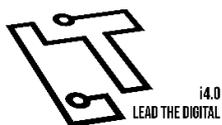

Guião de boas práticas para implementação de Indústria 4.0 nas PME

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

© 2022, WINNING

PROJETO I.4.0 – LEAD THE DIGITAL TRANSFORMATION

— Índice

SUMÁRIO EXECUTIVO	4
1. O SETOR INDUSTRIAL.....	5
2. INDÚSTRIA 4.0	18
Robótica.....	19
Inteligência artificial	19
Análise de dados.....	20
Internet das coisas.....	21
Cibersegurança	21
Computação em nuvem	22
Realidade virtual.....	23
Fabricação aditiva.....	24
Integração de sistemas	25
Sistemas ciber-físicos (CPS).....	26
3. CRIAÇÃO DE VALOR NA INDÚSTRIA 4.0	29
4. APLICAÇÕES TRANSVERSAIS	37
5. PRINCIPAIS DESAFIOS.....	72
6. COMO FACILITAR A TRANSFORMAÇÃO?	78
Informação relevante a difundir internamente	80
Áreas e temas de formação.....	89
7. A ESTRATÉGIA PARA AS PME	94
Fundamentos para a criação do <i>roadmap</i>	95
Processo de adoção e modelo de funcionamento	98
8. BOAS PRÁTICAS.....	107
Lista de Abreviaturas.....	111

SUMÁRIO EXECUTIVO

O “Guião de boas práticas para implementação de Indústria 4.0” é uma ferramenta de suporte para o alinhamento das estratégias de negócios e operações das PME industriais portuguesas com as novas tecnologias emergentes.

Esta ferramenta permite captar uma “radiografia” interna do tecido empresarial, de forma a determinar o seu estágio atual no processo de transformação, a partir de perspetivas tecnológicas, organizacionais e culturais. Seguidamente, apresenta os 10 pilares tecnológicos associados à Indústria 4.0 e a sua capacidade para criar valor transversalmente pelas diferentes atividades industriais. Identificados os principais desafios associados à implementação destas iniciativas, propõe-se um modelo de preparação e implementação de Indústria 4.0 nas PME.

Este guia pode ser considerado um modelo de avaliação de maturidade em si, mas também um guia para que as empresas compreendam o caminho que devem seguir para o desenvolvimento da Indústria 4.0, e construam os seus próprios modelos, no sentido de se tornarem recetivas a novas tecnologias, competências e *know-how*, auxiliando na criação de medidas que entreguem benefícios concretos.

A utilização do guia compreende uma abordagem em três fases: Identificação do estágio atual de maturidade do setor industrial português e autoanálise à própria atividade industrial; Definição do estado de maturidade que pretende atingir no final do processo de transformação; e Definição de ações para prover as capacidades necessárias, e a incorporação das mesmas num mapa estratégico da Indústria 4.0.

1. O SETOR INDUSTRIAL

A indústria transformadora destaca-se como uma componente fulcral da economia portuguesa, compreendendo atualmente mais de 67 mil empresas, 99,2% das quais Pequenas e Médias Empresas (PME). Com um volume de negócios superior a 96 mil milhões de euros, garante aproximadamente 24% do volume de negócios nacional. É, indubitavelmente, um setor de extrema relevância económica em Portugal. Conquanto, o seu crescimento anual tende a revelar-se parado e o número total de empresas industriais transformadoras no país tem vindo a sofrer alterações inquietantes ao longo dos anos.

Nomeadamente, em termos acumulados, constata-se uma queda de 21,5% no número de indústrias nos últimos 15 anos. Embora se presencie uma tendência estabilizadora a partir de 2012, permanece visualmente perceptível a diminuição de 1,5% que ocorreu entre o ano 2019 e 2020.

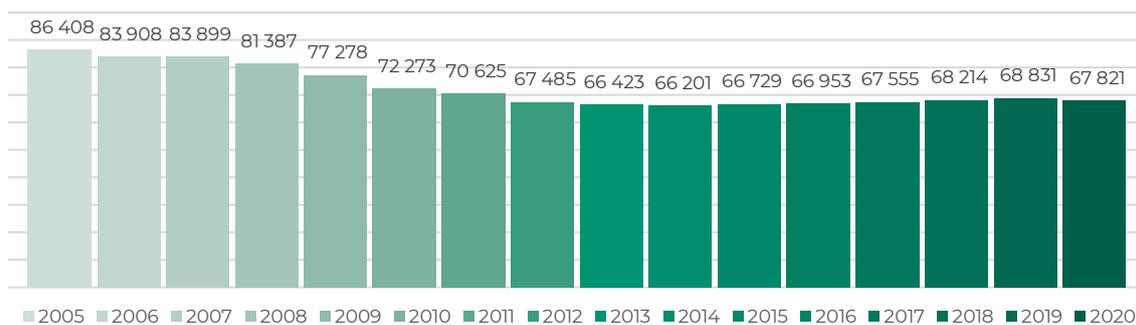


Figura 1: Total de empresas no setor da indústria transformadora (2005 a 2020) (Fonte: INE; PORDATA)

Sendo este o setor de atividade em Portugal com o maior número de pessoas empregadas, agregando um total de 811 400 trabalhadores - cerca de um sexto (16,86%) da totalidade das pessoas empregadas -, torna-se imprescindível a condução de uma análise meticulosa ao seu

estado atual, de forma a serem identificados os principais obstáculos ao seu desenvolvimento.

Relativamente à dispersão geográfica desta categoria de atividades económicas, é predominante a sua localização na região Norte e Centro. A título de exemplo, em 2019, mais de metade das empresas pertencentes à indústria transformadora estavam situadas na região norte do país (51%), seguindo-se a zona Centro (24%).

De forma semelhante, é também esta a região responsável pela maior percentagem de volume de negócios do setor, em Portugal. Nomeadamente, no ano de 2019, a região Norte contabilizou 37% do valor resultante do volume de vendas da Indústria transformadora. Anos mais tarde, em 2021, o setor apresentou um crescimento de 15,0% no seu volume de negócios, face a uma queda de 10,7% registada no ano anterior (ano pandémico).

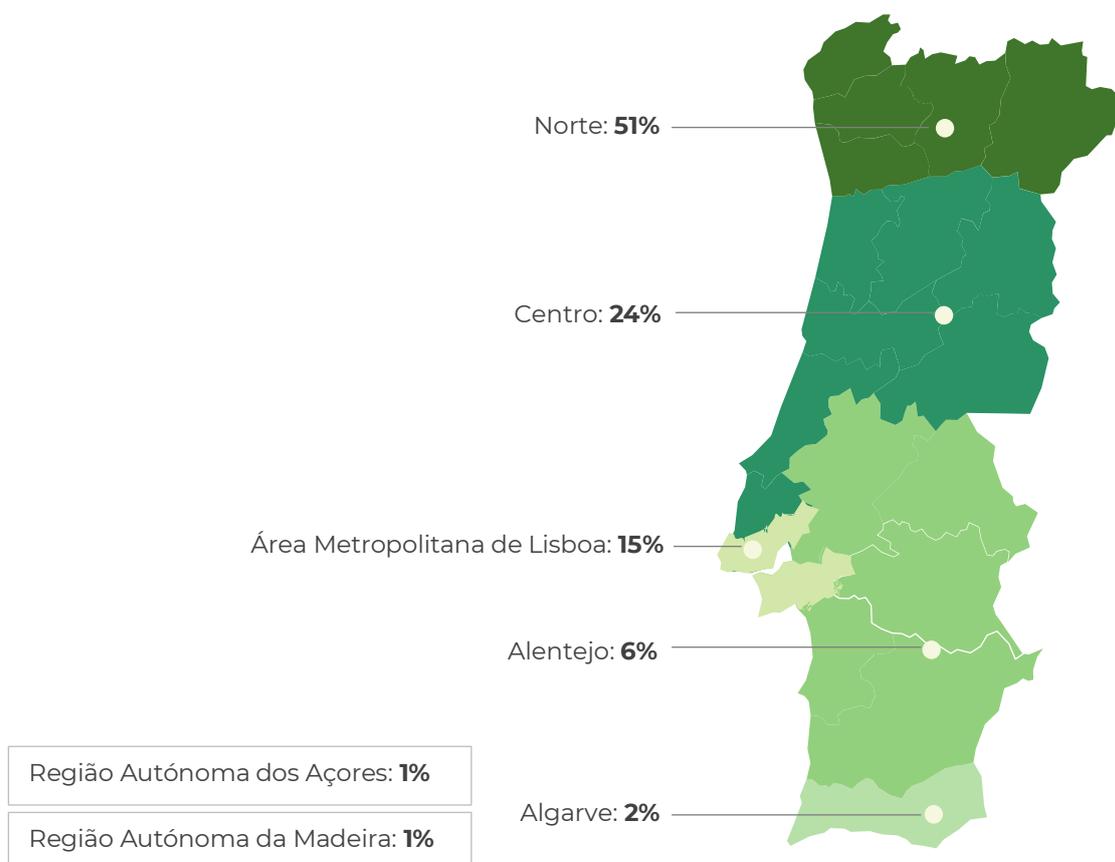


Figura 2: Percentagem de empresas no setor da indústria por localização geográfica NUTS-II, em 2019
(Fonte: Banco de Portugal)

Torna-se, portanto, clara a necessidade acrescida de se desenvolverem estratégias de apoio ao crescimento e desenvolvimento destas empresas, com especial consideração nas suas características particulares: PME situadas na zona Norte e Centro.

Sabe-se que este setor é composto por, pelo menos, onze subdivisões, cada uma delas compreendendo um amplo leque de atividades industriais. A distribuição destas empresas por tipo de atividade verifica que, em Portugal, existe um maior número de organizações responsáveis pela fabricação de produtos metálicos (17,4%), alimentares (13,1%) e de vestuário (12,7%), respetivamente.

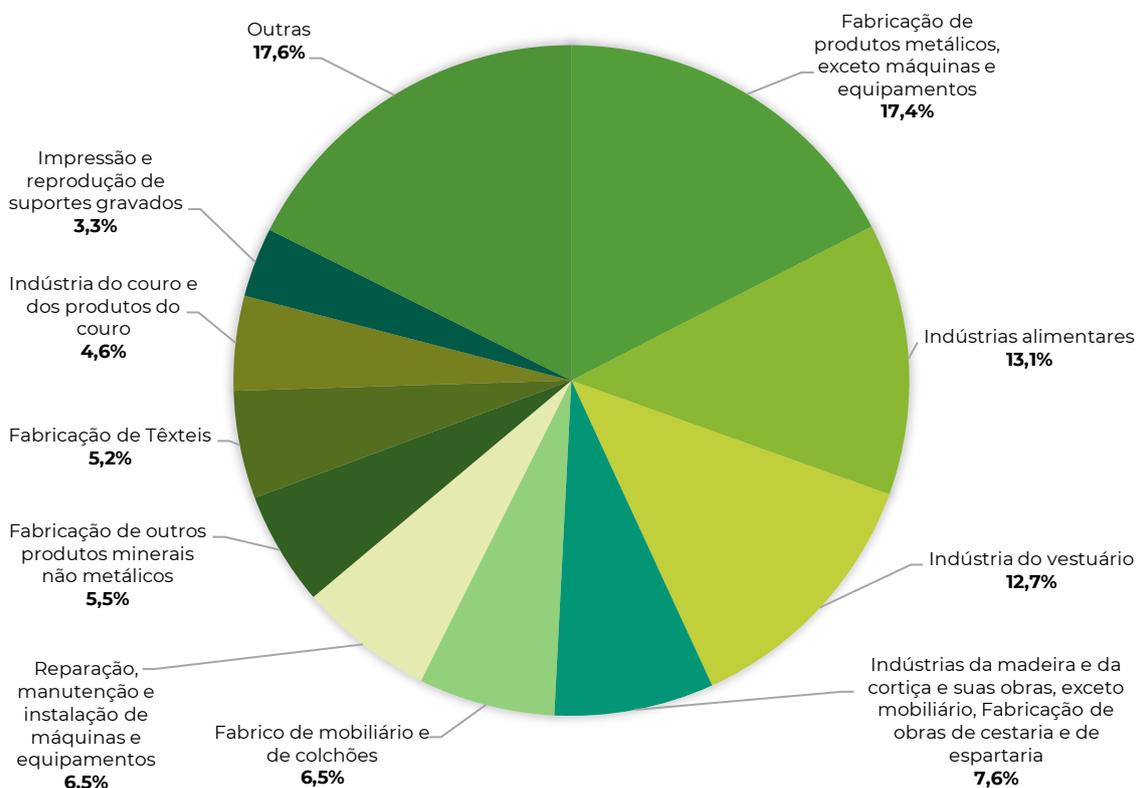


Figura 3: Distribuição (%) das empresas da indústria transformadora por tipo de atividade em 2020
(Fonte: INE; PORDATA)

Todavia, alterando o ângulo de análise desta distribuição, considerando fatores como o volume de negócios ou o número de trabalhadores empregados, existem grandes alterações. Considerando-se o primeiro, o setor é liderado pelas atividades de indústria alimentar (responsáveis

por 14% do volume de negócios global do setor), seguidas das indústrias de fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes (11%). Por outro lado, a indústria têxtil e de vestuário lidera o setor face ao número de trabalhadores que emprega, empregando cerca de 19% do total de trabalhadores do setor.

Face ao exposto, torna-se impraticável a segmentação destas atividades industriais, revelando-se cada uma delas única e de extrema relevância na composição do setor em termos globais. Por este motivo, salienta-se a importância da promoção de medidas de apoio, de aplicação transversal.

Outro dos parâmetros que corrobora esta afirmação são as exportações do setor. Em 2019, cerca de 15% das indústrias possuíam carácter exportador, enquanto, no período homólogo, a parcela de outros setores de atividade inseridos no setor de exportação não ultrapassava os 6%. Note-se ainda, que neste período, 48% do volume de negócio do setor industrial era proveniente de exportações, sendo estas maioritariamente destinadas a países como a Espanha, França, Alemanha, Reino Unido, Irlanda do Norte e os Estados Unidos.

É, portanto, inquestionável o peso das empresas industriais nas exportações nacionais. Mais ainda, quando se verifica que em 2019, só a indústria automóvel, foi responsável pela maior geração de valor em exportações de todos os setores de atividade nesse ano, gerando cerca de 8 804,41 milhões de euros.

Em 2020, face à emergência da pandemia da COVID-19, a economia nacional foi negativamente afetada, verificando-se o fenómeno em vários setores, sendo a indústria transformadora um deles com uma queda de 7,2% no valor acrescentado bruto do setor face ao ano de 2019.

O total de vendas de produtos e prestação de serviços nas indústrias transformadoras foi similarmente afetado, diminuindo 10,6% face a 2019, em termos nominais, fixando-se em 84,2 mil milhões de euros.

Esta descida foi particularmente exacerbada pelas divisões 19 e 29 correspondentes às indústrias de coque, produtos petrolíferos refinados e de aglomerados de combustíveis (diminuição de 30,8%) e à fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis (diminuição de 19,3%), respetivamente.

No ano de 2021, o peso relativo da indústria transformadora no PIB, em termos de valor acrescentado foi de 12,28%. Este valor caracteriza-se por ser inferior à média europeia de 14,8% nesse ano.



Figura 4: Valor acrescentado da indústria transformadora em relação ao PIB, em 2021 (%) (Fonte: INE)

Sabe-se ainda, que a indústria transformadora está abaixo da média da União Europeia em termos de produtividade, não perfazendo metade deste valor. Além disso, em 2021, também o valor da população empregada em atividades industriais de alta e média-alta tecnologia revelou ser cerca de metade do valor da média europeia de 6,2%, correspondendo apenas a 3,3%. Note-se que, em 2019, 60,67% das indústrias transformadoras portuguesas foram consideradas de baixa tecnologia. Destas, 69,79% eram empresas sediadas no norte do país.

Esta realidade reforça a conveniência e importância do desenvolvimento da indústria nacional para atividades mais intensivas

em tecnologia e conhecimento, face à quarta revolução industrial e consequente emergência da transformação digital e do conceito de Indústria 4.0.

Veja-se que no ano de 2019, em Portugal, as indústrias inseridas no segmento de média-alta e alta tecnologia perfaziam apenas cerca de 7,78% do total das indústrias transformadoras. Com efeito, nesse mesmo ano, o valor acrescentado bruto do segmento de baixa tecnologia registou um valor de 40,75%, enquanto o referente às indústrias de alta e média-tecnologia representou apenas 24%.

Em 2019, o rácio entre a despesa em desenvolvimento e o volume de negócios das empresas com menos de 250 trabalhadores ao serviço das indústrias transformadoras correspondia a 0,15%, revelando um modesto crescimento no valor de 0,05% desde 2010. A região que mais evoluiu positivamente no intervalo de tempo referido diz respeito à região centro, estabilizando em 2019 no valor de 0,17%.

Tabla 1: Rácio entre a despesa em desenvolvimento e o volume de negócios em empresas com menos de 250 pessoas ao serviço, por localização geográfica NUTS-II, em 2019 (Fonte: INE)

Norte	Centro	A.M. Lisboa	Alentejo	Algarve	R.A. Açores	R.A. Madeira
0,15%	0,17%	0,13%	0,14%	0,07%	0,06%	0,05%

Todos estes dados permitem aferir que o tecido industrial português possui ainda um reduzido grau de adoção tecnológica, uma vez que o segmento dominante é referente a empresas de baixa tecnologia.

