase em tempo real com os consumidores para recolha de dados e feedback.
Muito elevado: A empresa tem uma posição forte, sendo considerada uma empresa desafiante ou líder de mercado. O modelo de negócio consiste num portfólio solidificado de produtos autodesenvolvidos que fazem amplo uso de tecnologias digitais. A empresa mantém interações quase em tempo real com os consumidores para recolha de dados e feedback, bem como com fornecedores para poder realizar ajustes à estratégia de negócio ou enveredar pela inovação digital em produtos.
Máximo: A empresa tem uma posição dominante, sendo considerada líder de mercado. O modelo de negócio consiste num portfólio solidificado de produtos autodesenvolvidos que fazem amplo uso de tecnologias digitais, além de fornecer servitização para relacionamento de longo prazo com os consumidores. A empresa mantém interações quase em tempo real com os consumidores para recolha de dados e feedback, bem como com fornecedores para poder realizar ajustes à estratégia de negócio ou enveredar pela inovação digital em produtos. Além disso, a empresa não é afetada pela maioria das mudanças de mercado e está em posição de ditar os movimentos do mercado em direção a um novo produto ou serviço.

*46 - Qual o grau de utilização de sistemas de incentivos públicos para a digitalização?

- Reduzido: A empresa não utiliza incentivos públicos.
- Moderado: A empresa já recorreu, sem sucesso, a iniciativas para utilização de incentivos públicos.
- Elevado: A empresa já recorreu, com sucesso, a iniciativas para utilização de incentivos públicos.
- Muito elevado: A empresa recorre, com sucesso, a iniciativas para utilização de incentivos públicos.
- Máximo: A empresa possui uma estratégia de longo prazo para a utilização de incentivos públicos.
- Não aplicável

Reduzido: A empresa tem conhecimento sobre as políticas governamentais direcionadas à adoção de tecnologias digitais, mas carece de conhecimento sobre como desenvolver iniciativas para aproveitar essas políticas.
Moderado: A empresa está atenta às políticas governamentais e ao ambiente regulatório, tendo incorrido em iniciativas que aproveitam essas políticas de fomento. No entanto, por falta de conhecimento, falta de integração ou falta de planeamento, as iniciativas não tiveram sucesso.
Elevado: A empresa está atenta às políticas governamentais e ao ambiente regulatório, incorrendo em constantes iniciativas para utilizar as políticas de fomento a seu favor, com resultados frutíferos em termos de desenvolvimento tecnológico e/ou desenvolvimento de produtos/serviços. No entanto, a empresa não participa em iniciativas regulatórias que podem beneficiar o setor industrial a longo prazo.
Muito elevado: A empresa está atenta às políticas governamentais e ao ambiente regulatório, incorrendo em constantes iniciativas para utilizar as políticas de fomento a seu favor, com resultados frutíferos em termos de desenvolvimento tecnológico e/ou desenvolvimento de produtos/serviços. A empresa participa em iniciativas regulatórias que podem beneficiar o setor industrial a longo prazo, mas sem estratégia de previsão política.
Máximo: A empresa está atenta às políticas governamentais e ao ambiente regulatório, incorrendo em constantes iniciativas para utilizar as políticas de fomento a seu favor, com resultados frutíferos em termos de desenvolvimento tecnológico e/ou desenvolvimento de produtos/serviços. A empresa participa em iniciativas regulatórias que podem beneficiar o setor industrial a longo prazo, com estratégia de previsão política.

47 - Na sua opinião, quais as tecnologias que poderiam ter mais impacto no seu negócio e nas quais poderá investir?

48 - Quais os entraves/obstáculos que identifica relativamente à adoção de tecnologias avançadas de produção?

- [ ] Necessidade de altos níveis de investimento
- [ ] Necessidade de modificações adaptativas ao nível organizacional e de processos
- [ ] Falta de mão-de-obra qualificada
- [ ] Falta de sistemas de gestão do conhecimento e/ou gestão de dados empresariais
- [ ] Falta de uma compreensão clara sobre os benefícios de dispositivos IoT (Internet das Coisas)
- [ ] Falta de esforços de normalização - standards
- [ ] Necessidade de implementação de retrofitting (reconfiguração de sistemas produtivos já implementados)
- [ ] Falta de infraestruturas de comunicações e de tecnologias de informação
- [ ] Considerações sobre problemas de cibersegurança e privacidade de dados empresariais
- [ ] Falta de uma integração fluida e capacidade de interoperabilidade dos sistemas produtivos e de informação
- [ ] Falta de suporte de regulação governamental
- [ ] Falta de garantias contratuais e legais
- [ ] Falta de soluções prontas para uso
- [ ] Falta de uma estratégia digital
- [ ] Outro:

6.2 *Website* do Projeto SAP 4.0

https://sap.aecoa.pt/