Repare-se, que a média histórica da taxa de utilização da capacidade produtiva na indústria transformadora em Portugal é de cerca de 80%, sendo que o valor registado no 4º trimestre de 2021 foi de 82,6%, face aos 79,1% do mesmo trimestre do ano de 2020. Para além disto, salienta-se que foi registada uma quebra marcante nesta métrica no primeiro trimestre de 2020, valor progressivamente recuperado no decorrer do período até 2021.

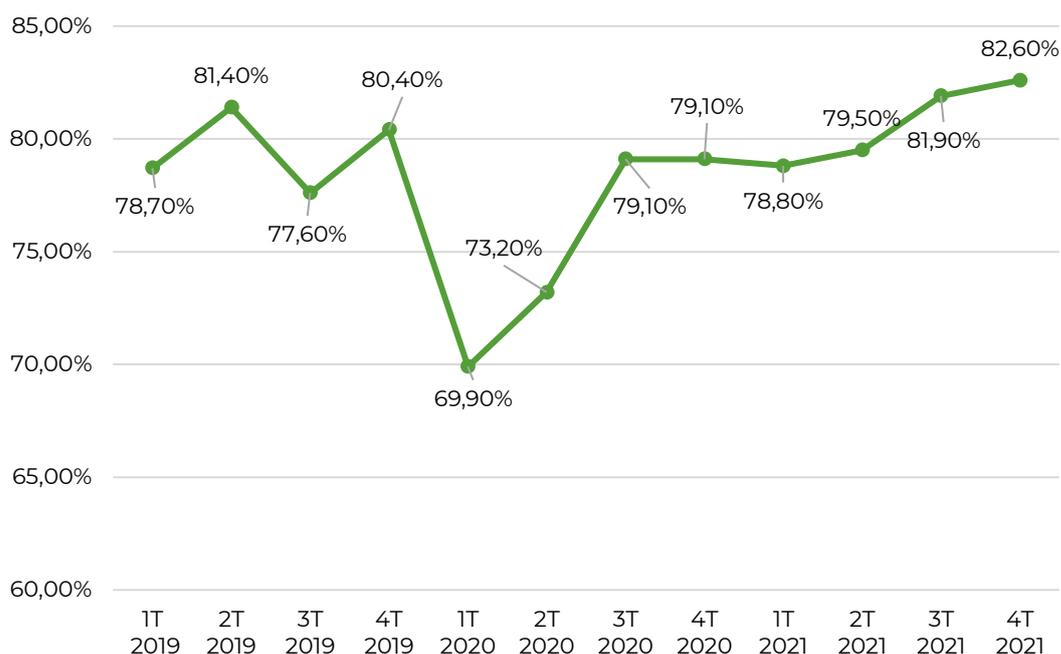


Figura 5: Taxa de utilização da capacidade produtiva na indústria transformadora (Fonte: Banco de Portugal)

Conquanto, no que concerne os níveis de produção industrial, este índice sofreu a sua queda mais significativa em abril de 2020, desde o ano de 2016, tendo-se fixado em 29,7% negativos. Em contrapartida, precisamente um ano depois, em abril de 2021, fixou o seu valor histórico mais elevado em 37,2%. Em dezembro de 2021 o índice registou os 0,4%.

Explicativos deste cenário serão, possivelmente, os obstáculos sinalizados como relevantes à produção da indústria transformadora pelo INE no 4º trimestre de 2021. Da sua análise, é possível depreender que a grande maioria dos inquiridos não detetou nenhum obstáculo relativamente à produção na sua indústria, porém, aqueles que detetaram, atribuem maioritariamente as suas dificuldades à insuficiência de procura e insuficiência de materiais e/ou equipamentos.

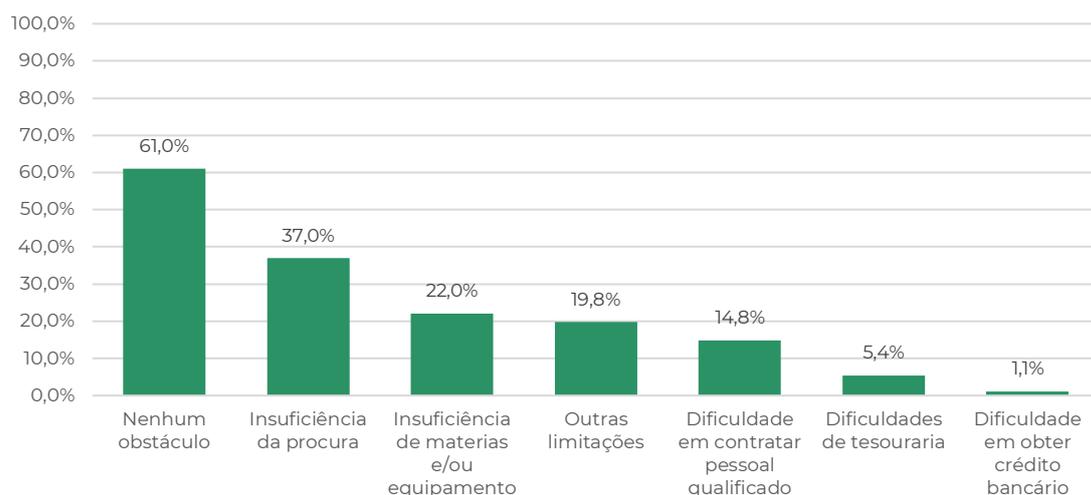


Figura 6: Obstáculos mais importantes à produção (%) da indústria transformadora no 4º trimestre de 2021 (Fonte: INE)

De acordo com o “*Global Competitiveness Report*” de 2020 do Fórum Económico Mundial, Portugal também se encontra abaixo da média dos restantes países comparados, quanto ao seu desempenho nas prioridades de transformação económica.

A título de exemplo, os indicadores do estudo que mensuraram os efeitos da emergência da 4ª revolução industrial e transformação digital, incluíram parâmetros relativos à capacidade das PME obterem financiamento e à capacidade de crescimento das empresas inovadoras. Verificou-se que Portugal se encontra abaixo de 21 dos 37 países analisados, somando 61,5 pontos (valor abaixo da média de 62 pontos para este indicador).

Considerando os dados analisados, é perceptível que a indústria transformadora em Portugal ainda se encontra numa fase inicial de desenvolvimento ao nível de transformação digital, ambicionando com esta transição a recuperação da sua economia e a melhoria do seu desempenho face a outros países. Atente-se que, sendo a grande maioria das empresas deste setor PMEs, estas estarão sujeitas a enfrentar maiores dificuldades e impedimentos em termos de desenvolvimento e inovação, face a empresas de maior dimensão.

Um estudo conduzido no início do ano 2022 a oitenta e sete PME nacionais com atividade industrial transformadora verificou que, das empresas que constituíam a amostra, apenas 15% afirmaram dominar e aplicar iniciativas de Indústria 4.0 na sua organização. Este cenário poderá dever-se ao facto de 54% das empresas inquiridas considerarem que existem obstáculos associados à implementação de Indústria 4.0.

Por tudo isto, pretende-se que as causas inerentes a estas dificuldades sejam devidamente identificadas, visando desta forma a redação de documentos de suporte que facilitem a transformação digital para este segmento. De tal modo, auxiliar-se-ão as PME na evolução das suas atividades, evitando-se a sua estagnação tecnológica.

Ainda assim, e apesar deste panorama descrente, antecipa-se uma tendência de interesse crescente pela adoção de tecnologias associadas a este conceito. Das 87 organizações em observação, 68% prevê iniciar investimento nesta área de transformação digital. Destas, 31% pretende iniciar este investimento de imediato, distribuindo-se as perspectivas das restantes pelos próximos 5 anos (Figura 7).

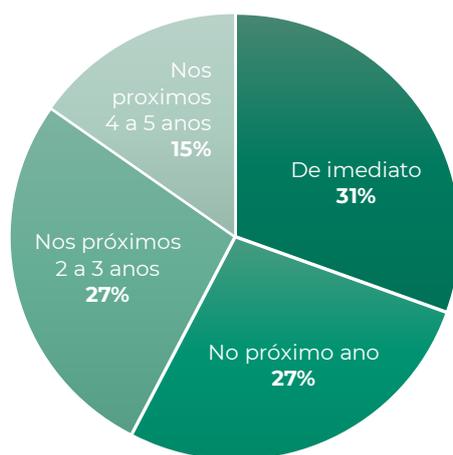


Figura 7: Resposta à questão "Quando prevê iniciar o investimento em iniciativas de Indústria 4.0 na sua organização?" (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

De modo semelhante, os resultados de uma análise comparativa entre os níveis médios de adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0 no momento presente, e os níveis previstos face ao interesse futuro

estimado, revelam uma tendência de adesão crescente por parte das PME industriais destas tecnologias nas suas respectivas atividades. Com efeito, salienta-se a previsão de maior aumento de interesse na aplicação de ferramentas de inteligência artificial nas atividades do setor industrial, sendo esta, tendencialmente, uma das áreas tecnológicas menos aplicada atualmente.

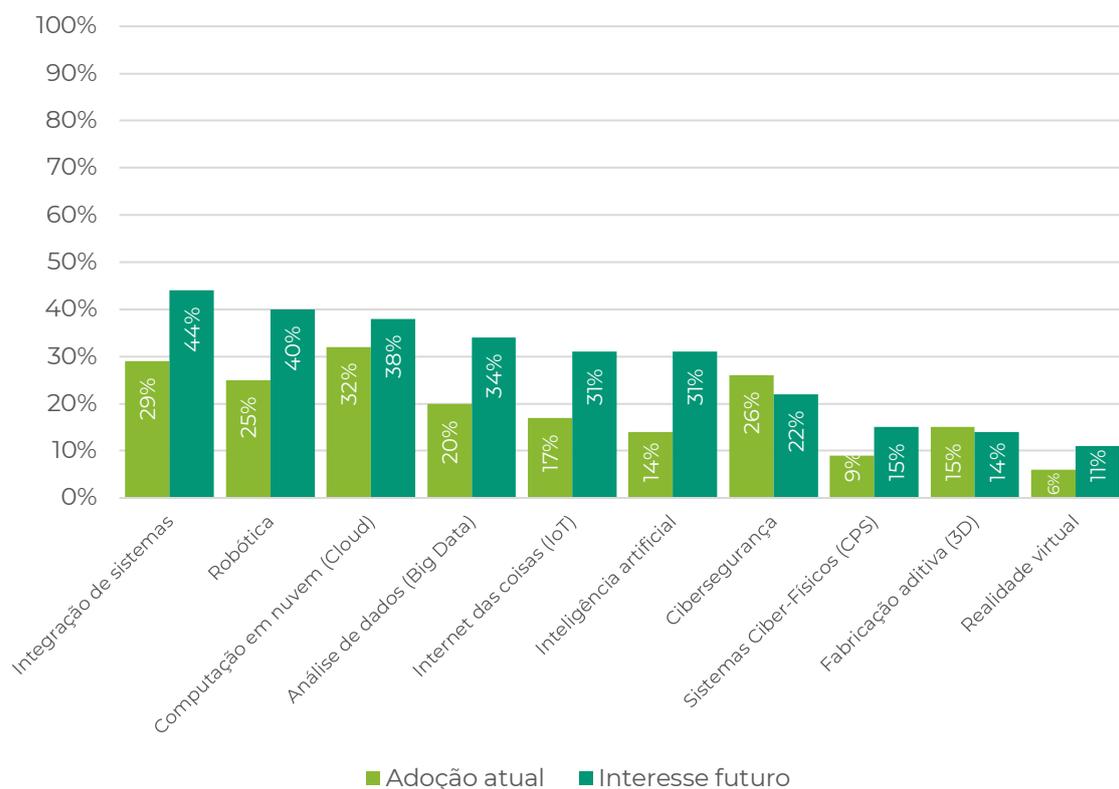


Figura 8: Comparação dos níveis de adoção atuais e interesse futuro nas principais tecnologias associadas a Indústria 4.0 (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

O mesmo estudo, valida o pressuposto de que, as PME industriais com investimentos realizados em I4.0 apresentam, em média, níveis de maturidade tecnológica superiores aos níveis médios das PME sem investimento realizado em iniciativas de I4.0. Dos vinte e oito indicadores analisados, foram identificadas diferenças significativas entre as médias das PME com e sem investimento realizado em Indústria 4.0 nos treze parâmetros seguintes:

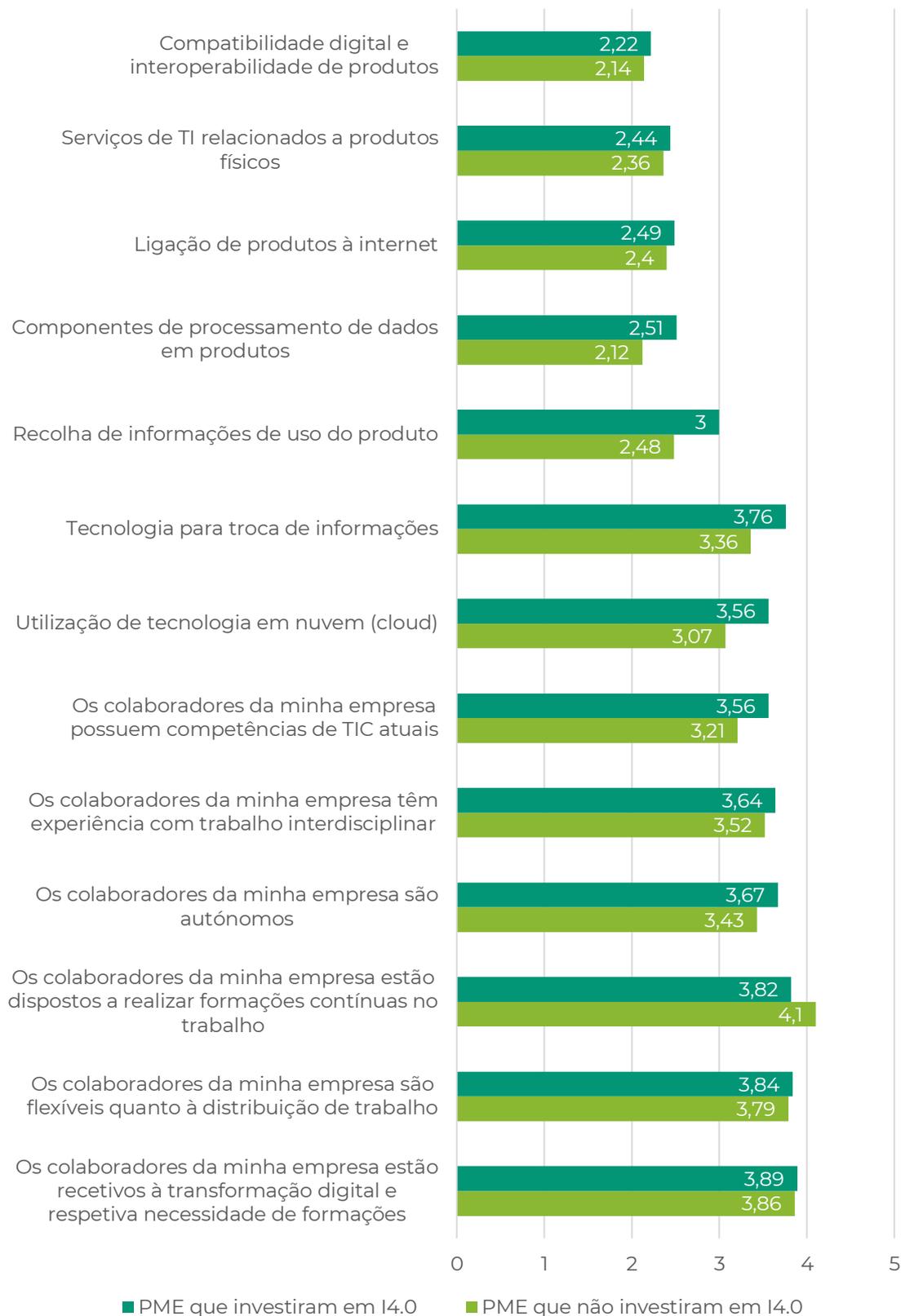


Figura 9: Indicadores de maturidade tecnológica com diferenças de médias estatisticamente significativas. Valores numa escala de 1 - inexistente/ou discordo totalmente a 5 - implementado e atualizado continuamente/ou concordo totalmente. (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Conclui-se que estes serão indicadores chave na redação de boas práticas para a implementação de Indústria 4.0 nas PME nacionais, visto serem características diferenciadoras das demais empresas. A título de exemplo, apesar de os níveis médios serem, em geral, substancialmente superiores para as empresas com investimento, este não foi o caso no indicador que concerne a predisposição dos colaboradores para realizarem formações contínuas no trabalho. Entende-se com isto que, por um lado, face à crescente tendência de adoção de tecnologias de Indústria 4.0 neste setor, existe vontade por parte dos colaboradores das empresas que ainda não realizam investimentos nesta área para enriquecerem o seu conhecimento. Contudo, por outro lado, exhibe-se a possibilidade de, após a ocorrência destes investimentos, esta vontade por parte da força de trabalho diminuir. Tal, acautela os gestores para a necessidade acrescida de uma boa gestão de recursos humanos e cultura organizacional aquando do investimento em Indústria 4.0. Por este motivo se torna imprescindível a consideração deste (e outros) elementos no momento de construção de um *roadmap* tecnológico de apoio à transformação digital e adoção de iniciativas de Indústria 4.0 nas PME nacionais.

Assim, conhecidas as oportunidades inerentes a esta implementação, o presente guião visa, num primeiro momento, introduzir o conceito de Indústria 4.0 e os seus pilares tecnológicos. Após esta conceptualização, são apresentadas as suas aplicações transversais dentro da indústria transformadora, bem como o seu potencial na criação de valor adicional. De seguida, apresentam-se os principais desafios e estratégias facilitadoras de mitigação e preparação para a transformação. Finalmente, e só após esta reflexão, é proposto um *roadmap* de apoio à definição estratégica e implementação de Indústria 4.0 nas PME.

Fontes:

PORDATA (2021). Empresas no sector da indústria transformadora: total e por tipo. (visitado em março 2022) <https://www.pordata.pt/Portugal/Empresas+no+sector+da+ind+c3%ba+ria+transfo+rmadora+total+e+por+tipo-2955>

INE (2022). Inquéritos de conjuntura às empresas e aos consumidores.

Portal do INE (2021). Obstáculos mais importantes à produção (%) da indústria transformadora por Localização geográfica, Tipo de bens e Obstáculos à produção; Trimestral. (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0011152&contexto=bd&selTab=tab2

PORDATA (2022). População empregada: total e por sector de actividade económica. (visitado em março 2022) <https://www.pordata.pt/Portugal/Popula+c3%a7+c3%a3o+empregada+total+e+por+sector+de+actividade+econ+c3%b3mic+a-3384>

Portal do INE (2022). Valor acrescentado da indústria transformadora em relação ao PIB (%); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0009211&contexto=bd&selTab=tab2

INE (2022). Índices de volume de negócios, emprego, remunerações e horas trabalhadas na indústria.

World Economic Forum (2020). The Global Competitiveness Report: How Countries are Performing on the Road to Recovery.

Banco de Portugal (2022). Índice de volume de negócios na indústria. (visitado em março de 2022). <https://bpstat.bportugal.pt/serie/12559839>

Portal do INE (2019). Empresas (N.º) por Localização geográfica (NUTS - 2013), Atividade económica (Divisão - CAE Rev. 3) e Forma jurídica; Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008511&contexto=bd&selTab=tab2

INE (2022). Síntese económica de conjuntura: Preços na produção e no consumidor continuaram a acelerar.

Portal do INE (2019). Proporção do valor acrescentado bruto das indústrias de alta e média-alta tecnologia no valor acrescentado bruto das indústrias transformadoras (CAE Rev. 3 - %) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008492&contexto=bd&selTab=tab2

Portal do INE (2019). Proporção do volume de negócios das indústrias de baixa tecnologia no volume de negócios das indústrias transformadoras (CAE Rev. 3 - %) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008545&contexto=bd&selTab=tab2

Portal do INE (2019). Rácio entre a despesa em desenvolvimento e o volume de negócios das empresas com menos de 250 pessoas ao serviço das indústrias transformadoras (CAE Rev. 3 - %) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008511&contexto=bd&selTab=tab2

Portal do INE (2019). Proporção de empresas das indústrias de baixa tecnologia nas empresas das indústrias transformadoras (CAE Rev. 3 - %) por Localização geográfica (NUTS - 2013); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008543&contexto=bd&selTab=tab2

Portal do INE (2022). Valor acrescentado da indústria transformadora em relação ao PIB (%); Anual (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0009211&contexto=bd&selTab=tab2

Eurostat (2021). Portugal na UE

Banco de Portugal (2019). Estudo da Central de Balanços: análise setorial das sociedades não financeiras em Portugal

Portal do INE (2021). Taxa de utilização da capacidade produtiva nos últimos 3 meses (%) da indústria transformadora por Tipo de bens; Trimestral. (visitado em março de 2022). https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0001191&contexto=bd&selTab=tab2

Banco de Portugal (2022). Índice de Produção Industrial-TVH-M (vcsc) (visitado em março de 2022). <https://bpstat.bportugal.pt/serie/12099340>

Banco de Portugal (2021). Taxa utilização da capacidade produtiva na indústria transformadora-Trim (vcs) (visitado em março de 2022). <https://bpstat.bportugal.pt/dados/series?mode=graphic&svid=Wp-4AAAAAAA!!!B!C!10!!!False!12!1i01vF:havSwnK4AVr-AAmpBIOIkHqWXLg&series=12099418>

2. INDÚSTRIA 4.0

A quarta revolução industrial surge como sucessora da crescente automatização de processos verificada desde os anos 70. Desde então, a emergência de novas tecnologias tem vindo a impulsionar a convergência entre o mundo real e o mundo digital.

A este novo paradigma, onde o homem e a máquina se acercam através da digitalização, chamamos Indústria 4.0, igualmente designada de I4.0. O termo assenta no pressuposto de que, através da interligação e conectividade de máquinas, sistemas de produção e equipamentos, se impulsionam melhorias na segurança, qualidade, agilidade, produtividade e eficiência dos processos produtivos.

Por este motivo, existem 10 pilares tecnológicos tipicamente associados à Indústria 4.0: a robótica, inteligência artificial, computação em nuvem, internet das coisas, realidade virtual, análise de dados, cibersegurança, fabricação aditiva, integração de sistemas e sistemas ciber-físicos. A sua adoção viabiliza transformações ao longo de toda a cadeia de valor e áreas de negócio. Conquanto, apesar da sua aplicação ser holística e capaz de compreender todos os departamentos de uma organização, é evidente que o conceito beneficia em particular a produção industrial.

Tendo em conta o atual mercado competitivo e a constante necessidade de adaptação à envolvente, torna-se imprescindível para as empresas o investimento em tecnologia que viabilize um fabrico otimizado, flexível e capaz de criar valor acrescentado. Considera-se, portanto, fundamental que as empresas aprofundem o seu conhecimento quanto a estas tecnologias e o potencial da sua adoção.

Robótica

Um robô industrial é uma combinação de diferentes tecnologias, cuja união concebe uma máquina única em termos de processos de produção e possíveis aplicações. Associada ao conceito de Indústria 4.0, a adoção de robôs no processo produtivo é tipicamente intitulada de Produção Avançada. O termo reflete a capacidade de estes trabalharem tarefas complexas de forma autónoma, flexível e colaborativa.

Uma das características mais interessantes desta tecnologia é a sua reconfiguração ou reprogramação. Esta, viabiliza a fácil adaptação dos processos de produção, permitindo que a mesma linha seja flexível e assim capaz de produzir várias saídas ou de se ajustar a alterações do mercado que não haviam sido previstas.

Para além da versatilidade produtiva, os robôs promovem ainda aumentos de produtividade, qualidade e eficiência energética, sendo por isso considerados sustentáveis. Apesar de serem ferramentas autónomas, a interação destas máquinas com a mão de obra humana no sistema produtivo concebe um ambiente de partilha de conhecimento bidirecional. A esta interação chamamos Robótica Colaborativa. O momento em que estas máquinas capturam informação e a partir dela criam regras de aprendizagem remete-nos para o segundo pilar tecnológico.

Inteligência artificial

Há quem considere a Inteligência Artificial (IA) a força condutora de Indústria 4.0, sendo o alicerce de diversas tecnologias associadas à transformação digital da atividade industrial. Esta tecnologia permite que um sistema de produção seja capaz de perceber e processar informação do ambiente em que se insere, conseguindo de seguida tomar decisões e executar tarefas complexas de forma autónoma.

Note-se, que esta área tecnológica permite que funções e

competências humanas como o raciocínio, a criatividade, o planeamento, a tomada de decisão e a melhoria com base na experiência, se verificarem nos sistemas de produção. Os sistemas de processamento de dados autodidatas produzem análises preditivas com base em padrões armazenados em bases de dados provenientes do processo produtivo. É uma das subáreas da inteligência artificial, sendo esta comumente designada de *machine learning*.

A sua aplicação à atividade industrial permite que sistemas de robótica sejam totalmente autónomos. Programados com critérios previamente especificados, estes tornam-se capazes de identificar qualquer disrupção ou desvio dos padrões de trabalho habituais, comunicando-os e adaptando sucessivamente a sua atividade e o seu plano operacional. O seu sucesso requer que um elevado número de dados de múltiplas origens seja analisado, dados intitulados de *big data*.

Análise de dados

Em geral, o mundo industrial ainda carece de indagação de um enorme conjunto de dados. No contexto de transformação digital e Indústria 4.0, é fundamental que as empresas analisem em tempo real a quantidade elevada de dados e informações presentes, *big data*. A condução deste processo analítico permite que se realizem análises preditivas, estatísticas e correlacionais que auxiliem as organizações na otimização de ambos produtos e processos. Naturalmente, o seu emprego visa aprimorar a tomada de decisão organizacional, tornando-a mais informada, consciente e segura, visto ser sustentada por valores.

Numa fábrica de Indústria 4.0, os dados são recolhidos por via de múltiplas fontes, tais como máquinas e equipamentos com sensores que recolhem dados do processo produtivo em tempo real. A este processo de recolha e análise de dados aplica-se de seguida um leque de técnicas para filtrar, relacionar e reportar informações relevantes.

Internet das coisas

O termo refere-se à rede de objetos físicos que através de sensores, *software* e outras tecnologias se conectam e trocam dados com outros dispositivos e sistemas através da internet. A sua adoção permite recolher informação sobre diversos parâmetros, tais como os consumos de energia, níveis de poluição, eficiência e utilização de recursos da atividade industrial.

Estes equipamentos são aplicados nos centros de produção de forma a integrarem todo o sistema. Simultaneamente, a constante recolha de dados permite que a tomada de decisão seja descentralizada e deliberada em tempo real.

A área de negócio mais beneficiada pela adoção de internet das coisas industrial é sem dúvida a produção, pois tal como mencionado no pilar anterior, uma máquina com sensores interligados tem a capacidade para monitorizar o estado de produção e se ajustar consoante o mesmo. Similarmente, também a gestão de inventário pode beneficiar desta tecnologia, por exemplo através da monitorização automática de níveis de armazenamento e conseqüente encomenda de reposição automática. Do mesmo modo, a temperatura dos armazéns, os níveis de fumo e gases podem ser controlados através desta engenharia, garantindo assim a qualidade dos produtos e a segurança dos colaboradores.

Cibersegurança

A introdução de novas tecnologias nos processos produtivos agrega novas exigências no que toca à segurança dos processos industriais. Deste modo, é necessário que se definam sistemas e planos que garantam a privacidade dos dados, sistemas, redes e dispositivos, protegendo-os contra potenciais ataques maliciosos.

É imprescindível mitigar as vulnerabilidades associadas aos acessos indevidos e não autorizados dos dispositivos e *softwares* dentro das

organizações. O primeiro vírus industrial, identificado no ano de 2010, foi programado especificamente para atacar e reprogramar sistemas de controlo de processos industriais e é conhecido pelo nome *Stuxnet*.

Um dos erros comuns das empresas industriais é acreditarem que antivírus instalados em computadores como o *Windows* são suficientes para combater ataques desta natureza. O primeiro passo é, portanto, assegurar que existe tecnologia capaz de detetar e monitorizar infeções por *malware* desconhecidos, sem necessidade constante de se realizarem atualizações, como é o caso da monitorização de integridade CIFS – *Common Internet File System*.

É igualmente necessário que se restrinjam os acessos a máquinas e sistemas através do uso de *firewall*. Esta tecnologia permite que a empresa controle quais os acessos que pretende conceder a cada utilizador, evitando que colaboradores e prestadores de serviços externos tenham acesso a áreas confidenciais e dispensáveis para a condução do seu trabalho. Para proteger estes sistemas, também é aconselhado que se instalem *routers* de segurança para monitorizar e detetar entradas, saídas e alterações. Assim, qualquer alteração fora da norma dispara, por segurança, um bloqueio de rede.

Finalmente, também as redes de comunicação devem guiar-se pelas normas de segurança e proteção de dados em vigor, como é o caso do Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) em Portugal e na EU.

Computação em nuvem

A adoção tecnológica e a recolha de dados exigem, em contrapartida, o seu armazenamento. No âmbito do conceito de Indústria 4.0, a solução passa pelo fornecimento e armazenamento de serviços informáticos, servidores, bases de dados, ficheiros, rede, *software*, inteligência, entre outros, através de serviços na Internet – a nuvem.

Esta nuvem metafórica permite que, através de ligação à internet, os utilizadores tenham um acesso *on-demand* instantâneo aos recursos

lá armazenados, independentemente do dispositivo utilizado e da sua localização. O *hardware* de armazenamento torna-se obsoleto, diminuindo-se assim os custos associados a essa infraestrutura e à sua manutenção. Os fornecedores desta tecnologia – tais como as conhecidas soluções Microsoft e Google *Cloud* - garantem ainda níveis máximos de segurança dos ficheiros armazenados e atualizações constantes do serviço *cloud*.

No que concerne a sua aplicação no setor industrial, esta solução simplifica processos ao facilitar o acesso descentralizado da informação. A tomada de decisão torna-se mais ágil por ser realizada em tempo real. A título de exemplo, um colaborador passa a conseguir aceder a ficheiros tais como as listagens de recursos e modelos de produção de um certo artigo através de qualquer dispositivo móvel ligado à internet, independentemente de serem dados provenientes de outros dispositivos.

Realidade virtual

A transformação digital desafia o mundo real diariamente. Hoje, é possível simularmos realidades sem as produzirmos fisicamente. Esta recriação ou alteração do espaço concreto resulta da aplicação de tecnologias de realidade virtual gerada através de ferramentas digitais. A tecnologia de Realidade Virtual (RV) cria cenários distintos através da conjugação de estímulos sensoriais, tais como imagens e sons, simulando a presença fictícia dos utilizadores nestes espaços.

Por sua vez, a tecnologia de Realidade Aumentada (RA) é uma variação da tecnologia de realidade virtual. Como o nome sugere, esta tecnologia realiza uma ampliação e conjugação de elementos reais, existentes no mundo verdadeiro. Esta transformação da realidade, sem a substituir totalmente, é tipicamente gerada por dados GPS, vídeo, som e gráficos.

A título de exemplo, a sua aplicação no mundo industrial permite a visualização de componentes ou partes, sobreposta a elementos reais, sem necessidade de despende ou recorrer à sua confeção, realização ou condução. Em particular, torna-se possível simular customizações de produtos ou utilizar óculos de realidade aumentada para obter uma visão raio x da composição de máquinas, equipamentos e construções em manutenção ou desenvolvimento. É também possível conduzir sessões de treino e ensaios práticos de processos complexos ou de natureza delicada nestes cenários virtuais. Esta tecnologia permite desmaterializar manuais de instrução, e tutoriais de procedimentos enquanto simultaneamente evita os elevados custos tipicamente associados à produção de protótipos e pequenas unidades customizáveis.

Quer isto dizer que a adoção tecnológica viabiliza atividades de produção unitária e prototipagem frequentemente consideradas dispendiosas. Esta é uma das vantagens associadas ao próximo pilar tecnológico de Indústria 4.0: a fabricação aditiva ou impressão 3D.

Fabricação aditiva

A fabricação aditiva é um processo de produção versátil, capaz de transformar modelos digitais 3D em produtos físicos. Este método produtivo requer a adoção de diferentes tecnologias. Nomeadamente, são necessários sistemas informáticos capazes de desenhar, modelar e parametrizar as peças pretendidas e as suas dimensões. Os modelos digitais gravados nestes ficheiros são posteriormente fabricados em máquinas de impressão 3D que, controladas por computadores, reúnem os materiais necessários e os combinam e modelam em camadas distintas. A composição destas camadas resulta na produção final do objeto idealizado.

São evidentemente desbloqueadas inúmeras vantagens. Entre elas, a redução de custo unitário da produção de pequenas quantidades e a

rápida prototipagem e personalização. O processo torna-se mais ágil, flexível e sustentável. Reduzem-se custos com matéria-prima e energia pois deixa de ser necessário instalar e operar processos de produção em massa.

Integração de sistemas

A falta de sistemas integrados gera ineficiências no dia a dia das operações empresariais. De forma a garantirmos uma rápida e eficiente tomada de decisão, e assim aumentarmos a produtividade e otimização de recursos, torna-se imprescindível a integração dos sistemas informáticos de troca de informação. Deste modo, a produção consegue ser ajustada às prospeções de procura, e os fornecedores e distribuidores alinhados com os níveis de produção em vigor.

Para que o processo de integração seja holístico, deve cingir-se em dois tipos de integração: horizontal e vertical. O primeiro, conecta os sistemas de toda a cadeia de valor, desde os fornecedores até aos clientes. Deste modo, integram-se horizontalmente análises de mercado, de produção, logística e distribuição. Possibilita-se a execução de uma gestão de fornecedores coesa e otimização de recursos e níveis de produção informada, trabalhando-se em prol da melhoria dos prazos de entrega e distribuição.

Por outro lado, a integração vertical diz respeito à transição da informação por todos os níveis hierárquicos da empresa. A gestão torna-se mais automatizada pois existe partilha de informação desde a atividade que decorre no chão da fábrica até aos departamentos corporativos. As máquinas e linhas de produção estão integradas com os sistemas de controlo e supervisão das equipas operacionais. Estas reportam em sistemas também interligados com equipas como as de gestão de qualidade e planeamento, cujas análises resultam em relatórios disponibilizados às equipas comerciais e gestão de topo. Os resultados são claros: aumento da produtividade, automatização de

processos anteriormente manuais, redução de trabalho, tempo e custos despendidos. A operacionalização desta integração depende do último pilar tecnológico associado a Indústria 4.0: os sistemas ciber-físicos.

Sistemas ciber-físicos (CPS)

Com efeito, a base das tecnologias infra identificadas são os sistemas ciber-físicos. Estes, fazem a ligação entre as máquinas ou partes mecânicas de um equipamento (o mundo físico), e os *softwares* de registo e análise de informação (o mundo *cyber*). Quer isto dizer, que possuem um papel importante no contexto industrial e na correta adoção de tecnologia como a Internet das coisas e a Integração de sistemas, pois são o seu grande pilar e alicerce.

Por exemplo, só com esta interligação se torna possível que, registos capturados através de sensores em dispositivos móveis sejam transferidos para *softwares* do mundo digital capazes de posteriormente conduzir análises e relatórios industriais. Pela mesma razão, esta tecnologia é considerada essencial na implementação de inteligência artificial, pois só depois da informação estar em sistema é possível gerar *insights* e comandos de ação a serem executados nos processos produtivos. É indubitável que a sua implementação aumenta a utilidade das máquinas e o retorno do investimento nas mesmas. Permite ainda que sejam impostas melhorias ao nível do desempenho e da tomada de decisão.

Por conseguinte, a aplicação destas 10 tecnologias fomenta transformações nas atividades diárias das organizações. A evolução do **processo de simulação** tradicional para os *Digital Twins*, por exemplo, resulta da combinação de tecnologias como a realidade aumentada e a inteligência artificial com a recolha e análise de dados em tempo real. Permite, além da tradicional representação virtual de produtos ou processos, que estes interajam em detalhe com o mundo real a fim de

garantirem maior operabilidade e eficiência. Deste modo, a realidade é simulada e avaliada em ambientes onde são considerados todos os dados, determinantes e variáveis do mundo real. Deixa de ser necessário despende-se de tempo e recursos para testar opções não-viáveis, encurtando-se ciclos de produção e criando-se oportunidades de negócio novas. De referir ainda o **processo de modelação 3D** - que retrata o ato de construir um modelo e imitar o seu comportamento –, uma vez que o modelo resultante deste processo serve de base para a simulação, que o utiliza para estudar o comportamento e desempenho do sistema modelado.

Em suma, a Indústria 4.0 caracteriza-se pela aplicação holística destas tecnologias nos processos organizacionais, fomentando assim uma gestão ágil, com processos mais eficientes, capazes de gerar produtos diferenciadores e de valor acrescentado. Não obstante, esta mudança vai requerer sustentação por parte de todos os intervenientes da cadeia, desde a organização e os seus colaboradores, aos fornecedores e distribuidores.

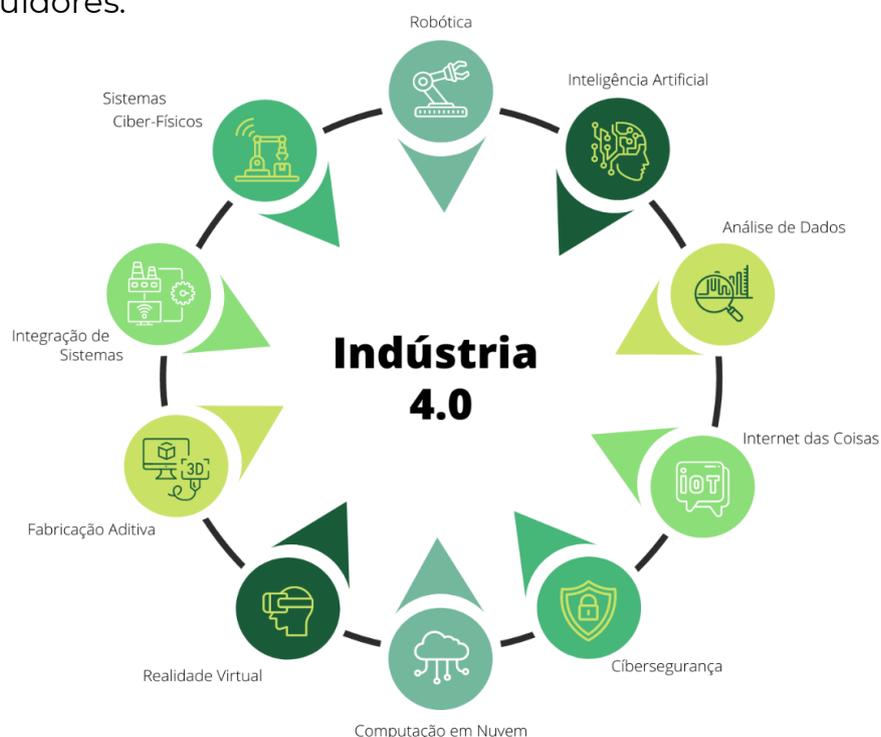


Figura 10: Principais pilares tecnológicos de Indústria 4.0 (Fonte: Elaboração própria)

Fontes:

Kearny. The state of Industry 4.0. A brave new world for manufacturing. <https://www. Kearney.com/operations-performance-transformation/article/?/a/the-state-of-industry-4.0-article> (visitado fev. 2022)

PwC (2016). Construir a empresa digital. PwC "Global Industry 4.0". Vol.1. www.pwc.pt/pt/temas-actuais/2016/pwc-industria-40.pdf (visitado jan. 2022)

Gökalp, Ebru & Sener, Umut & Eren, P.. (2017). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. 128-142. 10.1007/978-3-319-67383-7_10.

Piccarozzi M, Aquilani B, Gatti C. Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. Sustainability. 2018; 10(10):3821. <https://doi.org/10.3390/su10103821>

Andrea Ciffolilli & Alessandro Muscio (2018) Industry 4.0: national and regional comparative advantages in key enabling technologies, European Planning Studies, 26:12,2323-2343, DOI: 10.1080/09654313.2018.1529145

Alessandro Muscio & Andrea Ciffolilli (2020) What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects, Economics of Innovation and New Technology, 29:2, 169-183, DOI: 10.1080/10438599.2019.1597413

Frank, Alejandro & Dalenogare, Lucas & Ayala, Néstor. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics. 210. 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

Dalenogare, Lucas & Benitez, Guilherme & Ayala, Néstor & Frank, Alejandro. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics. 10.1016/j.ijpe.2018.08.019.

Kumar, Ravinder & Singh, Rajesh & Dwivedi, Yogesh. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. Journal of Cleaner Production. 275. 124063.

Dalenogare, Lucas & Benitez, Guilherme & Ayala, Néstor & Frank, Alejandro. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics. 10.1016/j.ijpe.2018.08.019.

Lee, Jay & Davari, Hossein & Singh, Jaskaran & Pandhare, Vibhor. (2018). Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. Manufacturing Letters. 18. 10.1016/j.mfglet.2018.09.002.

Peres, Ricardo & Jia, Xiaodong & Lee, Jay & Sun, Keyi & Colombo, Armando & Barata, J.. (2020). Industrial Artificial Intelligence in Industry 4.0 - Systematic Review, Challenges and Outlook. IEEE Access. 8. 220121 - 220139. 10.1109/ACCESS.2020.3042874.

Gilchrist, Alasdair. (2016). Industry 4.0. 10.1007/978-1-4842-2047-4.

Indusmelec. Cibersegurança na Indústria 4.0. (2017)

IBM. What is a digital twin <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (visitado março 2022)

3. CRIAÇÃO DE VALOR NA INDÚSTRIA 4.0

Inegavelmente, a implementação de iniciativas de Indústria 4.0 concede novas oportunidades para as empresas. A criação de valor surge como resultado das inovações tecnológicas nos processos, produtos e pessoas.



Figura 11: Áreas de criação de valor na Indústria 4.0 (Fonte: Elaboração própria)

Por um lado, tanto a automatização como a digitalização dos processos através da aplicação de novas **tecnologias** aumentam a eficiência da produção ao garantirem que qualquer falha ou irregularidade é antecipada e solucionada sem criar constrangimentos operacionais, tais como paragens de produção.

Esta análise preditiva só é exequível graças à recolha e análise de *big data* e à autonomia dos processos, características de Indústrias 4.0. Os estudos analíticos auxiliam na tomada de decisão informada e estratégica, enquanto por sua vez as máquinas automaticamente se ajustam consoante a informação recebida de forma a garantir a resolução de imprevistos em tempo real.

Consequentemente, a redução de falhas e paragens de produção impulsionam um aumento na produtividade das fábricas, permitindo que as empresas, por exemplo, diminuam o seu tempo de entrega.

Esta rapidez é chave nos dias de hoje, em mercados voláteis, incertos, complexos e ambíguos. O acrónimo VUCA, proveniente das palavras inglesas *volatility*, *uncertainty*, *complexity* e *ambiguity*, descreve precisamente este contexto atual, onde é imprescindível que os processos sejam capazes de entregar rápido e com valor, antes que as propostas se tornem obsoletas. Como tal, as iniciativas de Indústria 4.0, como é o caso da robótica reconfigurável, viabilizam a fácil adaptação dos processos de produção, permitindo que a mesma linha seja flexível e assim capaz de produzir várias saídas ou de se ajustar a súbitas alterações do mercado.

Além disso, as iniciativas de Indústria 4.0 promovem sinergias na empresa pois consideram os processos como um todo, em vez de se cingirem e preocuparem com uma só fase em particular. Esta visão sinóptica das atividades, auxilia a integração e conexão entre o mundo real e o mundo digital, enquanto simultaneamente resulta na integração horizontal e vertical de todos os processos.

Por sua vez, esta integração auxilia na tomada de decisões mais informada, pois é recolhida e disponibilizada informação em tempo real tanto quanto ao estado dos processos internamente como de fatores externos e relacionados com a envolvente. É assim possível conduzir verificações ao estado de produção atual, face aos níveis de procura e fornecimento existentes.

Este processo de recolha, estudo analítico e decisão é potencializado por *big data* recolhido através de sensores no processo produtivo. Deste modo, aumenta-se também a interoperabilidade e conectividade dos processos, garantindo um aumento da utilidade e do aproveitamento das máquinas existentes.

Também os **produtos** geram valor acrescentado face às iniciativas de Indústria 4.0, pois potencia-se a possibilidade de estes serem mais inovadores, pioneiros no mercado e inclusive capazes de integrar soluções digitais. Como consequência do aumento de eficiência dos processos e redução de falhas, estes são tendencialmente produtos com maior controlo e garantia de qualidade, garantindo a satisfação dos consumidores quanto a estes critérios.

Potencia-se ainda um aumento da versatilidade do portefólio de produtos graças às tecnologias de fabricação aditiva que agilizam e facilitam a customização de produtos sem a necessidade de estes serem produzidos em massa.

Já com respeito às **peçoas**, na Indústria 4.0, estas são a personificação dos ganhos nas receitas, nos custos e na eficiência pois são as pessoas dentro da organização que combinam esforços para se atingirem esses resultados. Por este motivo considera-se que também as pessoas potenciam a criação de valor em Indústria 4.0.

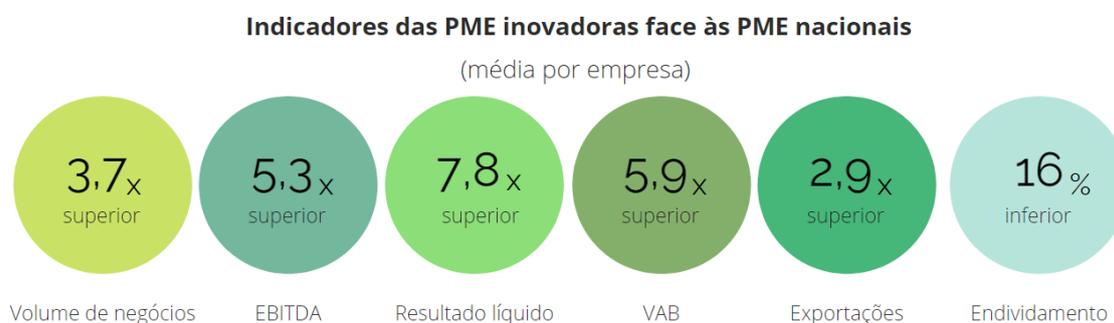
A capacidade de tomarem decisões mais informadas e sustentáveis permite-lhes garantir maior margem no portefólio de produtos e serviços que oferecem. Graças às iniciativas de Indústria 4.0, os colaboradores têm acesso a *benchmarking* sobre preços, níveis de procura e características dos seus clientes, moldando as suas estratégias e decisões futuras de acordo com esta informação. Potenciam-se vantagens competitivas face aos concorrentes e a possibilidade de conquistarem maior quota de mercado. Por adotarem processos mais sustentáveis, reduzem gastos desnecessários com matéria-prima para produção excessiva, otimizando a sua *performance* financeira e operacional e melhorando a sua gestão de inventário.

Com processos otimizados, beneficia-se de oportunidades de entrada rápida no mercado; a consequente redução de custos face a aumentos de eficiência e produtividade potencia maiores margens e elasticidade

nas decisões dos respetivos preços de venda; os níveis elevados de qualidade potenciam o reconhecimento e a boa reputação do negócio no mercado, face à concorrência; conquista-se satisfação tanto do cliente como do consumidor final.

Finalmente, a Indústria 4.0 garante maior segurança e confiança digital para toda a organização e os seus intervenientes, bem como a incorporação de novas habilidades e conhecimentos. As pessoas são o motor da mudança e a formação conduzida para esse efeito vem enriquecer a mão de obra e potencializar oportunidades de inovação e continuidade de crescimento no futuro. Por tudo isto, são evidentes as oportunidades de criação de valor associadas a iniciativas de Indústria 4.0, tendo já sido realizadas análises quantitativas para estimar o seu impacto real (Figura 12).

De forma semelhante, estudos realizados em Portugal apuram que, tendencialmente, as empresas mais inovadoras apresentam melhores resultados que as restantes PME e empresas. A título de exemplo, de uma amostra inquirida em 2015, as empresas mais inovadoras apresentaram em média um EBITDA superior em 1,38 milhões de euros e um VAB superior em 3,88 milhões de euros, face às restantes PME. A figura que se segue sintetiza os ganhos destas empresas inovadoras, face à amostra global, evidenciando as oportunidades existentes para as empresas que perspetivam investir em Indústria 4.0.



Fonte: COTEC, 2020 (adaptado)

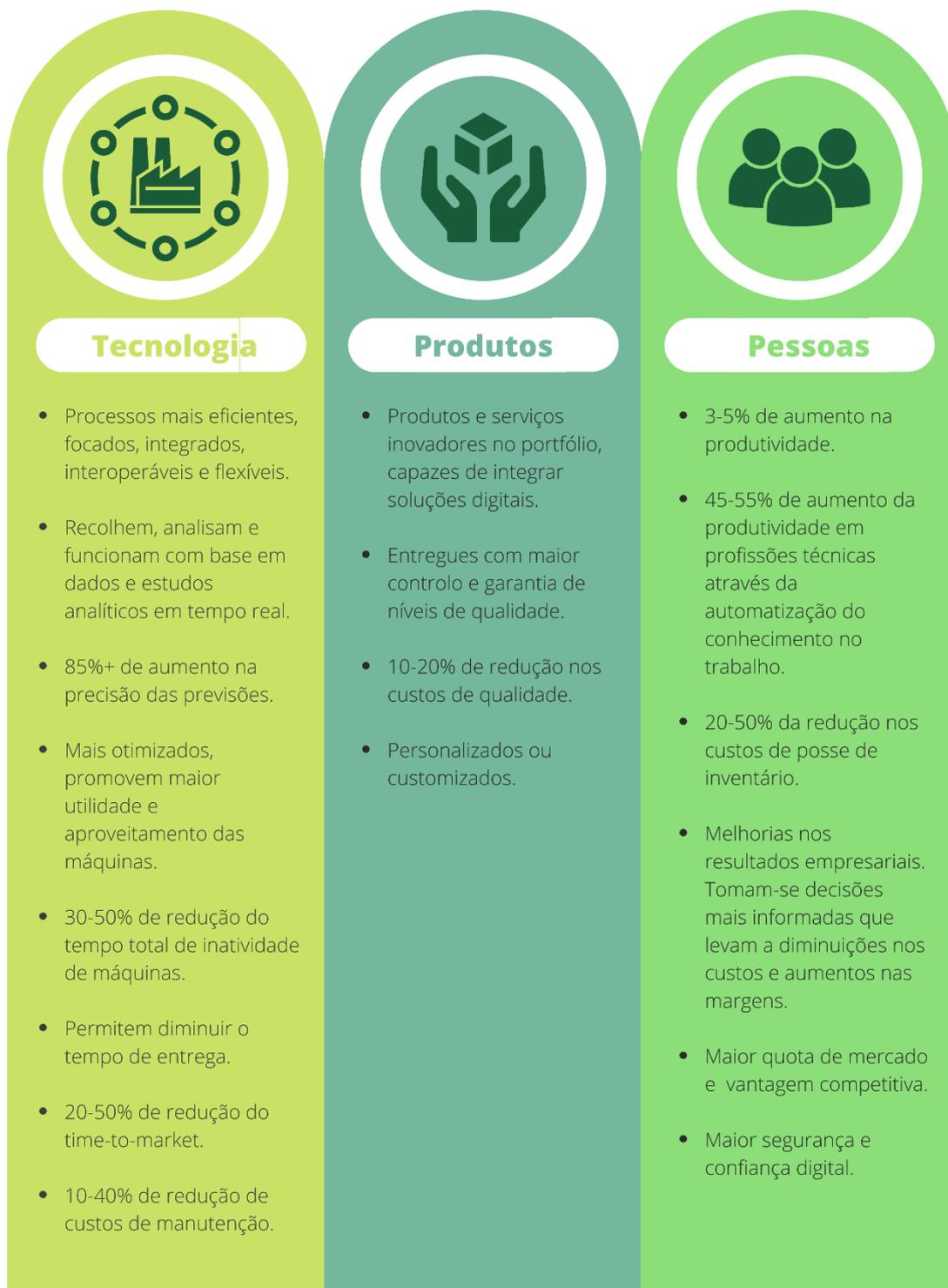


Figura 12: Oportunidades de criação de valor na Indústria 4.0

Adaptado de: Cf. McKinsey Global Institute: *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*; McKinsey analysis; McKinsey analysis; Cf. McKinsey Global Institute: *Disruptive Technologies*; Cf. T.Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion/ Automatisierung/Logistik* (2014)

Estima-se que, de todas as oportunidades associadas à Indústria 4.0, a eficiência de produção, eficiência de recursos e vantagem competitiva sejam as que maior peso detêm na decisão de investimento. Tal afirmação deve-se ao facto de estas alavancas impulsionadoras da

implementação de transformação digital serem, em média, os principais fatores de decisão das PME que, até ao início do ano 2022, haviam realizado investimento em iniciativas de Indústria 4.0.

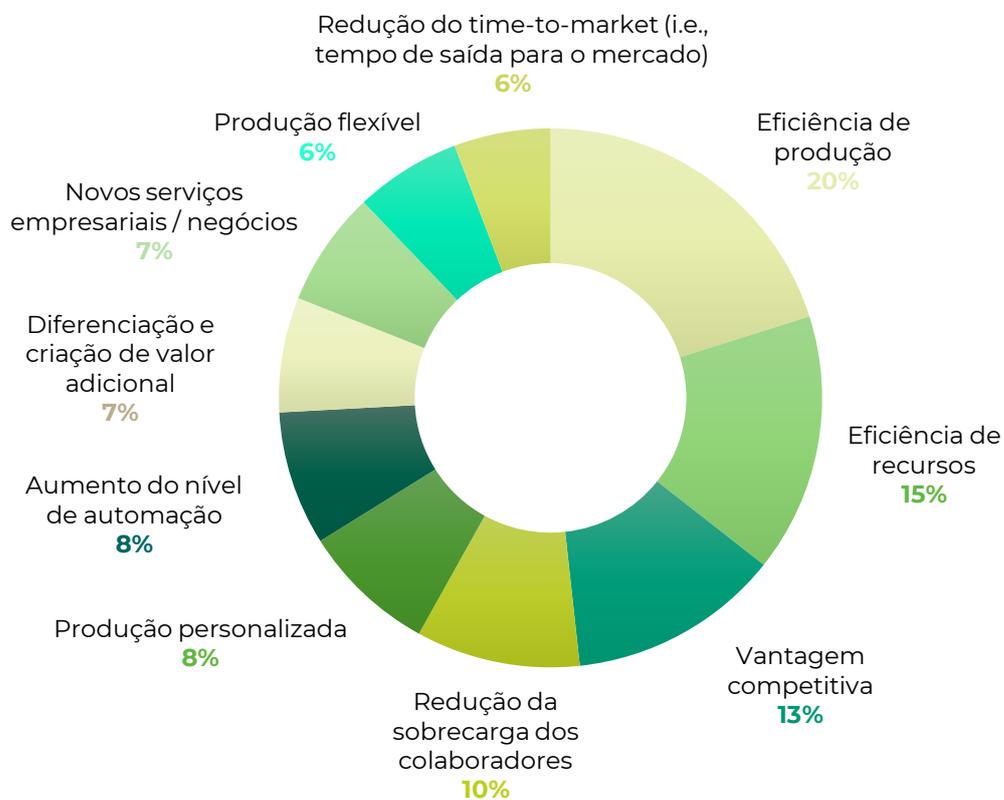


Figura 13: Somatório das principais oportunidades esperadas pelas PME portuguesas com o investimento realizado em I4.0 (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Não obstante, o mesmo estudo sugere que, apesar das evidentes vantagens associadas à implementação de iniciativas de Indústria 4.0, existe uma tendência, por parte das PME do setor industrial, para menosprezarem estas oportunidades. Quer isto dizer que, em média, as empresas esperam alcançar menos do que o valor que lhes é atingível com o investimento. Este revelou ser o caso com as empresas que realizaram investimento em Indústria 4.0 e que não previram todo o potencial associado ao seu compromisso, tendo posteriormente verificado alcançar mais oportunidades do que as que haviam inicialmente conjecturado. Este foi o caso com oportunidades como o aumento do nível de automação e a capacidade de personalização da

produção, cujas empresas, em média, não esperavam alcançar e verificaram posteriormente ter conseguido.

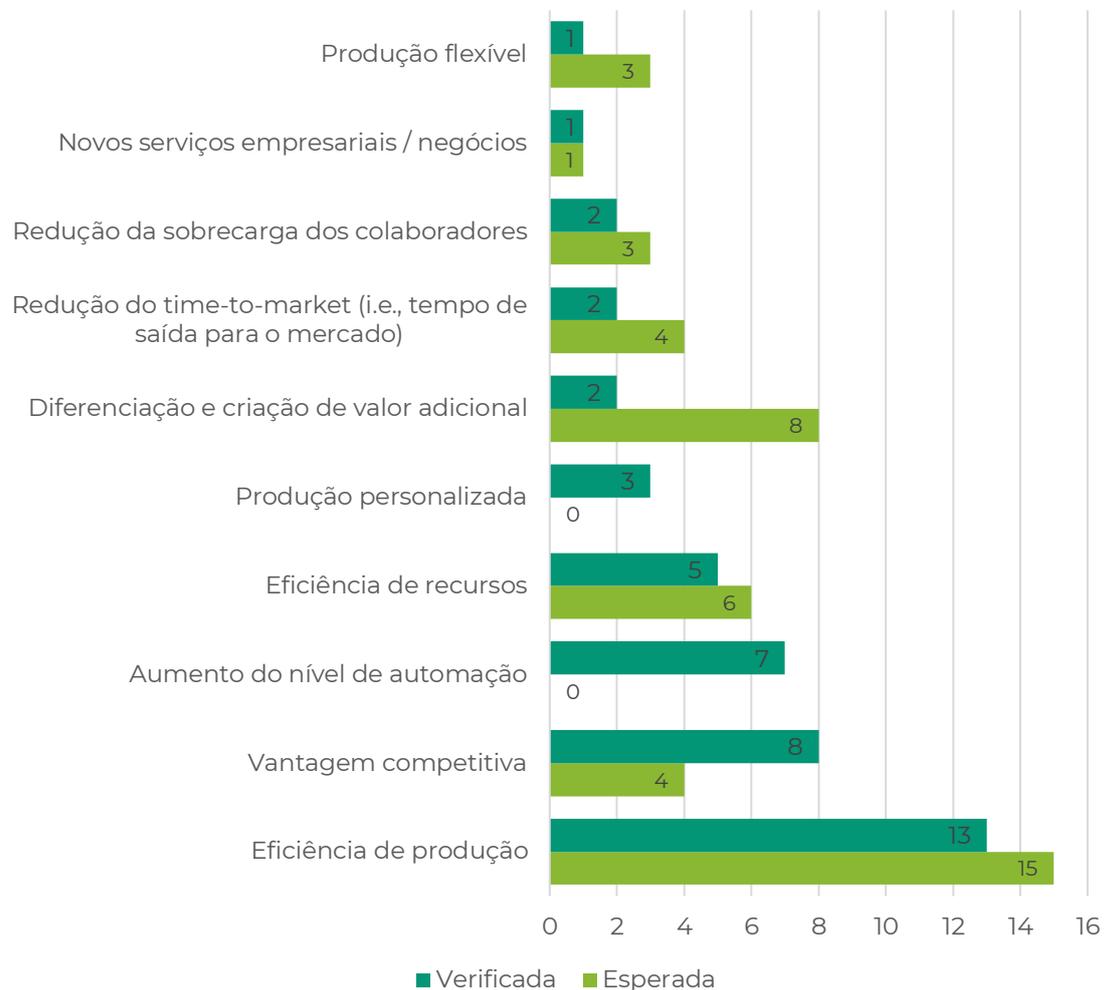


Figura 14: Comparação entre as principais oportunidades esperadas e as verificadas com o investimento realizado em I4.0 (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Por este motivo, torna-se essencial que as PME reconheçam o verdadeiro potencial das iniciativas de Indústria 4.0 nas suas atividades industriais. Para tal, é necessário que estas sejam elucidadas quanto às noções práticas e aplicações transversais dos pilares tecnológicos de Indústria 4.0, compreendendo-se assim a forma como podem ser utilizadas para obter vantagem competitiva e criação de valor.

Fontes:

PwC (2016). Construir a empresa digital. PwC “Global Industry 4.0”. Vol.1. www.pwc.pt/pt/temas-actuais/2016/pwc-industria-40.pdf (visitado jan. 2022)

COTEC (2020). Destino: Crescimento e Inovação. O impacto da inovação na *performance* económico-financeira das PME e no seu crescimento.

Pereira, A. et. al., (2021) A Indústria 4.0 em Portugal – O Estado da arte. ISCTE Business School.

4. APLICAÇÕES TRANSVERSAIS

As diversas vertentes tecnológicas da Indústria 4.0 mencionadas caracterizam-se pelas suas distintas aplicações em contexto industrial. De um modo transversal, é possível implementar as mesmas tecnologias em empresas pertencentes a segmentos diferentes da indústria transformadora. Apesar de cada indústria possuir as suas características singulares, existem vários fatores comuns que as unem enquanto integrantes do setor industrial. Por este mesmo motivo, é possível e pertinente identificar as diversas aplicações das várias tecnologias, para fins iguais ou distintos, consoante o tipo de indústria considerada e a vantagem competitiva pretendida. É, portanto, fulcral que cada indústria obtenha e consolide o seu conhecimento quanto às tecnologias I4.0 que possuem a capacidade de criar valor no seu negócio, identificando aquelas cuja implementação será potencialmente benéfica. Este capítulo demonstra assim uma visão ampla de diferentes possíveis aplicações dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0, através da sintetização de exemplos e casos de estudo reais, atuais e relevantes ao tema.

Neste capítulo, apresentam-se ainda análises à taxa de utilização de cada tecnologia I4.0 dentro de cada indústria transformadora, sendo os dados provenientes de um estudo realizado em 2022 a uma amostra de PME industriais portuguesas. Os resultados do estudo vão de encontro com a revisão de literatura realizada, comprovando a transversalidade das aplicações das tecnologias I4.0 e demonstrando em quais indústrias cada uma destas tecnologias possui carácter mais relevante.

Robótica na fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis

A aplicação da robótica industrial na fabricação de veículos automóveis está intrinsecamente associada à flexibilização da produção, automatização de processos e visão de melhoria contínua. Os robôs são comumente introduzidos nas linhas de produção para auxiliar os colaboradores no desempenho de funções e permitir um aumento de produtividade da linha e diminuição de tempos de ciclo.

A Volkswagen Autoeuropa representa um caso de sucesso em Portugal em termos de investimento em inovação e transformação digital para a otimização das suas atividades industriais. Valoriza a inovação, conduzindo diversos projetos no contexto de tecnologias I4.0 com recurso à cooperação entre parceiros de negócio, universidades nacionais e internacionais e *start-ups* nacionais.

A empresa já investiu no desenvolvimento interno de diversos robôs com características únicas, específicas e direcionadas às atividades a desempenhar no âmbito do fabrico de veículos automóveis. O grupo incentiva mudanças para a adaptação ao paradigma tecnológico contemporâneo e, em Portugal, implementou projetos ainda não instaurados noutras fábricas do grupo, nomeadamente na área do bicolor da pintura. Nesta área, em 2019, foi desenvolvida e introduzida uma transformação que permitiu alterar uma tarefa manual árdua para completamente automatizada, recorrendo a um robô com uma ferramenta que permite aplicar fita homogeneamente no veículo. Assim, descartou-se a necessidade de o colaborador recorrer à força para desempenho desta função. Várias equipas e profissionais – maioritariamente inseridos na área da pintura – estiveram envolvidos na programação das trajetórias de aplicação dos robôs e no desenvolvimento dos dispositivos que fazem a ligação entre o robô e a

aplicação. Esta mudança permitiu alcançar benefícios ao nível ergonómico e produtivo, bem como motivar e unir as equipas.

Para a Volkswagen Autoeuropa, a automatização de processos possui extrema importância na linha de produção, tendo este projeto sido considerado uma oportunidade indubitável de crescimento. Desde a instalação dos primeiros robôs para a automatização desta tarefa, foram instalados em 2020 mais dois e, estão, até à data presente, em desenvolvimento dois adicionais, um dos quais para identificação automática de falhas.

Nos anos de 2019 e 2020, visando aumentar a capacidade de produção na área de carroçarias de 32 para 45 unidades por hora e atingir o tempo de ciclo necessário para tal, foram efetuadas diversas intervenções nas linhas e instalados vários equipamentos, entre os quais 141 robôs que garantiram o alcance do objetivo estipulado.

Adicionalmente, encontram-se de momento um total de 23 robôs de aplicação automática de vedante, tarefa necessária para conferir proteção, isolamento e uma estética mais apelativa ao produto. A introdução da robótica permitiu modernizar os processos descritos e assegurar uma maior precisão e eficiência dos processos, garantindo um nível de qualidade superior, melhores condições ergonómicas para os colaboradores envolvidos e redução de impactos financeiros e ambientais.

De acordo com o estudo realizado às PME portuguesas, a robótica industrial representa uma das 7 tecnologias cujo valor médio da taxa de utilização no setor da fabricação de veículos automóveis é o mais elevado, face às restantes indústrias transformadoras. Analisando este valor, é possível inferir que 100% das PME portuguesas inquiridas e inseridas no setor de fabricação de veículos automóveis investem em robótica para desempenho das suas atividades industriais. O estudo efetuado permite ainda constatar que a robótica detém ainda extrema

importância nos setores industriais de fabricação de máquinas e equipamentos (60%) e de fabricação de produtos farmacêuticos de base (50%).

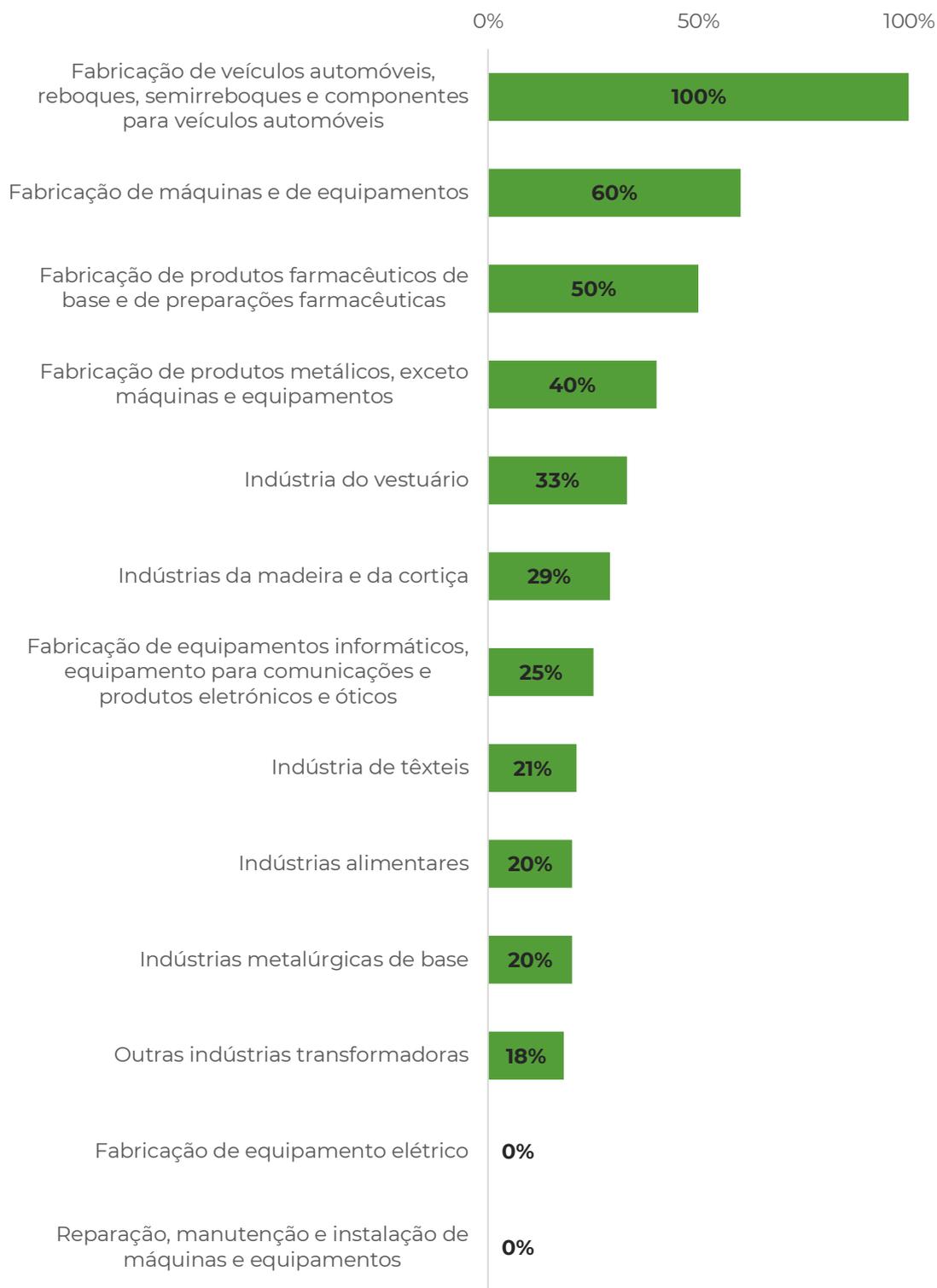


Figura 15 - Aplicação da Robótica nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Inteligência artificial na fabricação de equipamentos informáticos, equipamento para comunicações e produtos eletrônicos e óticos

A inteligência artificial é transversal e encontra-se firmemente presente em diversas áreas distintas, possuindo um papel preponderante na modernização da produção e do aproveitamento tecnológico.

A Bosch acompanha a transformação digital com foco na melhoria contínua e maximização de valor dos seus sistemas de produção e logística, assegurando cadeias de valor inteligentes e digitalizadas, livres de desperdício. Numa conferência interna, Michael Bolle, membro do conselho de administração da Bosch afirmou que a partir de 2025, todos os produtos Bosch vão incluir inteligência artificial, quer no próprio produto quer no processo de criação e desenvolvimento do mesmo.

Um dos principais objetivos da Bosch traduz-se assim em tornar-se líder em inovação da inteligência artificial, providenciando programas de treino abrangentes para os seus colaboradores com o intuito de garantir o simultâneo investimento na inteligência humana e na soberania da mesma ao nível de controlo e segurança.

Como parte da visão de garantir a incorporação de IA no processo produtivo, em 2021, a Bosch desenvolveu uma solução destinada à deteção de anomalias e avarias na fase inicial de processos de fabrico, possibilitando assim a elevação do nível de qualidade dos seus produtos e a diminuição do número de peças não conformes no final da cadeia produtiva. O plano baseou-se na implementação desta solução em 50 fábricas a nível mundial (prevendo-se estender posteriormente para as 190 restantes), que englobam cerca de 800 linhas de produção. Como parte do projeto piloto de implementação, uma das unidades produtivas do grupo conseguiu eliminar

perturbações nos fluxos processuais e diminuir os tempos de ciclo das linhas de produção em 15%.

A solução em causa é auxiliada por outros sistemas Bosch e permite que a IA faça recomendações aos colaboradores na linha de montagem, recorrendo a *dashboards* configuradas de acordo com dados analisados na linha e permitindo assim indicar visualmente ao colaborador como deve proceder, atuando meramente como uma recomendação e não retirando o poder de decisão ao colaborador.

Outro modo de aproveitamento da IA no contexto produtivo retrata a utilização de câmaras estrategicamente posicionadas nas linhas de produção, permitindo assim a monitorização dos processos, identificação de defeitos em tempo útil, previsão de falhas iminentes – i.e., manutenção preditiva - e a comparação com padrões previamente aprendidos relativamente aos procedimentos preconizados. Este projeto requereu do grupo Bosch um investimento de 500 milhões de euros, contudo, foi estimado que este se traduzirá numa poupança de 2 mil milhões de euros até 2025.

Sabe-se ainda que a empresa também pretende tirar proveito da experiência e do *know-how* tecnológico adquirido na introdução deste projeto e desenvolver novas tecnologias de IA para a produção.

Atualmente, a Bosch planeia não só reduzir produtos não conformes com a IA, como também otimizar a sua produção e melhorar a utilização dos seus recursos. Um dos sistemas que já se encontra em vigor para este efeito é a inspeção visual automatizada de peças e *softwares* baseados na gestão inteligente da produção.

Além do mais, a Bosch utiliza ainda a inteligência artificial para a redução do impacto ambiental, detetando desvios no consumo de energia através de uma plataforma de energia interna com um algoritmo inteligente. Esta deteção inteligente permitiu até ao

momento a redução de emissões de CO2 em mais de 10% em dois anos em algumas unidades do grupo.

Deste modo, é demonstrado que o recurso a inteligência artificial permite tornar as fábricas mais eficientes, mais produtivas e mais ecológicas – contribuindo simultaneamente para uma relevante redução de custos e melhoria contínua dos produtos e serviços.

Analisando os dados provenientes do estudo às PME portuguesas, comprova-se que o subsetor analisado neste tópico é aquele que possui maior taxa de utilização de IA pelas PME (50%), comparativamente às restantes indústrias. Comprova-se que a IA é também, em média, bastante utilizada nos setores de fabricação de máquinas e equipamentos (40%) e indústria do vestuário (33%).



Figura 16 - Aplicação da Inteligência Artificial nas diversas indústrias transformadoras
(Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Análise de dados na indústria alimentar

A análise de dados no contexto industrial, também conhecida por *Big data*, demonstra-se pertinente para reunir e agregar rapidamente um grande volume de informação relevante à empresa. Trata-se de um processo contínuo que assegura uma maior eficiência produtiva e uma melhor previsão do comportamento de consumidores e consequente descoberta de oportunidades de crescimento e mitigação de riscos.

Representa um conjunto de dados complexos (estruturados e não estruturados) cuja dimensão impede a sua análise por parte de sistemas de recolha e processamento convencionalmente utilizados pela indústria. Pode ser segmentada em 5 grandes dimensões, comumente designadas de 5V's: volume, velocidade, variedade, variabilidade e veracidade, esclarecidos na seguinte figura.

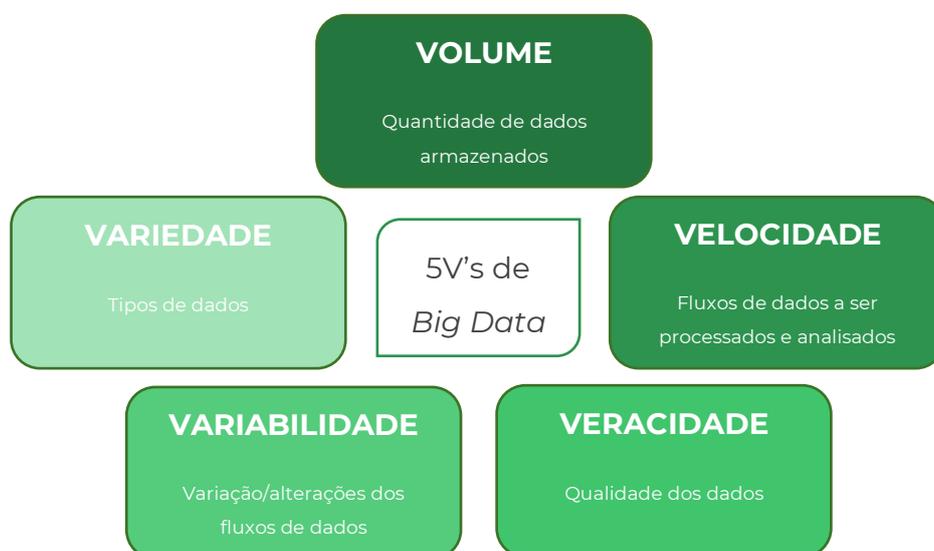


Figura 17 - Os 5V's da Análise de dados (*Big data*). (Fonte: Elaboração própria)

Na indústria alimentar a utilização da tecnologia de análise de dados revela-se vantajosa em diversos níveis, abrangendo uma vasta gama de potenciais aplicações para o desenvolvimento do negócio e melhoria da produção.

Os alimentos representam nada menos do que uma componente essencial da vida e da economia global, tornando-se benéfico utilizar estratégias I4.0 para conseguir recolher, analisar e aproveitar eficientemente dados obtidos em toda a cadeia de valor. Diversas empresas neste setor recorrem à análise de dados para dimensionar inventário, aumentar o volume de negócios, reduzir custos, melhorar o controlo da qualidade, reduzir desperdícios e poupar recursos. Independentemente da dimensão da empresa, esta pode beneficiar imensamente da recolha de informação valiosa presente na sua rede.

A Danone é uma organização reconhecida mundialmente pela qualidade dos seus produtos. Em termos de inovação, tomou a decisão de investir na análise de dados, tendo os resultados sido extremamente vantajosos em termos de cruzamento de informações sobre rotas de distribuição, tempo de entrega e prazo de validade. A análise de dados foi empregue nesta organização em três aplicações distintas:

- Possibilitar a previsão do volume de consumo para um produto com vida útil curta;
- Permitir uma mais fácil reposição de inventário, evitando desperdícios de produtos;
- Recolher e analisar informação relativa ao cliente final, de modo a prever os seus comportamentos e entender os seus padrões, compreendendo também, por exemplo, como esse comportamento é afetado por campanhas promocionais da concorrência.

Com a aplicação destas medidas ligadas à análise de dados, a Danone conseguiu modernizar a sua estratégia de logística e produção. O aumento de precisão no planeamento foi assim incrementado de 75% para 98% e o volume de negócios de um dos produtos de vida útil curta – iogurte grego – foi triplicado. Deste modo, foi possível aumentar as vendas e o lucro e reduzir os custos, constatando-se o quão determinante a análise de dados pode ser na criação de valor. Esta

tecnologia permitiu resolver o desafio de produzir e distribuir os produtos no menor tempo possível, considerando o seu curto prazo de validade. Assim todo o processo foi otimizado e criaram-se melhores previsões de procura com a integração de dados históricos, regionais e de mercado.



Figura 18 - Aplicação de Análise de dados nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Os dados resultantes do estudo às PME portuguesas no âmbito da aplicação de análise de dados nas indústrias, permitem inferir que 40% das indústrias alimentares inquiridas utilizam esta tecnologia. É

comprovada a transversalidade e presença desta em termos de aplicação nas diversas indústrias transformadoras consideradas.

Internet das Coisas (IoT) na fabricação de equipamento elétrico

A internet das coisas (IoT) no contexto industrial é designada de “*Industrial Internet of Things*” (IIoT). Esta tecnologia permite conectar dispositivos e aplicações para automatizar, otimizar e gerir processos industriais nas suas mais variadas vertentes.

A *Internet of Things* (IoT) pode ser aplicada a diversos dispositivos, desde eletrodomésticos a veículos autónomos. O conceito inclui aplicações industriais, mas não é limitado por estas. A IoT Industrial difere em diversos aspetos do conceito original, focando-se em aplicações industriais com o objetivo de melhorar processos produtivos e reduzir custos, reduzindo a dependência e necessidade de intervenção humana. Quando utilizado corretamente demonstra a capacidade de impactar o crescimento da empresa e aumentar a sua vantagem competitiva. O *World Economic Forum* estima que a Internet Industrial das Coisas sozinha pode representar 14 triliões de dólares em valor económico na economia global até 2030. Este fórum identifica a IoT como a maior potenciadora da transformação digital. Apesar de ainda se encontrar em fase de exploração em muitas empresas, considera-se que se tornará indispensável num curto espaço de tempo.

Em 2021, de acordo com dados do Eurostat, 18% das empresas na União Europeia detinham dispositivos permanentemente ligados à internet. Porém, no mesmo ano, a utilização de IoT nas empresas portuguesas encontrava-se ainda abaixo da média europeia, alcançando apenas 13%.

Internacionalmente, um exemplo de sucesso no setor elétrico ao nível da aplicação inovadora de IIoT é a Siemens, revelando-se uma líder na

indústria e pioneira nesta tecnologia. Fundou, em 2019, uma unidade dedicada a serviços IoT que auxilia outras organizações a implementar soluções para a sua transformação digital. Internamente, a Siemens desenvolveu a sua própria solução IoT industrial designada de *MindSphere*, um sistema operativo IoT baseado na computação em nuvem, que permite conectar produtos, espaços, sistemas, máquinas e equipamentos a uma localização centralizada onde são recolhidos, processados e analisados dados (através do também desenvolvido internamente *software* e *hardware MindConnect*). A Siemens comercializa esta solução, demonstrando vários casos de sucesso em diversos setores em prol da implementação desta. Um destes casos é referente à Rittal, um dos maiores fornecedores de sistemas no setor da energia, que devido à utilização da *MindSphere* conseguiu reduzir o seu consumo de energia e a sua pegada de carbono em mais de 75%, utilizando também a plataforma para monitorizar constantemente a produção e realizar manutenção proativa.

A Siemens entende que o valor acrescentado proveniente da adoção de tecnologia IoT é a utilização de uma avançada análise de dados e *machine intelligence*. Aplicações que sejam geridas em plataforma IoT e alimentadas por dados recolhidos por dispositivos da fábrica resultam em mais informação disponível para os colaboradores, sendo esta apresentada de uma maneira fácil de interpretar e entender para uma tomada de decisões mais eficaz.

É ainda defendido que uma mudança completa para um negócio orientado e habilitado por IoT, consiste em diversas fases baseadas no desenvolvimento de uma estratégia, idealização do uso prático da tecnologia e a prototipagem do *proof-of-concept* até ao desenho da solução e conexão entre dispositivos, incluindo a adaptação de sistemas existentes e integração destes para um sistema maior e mais completo. Na sua essência, uma implementação bem-sucedida depende da análise e aproveitamento dos dados recolhidos pelos

dispositivos e de um modelo de negócios adaptado a IoT. A operação e manutenção desta tecnologia é uma atividade contínua após a sua implementação técnica, ao mesmo passo que uma mudança adequada na gestão e aplicação de conceitos de cibersegurança revelam-se também essenciais desde o início e no decorrer de todo o processo. É assim recomendado que a organização possua uma visão clara da sua estratégia de transformação digital antes de iniciar a implementação de IoT.

No setor elétrico, a IIoT permite criar valor em diversas áreas, possibilitando, por exemplo, aumentar a eficiência de manutenção preditiva, reduzindo *down-times* nas fábricas ou em sistemas de transporte e permitindo, conseqüentemente, o decréscimo de riscos e de custos. Nesta ótica é possível detetar o funcionamento ótimo de um equipamento e a manutenção pode assim ser efetuada antes da falha ocorrer, evitando-se assim paragens não planeadas ou falhas com custo elevado e riscos associados. Outra aplicabilidade é referente ao acesso a informação em tempo real sobre consumo de recursos – quer seja eletricidade a movimentar-se por redes elétricas, gás a fluir por tubos ou material fabril e inventário. Possibilita-se aplicar os recursos à medida que são necessários, bem como identificar fugas e falhas, reduzindo ou até mesmo eliminando os desperdícios. Em virtude da aplicação desta tecnologia, torna-se acessível remodelar todo o modo de operação do negócio em causa.

Em Portugal, no setor da energia, a Efacec Power Solutions representa também um exemplo em termos de inovação e investimento em I4.0 e pretende elevar a transformação digital no setor em que está inserido. Em 2020, desenvolveu um estudo com o objetivo de criar de um Centro de Competências especializado em TI para plataformas IoT de elevada flexibilidade, escalabilidade e resiliência.

Segundo os dados do estudo de 2022 exibidos no seguinte gráfico, 33% das PME portuguesas inquiridas e inseridas no setor de fabricação de

equipamento elétrico possuem atividades no âmbito IoT. Consta-se também a transversalidade desta tecnologia pela sua presença nos mais diversos setores industriais.



Figura 19 - Aplicação de Internet das Coisas nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Cibersegurança na fabricação de máquinas e equipamentos

Com o crescimento dos riscos cibernéticos, a incorporação de cibersegurança por parte das indústrias revela-se um fator determinante para uma empresa manter segurança e competitiva numa economia cada vez mais global.

Para qualquer empresa, independentemente da sua dimensão, entende-se como essencial deter uma estratégia sólida de cibersegurança bem consolidada em toda a organização, pois nenhuma empresa se encontra livre do risco de ser alvo de um ataque. A aplicabilidade desta tecnologia recai na proteção e segurança da organização, permitindo a mitigação de riscos, preparação para eventuais ciberataques e recuperação rápida e eficaz, diminuindo o impacto de eventuais danos causados. A melhoria contínua dos procedimentos de segurança informática, a deteção de vulnerabilidades e a formação adequada de todos os colaboradores possui também imensa relevância na diminuição dos riscos de uma indústria face a ataques. A aplicabilidade em termos práticos na produção dentro da fabricação de máquinas e equipamentos poderá ocorrer ao nível de, por exemplo, bloqueio imediato de tráfego de rede, acesso restrito a dispositivos e proteção encriptada em tempo real.

Um dos maiores desafios à cibersegurança é, neste momento, a própria Indústria 4.0, devido à fácil e acessível partilha de informação através da internet. Os pilares que qualquer Indústria 4.0 deve garantir em termos de segurança são a confidencialidade, a integridade e o acesso, sendo que uma falha em qualquer um destes pilares pode comprometer a segurança do sistema industrial em causa.

A cibersegurança é muitas vezes uma questão cultural da empresa, tornando-se necessário que a liderança priorize e invista nesta, que todos os colaboradores entendam que se trata de um processo

contínuo e que este mesmo é da responsabilidade de todos os envolvidos.

Um caso de sucesso em Portugal na Indústria 4.0 é a JPM Indústria, pertencente ao setor de fabricação de máquinas e equipamentos. A organização conseguiu alcançar uma gestão flexível e integrada, assente em processos automatizados e otimizados. Mais concretamente ao nível da cibersegurança, em 2019, foi considerada pela empresa de segurança informática SOPHOS (*Leader on Gartner's Magic Quadrant*) como um caso de sucesso devido à sua estratégia de segurança e fatores que a distinguem face a outras organizações no âmbito da cibersegurança.

Em termos de análises realizadas no contexto da cibersegurança, é possível comprovar, tendo em conta o estudo realizado às PME portuguesas, que 40% das indústrias com atividades na fabricação de máquinas e equipamentos utilizam esta mesma. Trata-se assim de uma tecnologia transversal a todos os setores, uma vez que se comprova a sua presença em quase todos, ainda que não seja utilizada em todas as PME dentro desses setores.

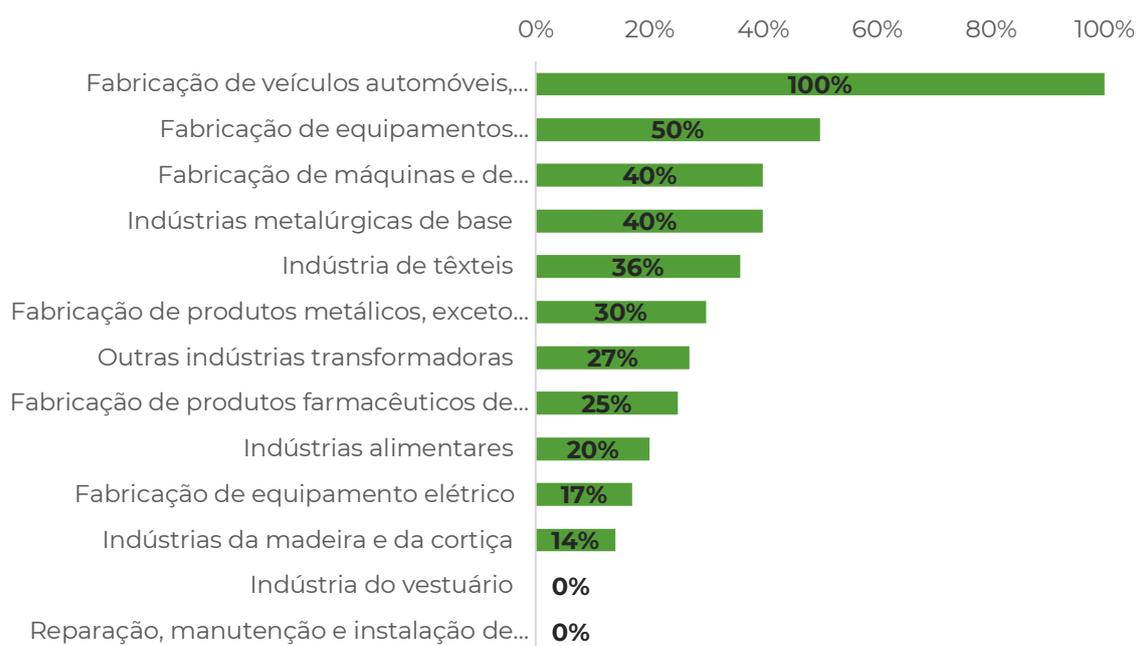


Figura 20 - Aplicação de Cibersegurança nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Computação em nuvem na fabricação de veículos automóveis reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis

A computação em nuvem (*cloud*) é uma tecnologia amplamente utilizada na indústria e permite armazenar e acessar dados e programas recorrendo à internet, ao invés de haver a necessidade de utilizar meramente discos rígidos para armazenamento em computador. Trata-se de uma tecnologia inovadora que permite acesso em tempo real a dados, melhoria na eficiência, redução de custos e otimização contínua do custo de *workloads* – programa ou aplicação que seja executado num dispositivo.

Atualmente, são considerados três principais tipos de computação em nuvem: **SaaS** (*software como serviço*), **PaaS** (plataforma como serviço) e **IaaS** (infraestrutura como serviço). O SaaS diz respeito a aplicações que sejam executadas no meio virtual e seja essencial ter ligação internet para acessar a estas, como, por exemplo, o Microsoft Office. O PaaS é aplicável em termos de fornecimento de *hardware* e *software*, ferramentas virtuais e hospedagem para possibilitar o desenvolvimento e disponibilização de aplicações, tal como o caso da *OpenShift* da *RedHat*. Por fim, um exemplo para a IaaS é a *IBM Cloud*, tendo esta as funcionalidades necessárias para a permissão da disponibilização virtual de recursos de computação, armazenamento e rede e descartando a necessidade de aquisição de servidores físicos ou bases de dados.

A interseção entre estes três tipos de computação em nuvem gera a oportunidade de conectar toda a fábrica.

Em qualquer indústria inovadora é comum comprovar o recurso à tecnologia de computação em nuvem, estando esta fortemente presente em diversos setores e destacando-se por permitir a descentralização de informação. Esta tecnologia possui os recursos

necessários para a criação de inúmeras oportunidades nas indústrias transformadoras, entre as quais redução de custos e de desperdícios, melhor gestão na ocorrência de problemas e eventos adversos e a potenciação de atividades colaborativas em diversas localizações da organização, independentemente da distância. Numa economia global marcada por prazos de entrega sucessivamente mais reduzidos e pela expansão dos limites das organizações, o recurso a computação em nuvem torna-se indispensável para as indústrias.

No caso da indústria automóvel, várias empresas neste setor já tiram proveito da computação em nuvem para facilitar a sua transformação digital, tais como o Grupo Volkswagen. Alguns dos benefícios para este setor incluem a minimização da complexidade, uma vez que a indústria automóvel detém dos mais complexos ambientes de TI de gerir. Com a *cloud* conseguem ter acesso facilitado a servidores com muito poder e armazenar grandes quantidades de informação, tornando a gestão mais fácil pelo acesso prático a dados relevantes, ultrapassando assim barreiras de complexidade que se possa enfrentar. Este setor pode também aumentar o nível de segurança em termos de manutenção e armazenamento de informação e diminuir os seus riscos de perda desta, bem como lidar com potenciais ameaças que possam comprometer a integridade dos seus produtos, através de sistemas de controlo de segurança incorporados na *cloud*.

Em termos colaborativos, a computação em nuvem elimina barreiras geográficas e potencia a colaboração entre diversas entidades pertencentes à cadeia de abastecimento. São igualmente viabilizados outros potenciais benefícios, tais como maior facilidade na criação de soluções mais sustentáveis, menor tempo desperdiçado na atualização de computadores e a fundamental redução de custos.

Um caso de estudo que representa um exemplo de sucesso envolve o Grupo Volkswagen juntamente com a Amazon Web Services (AWS) e o parceiro de integração Siemens. Em 2020, a Volkswagen disponibilizou

a sua plataforma para outras indústrias suas parceiras, passando estas a ter a capacidade de se conectar com as fábricas da Volkswagen e contribuir com as suas próprias soluções e aplicações de *software* para a *Cloud* industrial. Esta solução visava a otimização de processos industriais através da obtenção de novas aplicações para máquinas e equipamentos provenientes desta tecnologia de computação em nuvem. Os parceiros beneficiaram ao serem providos da possibilidade de desenvolverem as suas aplicações numa das maiores redes de produção automóvel do mundo e assim otimizarem eficientemente os seus próprios processos e produtos. A implementação desta solução garantiu que a computação em nuvem industrial da Volkswagen era utilizada como um centro de conhecimento capaz de desenvolver várias empresas dentro da cadeia de abastecimento global da organização e aumentar a eficiência e inovação das operações industriais.

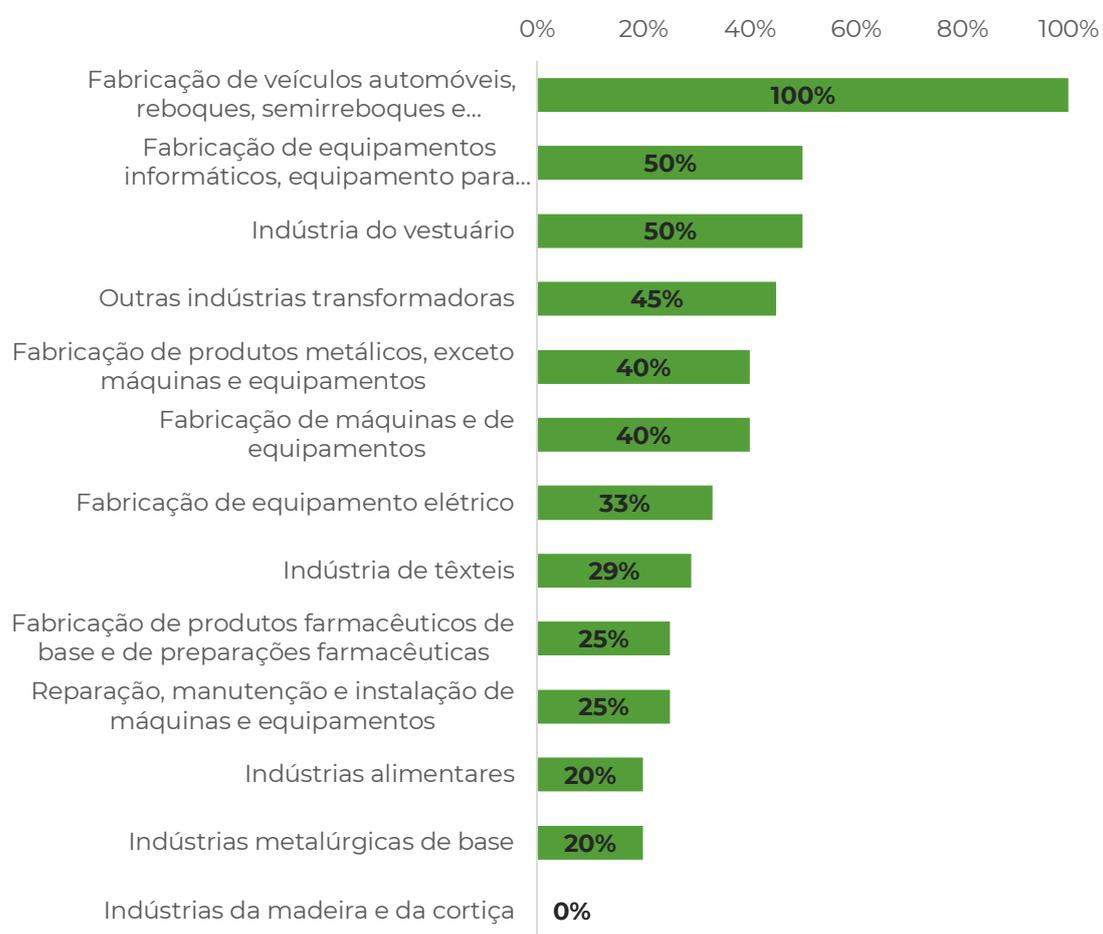


Figura 24: Aplicação de Computação em Nuvem nas diversas indústrias transformadoras
(Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

A análise à transversalidade da computação em nuvem derivada de um estudo às PME portuguesas demonstrou que 100% das PME inseridas no setor automóvel utilizam esta tecnologia. Constatou-se que a *cloud* possui aplicações transversais em quase todos os segmentos pertencentes à indústria transformadora, possuindo uma taxa de utilização bastante elevada em quase todos os setores.

Realidade virtual na indústria do vestuário e fabricação de têxteis

A realidade virtual está vez mais presente na indústria do vestuário e fabricação de têxteis, indo para além do seu uso em contexto comercial na moda de permitir a clientes experimentarem virtualmente os produtos e assim tomarem a decisão relativamente à compra. O contexto produtivo não abrange esta vertente, porém, no que diz respeito a produtos customizados e encomendados virtualmente pelos clientes, a RV revela-se uma ferramenta de extremo valor, uma vez que dita à produção o modo de fabricação do produto com os requisitos específicos idealizados pelo cliente.

Um caso de exemplo da aplicação da RV para este fim é a Nike, que se apoia na imaginação do cliente para criar o produto desejado por este, mantendo as características básicas estipuladas para o produto e tirando proveito de ideias inovadoras do cliente. Contudo, o conceito de customização mais comumente conhecido está associado a elevados custos para a produção e a dispêndio de muito tempo para conceber o produto que o cliente idealiza, podendo por vezes demorar semanas ou meses. O recurso a RV para esta atividade permite ultrapassar estas problemáticas, tornando a conceção virtual do produto uma realidade que não requer dispêndio adicional de tempo ou erros de prototipagem.

A plataforma de customização *Nike Maker's Experience* permite que o cliente crie as suas sapatilhas ideais em menos de 90 minutos. O cliente

inicia a experiência com umas sapatilhas básicas calçadas e posiciona-se no centro de vários projetores equipados com tecnologia de realidade aumentada, gerando assim padrões customizados projetados nas sapatilhas que calça. O cliente consegue fazer os ajustes que tornam o produto satisfatório para si e seguidamente faz a encomenda. A produção e entrega ocorre em menos de uma hora.

Outra aplicação para a RV na indústria têxtil e do vestuário é a criação de *showrooms* virtuais que ajudam fornecedores a conectarem-se com os seus clientes através de um ambiente digitalizado, permitindo mostrar-lhes a sua coleção virtualmente antes de a venderem e conseguindo fabricar os produtos em tempo reduzido. Esta aplicação de RV permite reduzir a necessidade de deslocações para os fornecedores demonstrarem a sua coleção e elimina a necessidade de criação de amostras físicas e conseqüente desperdício de material, bem como de espera entre a criação da coleção e a demonstração desta para o cliente.

Adicionalmente, acrescenta-se que esta tecnologia tem potencial de criar inúmeros benefícios no contexto industrial de forma abrangente. Diversas indústrias possuem espaços fabris de grandes dimensões e incluem a complexidade de conter diversos equipamentos e máquinas integrados em processos e fluxos complexos.

Neste contexto, por vezes, torna-se difícil desempenhar determinadas funções de elevado valor, tais como realização de testes, formações e manutenção, uma vez que estas podem exigir a interrupção do processo produtivo ou constituir um risco para os colaboradores. De notar que muitos equipamentos exigem determinadas competências derivadas de formações especiais, de modo a serem manuseados com segurança. A utilização de RV para estes propósitos permite otimizar as operações e reduzir custos e riscos.

A título de exemplo na indústria, com a RV a General Electric passou de necessitar de uma semana e 6 colaboradores para a formação de um estagiário para apenas 20 minutos e mais nenhum colaborador envolvido, sem riscos e com uma formação padronizada.

O planeamento do *layout* fabril pode também ser simplificado com recurso a RV, recreando-se virtualmente as áreas e viabilizando o posicionamento ótimo de elementos neste espaço e linhas de produção ou de montagem, tendo em conta as dimensões e especificidades de cada integrante deste espaço. A redução de custos, riscos (para colaboradores e equipamentos de valor) e de desperdícios derivados de mau planeamento são pontos positivos da adoção de RV.

Em termos de prototipagem, diversas indústrias recorrem a RV para desenhar os seus produtos, uma vez que estes podem exigir muito investimento na sua produção física. Assim, através do auxílio de RV no design, reduz-se custos, dificuldades na produção e potenciais falhas na conceção de protótipos, reduzindo-se também tempo na inspeção e testagem de protótipos inviáveis. Como exemplo, faz-se menção à empresa Gabler, que, utilizando RV para testar ergonomicamente equipamentos que desenha, conseguiu reduzir 15% do tempo necessário para o desenvolvimento inicial do produto.

Em suma, a realidade virtual torna-se uma ferramenta indispensável e inovadora capacitada de qualidades imprescindíveis para a otimização e inovação de processos produtivos. Ao nível de aplicações transversais, esta tecnologia revela-se menos abrangente, estando presente – segundo um estudo às PME nacionais - em apenas quatro setores industriais. Denota-se que 17% das PME inseridas na indústria do vestuário tiram proveito de RV para desempenho das suas atividades.

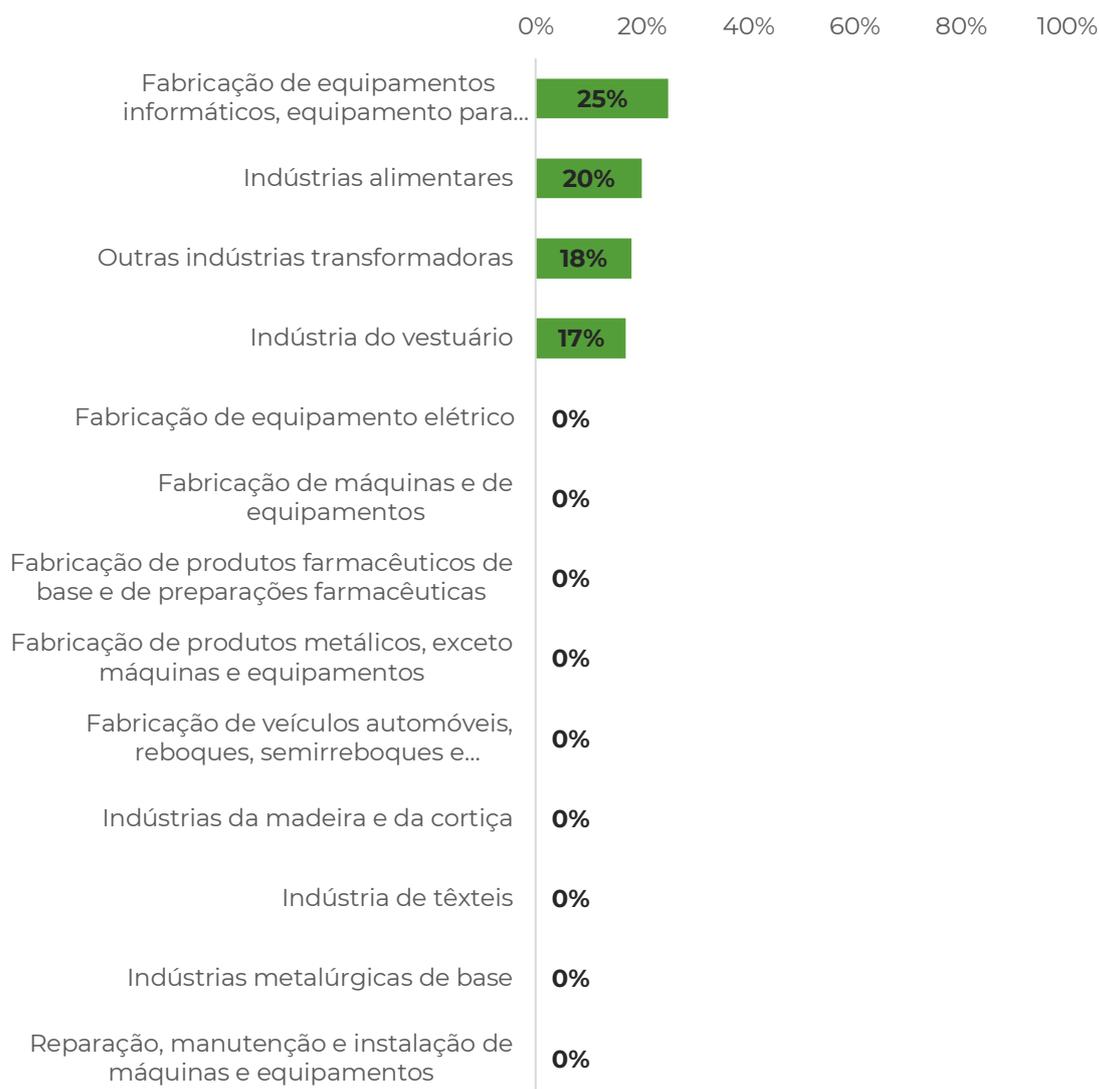


Figura 22 - Aplicação de Realidade Virtual nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Fabricação aditiva na indústria metalúrgica

A fabricação aditiva é uma ferramenta valiosa para várias indústrias, pois permite a materialização de elementos virtuais desenhados através de *softwares* de projeto e desenho assistidos por computador (CAD – *computer aided design*) e é utilizada predominantemente para a criação de protótipos, inovação e desenvolvimento de produtos pela exportação dos projetos para impressão 3D.

A indústria metalúrgica encontra-se numa fase de mudança em que necessita de adquirir vantagem competitiva face ao seu vasto número

de concorrentes. Atualmente, a tecnologia de impressão 3D desempenha ainda um papel pouco significativo na indústria dos metais, porém encontra-se em rápido crescimento e é expectável que o seu valor atinja os 10 mil milhões de dólares até ao período de 2030-2035. Possui o potencial de não apenas revolucionar a indústria transformadora como também criar novos ecossistemas de inovação.

Os benefícios gerais que advêm da utilização de fabricação aditiva baseiam-se na produção de menos desperdício, sendo que esta tecnologia, em contraste com tecnologias subtrativas, não requer material em excesso para a produção, baseando-se na deposição incremental de material. Salienta-se também a redução de custos, uma vez que a fabricação aditiva representa atualmente uma forte e acessível alternativa aos métodos tradicionais de produção, sendo menos cara, mais rápida e com menos passos no processo. Verifica-se também redução do tempo necessário para reparar um equipamento, sendo que peças para substituição nem sempre se encontram em inventário e podem ser necessários alguns dias até se encontrarem disponíveis, ocasionando-se assim possíveis paragens na produção. Com a fabricação aditiva, a peça pode ser facilmente substituída de modo rápido até à chegada e substituição permanente pela peça ideal. Deste modo, são também registados benefícios ao nível da redução de inventário, diminuindo-se o seu excesso.

Em termos de vida útil de equipamentos de produção antigos, esta tecnologia permite prolongar a mesma pela fabricação de componentes para este que já não se encontrem a ser produzidas, desde que o modelo CAD ainda se encontre disponível para impressão. O processo produtivo torna-se também menos intensivo com recurso à fabricação aditiva - devido à sua simplicidade face a outros métodos - e possui menos impacto ambiental devido à eliminação de emissões presentes nos métodos de produção convencionais comumente utilizados na indústria do metal.

Denota-se também a propiciação de mais liberdade no design e redesign de produtos, viabilizando-se a criação de estruturas e peças previamente consideradas impossíveis de conceber. O material necessário para o projeto em causa é otimizado e é entregue um produto inovador e conforme com as especificações estipuladas pelos *inputs* fornecidos à máquina. Geometrias complexas deixam assim de ser um problema para a indústria metalúrgica.

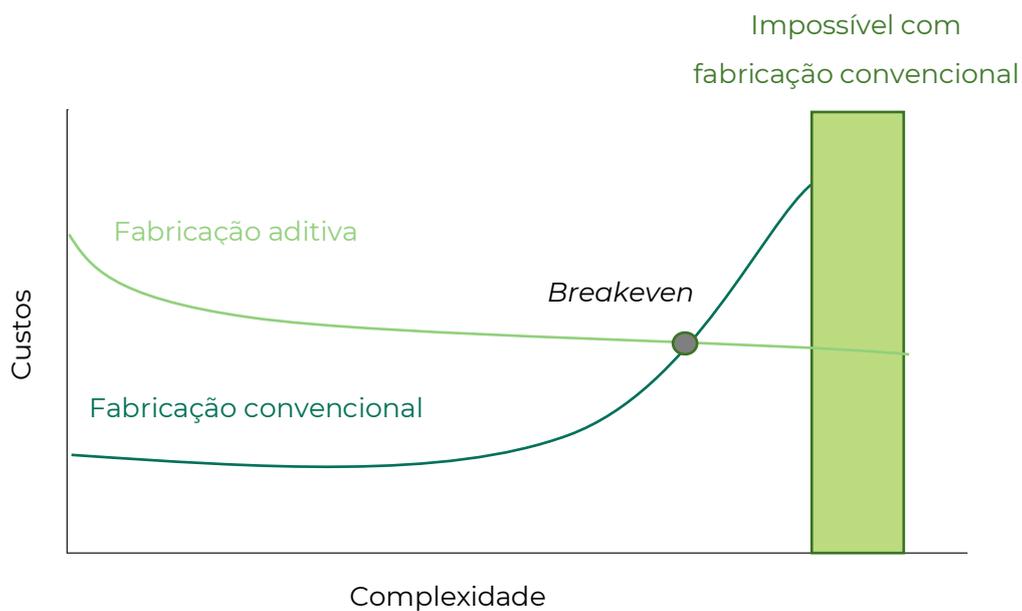


Figura 23 - Complexidade de produto vs. Custos: Fabricação aditiva vs. Fabricação convencional (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

A título de exemplo, Böhler Edelstahl é um dos principais fornecedores mundiais de aços para ferramentas e parceiro preferencial dos mais exigentes utilizadores de aços especiais em Portugal. Recentemente, realizou estudos e investiu em fabricação aditiva para garantir a entrega de produtos inovadores e otimizados aos seus clientes. Utiliza a tecnologia de fabricação aditiva, mais especificamente, *Wire Arc Additive Manufacturing* (uma das formas menos discutidas dos processos de fabricação aditiva), para a fabricação de materiais metálicos. Esta variante da fabricação aditiva baseia-se em fio que utiliza o processo de soldadura por arco metálico com gás, unindo e

sobrepondo camadas. Permite aumentar a eficiência dos processos produtivos, produzir formas complexas de forma rápida e a baixo custo e reduzir drasticamente desperdícios de material substituindo tecnologias convencionais como a comum soldadura, abrindo assim caminho para a transformação digital.

O estudo realizado às PME portuguesas demonstra que 40% das PME no setor da indústria do metal utilizam esta tecnologia. É também notório que para a fabricação de veículos automóvel, a fabricação aditiva é também essencial. Comprova-se também que esta tecnologia 14.0 possui um caráter transversal, estando presente em diversos setores industriais nacionais.

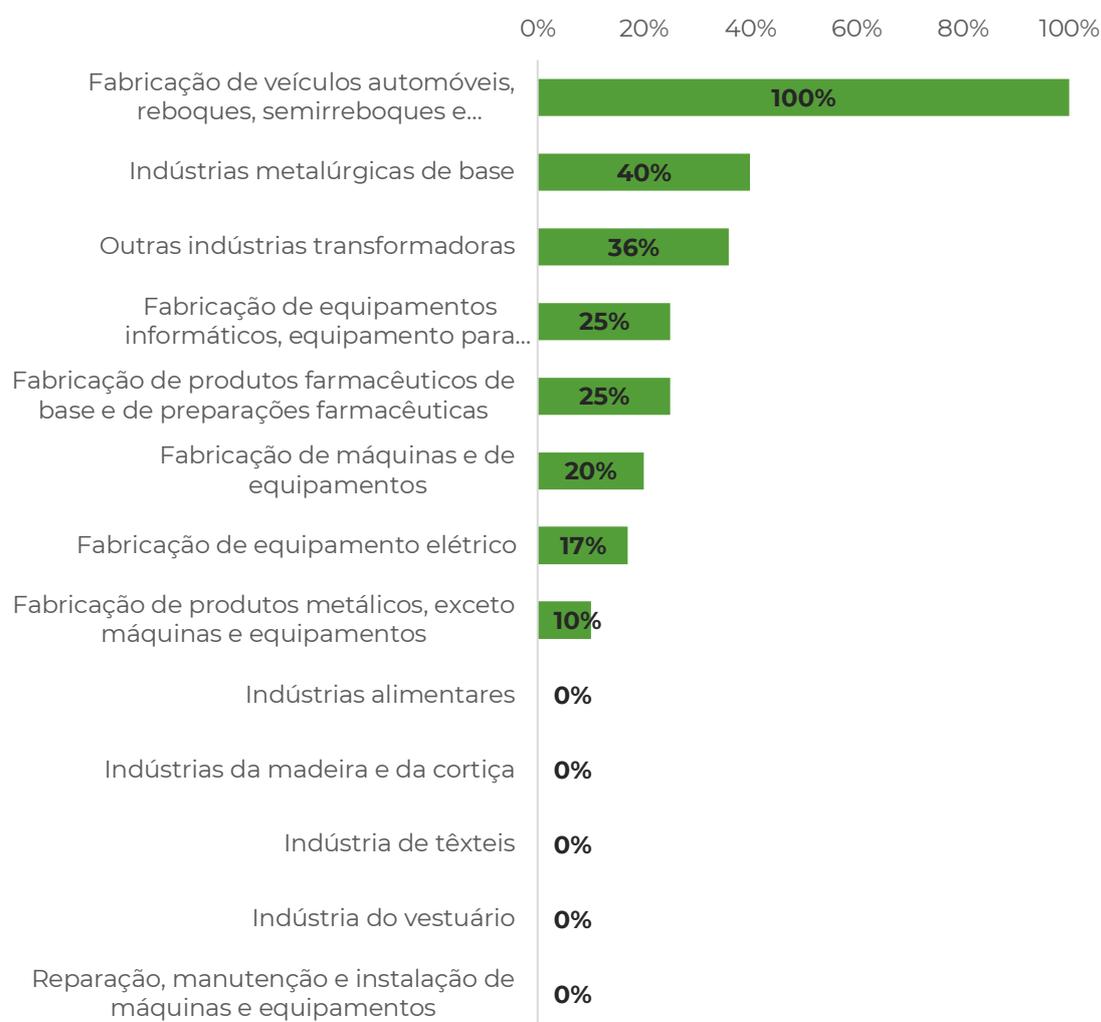


Figura 24- Aplicação de Fabricação Aditiva nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Integração de sistemas na indústria metalúrgica

A integração de sistemas faculta a conexão entre diversos componentes-chave da mesma organização, através da combinação de *softwares*, sistemas de computação e processos, de modo a aumentar o valor de toda a cadeia do sistema. Torna-se possível integrar as funcionalidades existentes e recorrer a novas, bem como tornar a utilização de recursos mais acessível e prática.

Na indústria são diversas as suas potenciais aplicações, uma vez que se trata de uma solução para organizações que trabalhem com múltiplos subsistemas independentes nos quais é necessário despende muito tempo na reinserção de dados manualmente, ocasionando-se potenciais erros advenientes desta atividade.

Em termos organizacionais, são reconhecidas diversas vantagens do recurso a esta tecnologia, entre as quais a melhoria dos sistemas de segurança, sendo possível controlar para quem é visível determinada informação, diminuindo assim possibilidades de fugas de informação. Em termos de custos, é também possível diminuir estes, uma vez que são reduzidas redundâncias em aplicações e em dados, passando a ser possível aceder às mesmas informações através de diferentes aplicações, tudo a partir do mesmo local. E com a integração de dados passa também a ser possível ter acesso a dados em tempo real e conseguir atualizar os mesmos sem ser preciso um colaborador alterá-los manualmente. Deste modo, a base de dados existente encontra-se conectada a todas as aplicações e processa constantemente informação relevante. Análises melhores são assim efetuadas, uma vez que é possível ter o conhecimento das funções de cada colaborador e diversos *insights* valiosos podem ser partilhados entre departamentos e equipas. A inovação da empresa é assim propiciada, bem como o seu desenvolvimento em termos de eficiência e eficácia operacional. Através desta tecnologia, possibilita-se uma melhor monitorização de

indicadores de desempenho, desmaterialização de processos e um melhor controlo de máquinas e equipamentos.

O Grupo Sevaan - especializado na fabricação e engenharia de metal - assegura ter começado a sua transformação digital há mais de 7 anos, sem se aperceber, de forma natural através da imersão de tecnologia digital em espaços e tarefas convencionais. Decidiram apostar na tecnologia de integração de sistemas, de modo a melhorar a eficiência e eficácia das suas operações, conseguindo já obter progressos em termos de vantagem competitiva na indústria metalúrgica. A inclusão de *softwares* em sistemas e máquinas possui impacto na obtenção de mais precisão, rapidez e inteligência nos processos de fabricação de metal. Nesta organização, a integração de sistemas foi inicialmente instaurada através da combinação de um *software* com o ERP da empresa, que monitoriza todas as funções do negócio. O sistema integrado no ERP possui o intuito de monitorizar todas as máquinas existentes na empresa, sendo possível comprovar quais centros de trabalho funcionam ou não eficientemente, obtendo-se também as causas-raiz dos problemas detetados quer sejam referentes a máquinas ou materiais.

Devido à implementação desta tecnologia I4.0, o Grupo Sevaan conseguiu obter um melhor entendimento da eficiência das suas máquinas, dos seus processos produtivos, tempos inerentes a estes e custos envolvidos, conseguindo tirar proveito de melhores dados correspondentes a informação valiosa a interpretar. Por conseguinte, o grupo conseguiu evoluir para um espaço com mais visibilidade e transparência de processos, sendo mais fácil monitorizar os progressos e obstáculos, bem como recolher informação que permite um melhor planeamento de atividades e consumo de recursos. A organização ressalva que com a utilização da integração de sistemas e de outros desenvolvimentos I4.0 possui a capacidade de prestar uma qualidade

excecional em termos de fabricação metalúrgica e de produtos inovadores.

Contudo, ao nível nacional, através do estudo conduzido às PME portuguesas, demonstra-se que esta tecnologia não é utilizada neste setor face à amostra de PME representada no estudo. Ainda assim, a integração de sistemas demonstra-se transversal com presença em muitos outros setores industriais.



Figura 25 - Aplicação de Integração de Sistemas nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Sistemas ciber-físicos (CPS) nas indústrias da madeira e da cortiça e suas obras, exceto mobiliário; fabricação de obras de cestaria e de espartaria

Os sistemas ciber-físicos destacam-se por permitirem a interligação do mundo virtual e do mundo físico. Possuem imenso valor para a indústria transformadora, uma vez que permitem melhorar a produtividade, reduzir custos, mitigar desperdícios e melhorar a eficiência operacional. Através de sensores automatizados e outros elementos, esta tecnologia possibilita a deteção fácil e proativa de problemas nos sistemas.

As aplicações de CPS nas diferentes indústrias não diferem significativamente, tratando-se de uma tecnologia transversal no contexto industrial e sendo expectável que no futuro se verifique a sua presença em todos os setores da indústria transformadora dentro do paradigma da Indústria 4.0. É entendida como impulsionadora de avanços tecnológicos na indústria, particularmente ao nível da automação e visualização e integração de sistemas.

Representa atualmente uma nova geração de sistemas digitais, que consiste em dois primários componentes funcionais:

- (1) a conectividade avançada que assegura a aquisição de dados em tempo real do mundo físico e a recolha de informação de *feedback* do espaço virtual;
- (2) a gestão inteligente de dados, a sua análise e a capacidade computacional que constitui o espaço virtual.

A utilização desta ferramenta facilita a implementação de sistemas de grande dimensão, facultando melhorias em termos de adaptabilidade, autonomia, eficiência, funcionalidade, confiança e segurança destes sistemas. Garantir a manutenção dos níveis de segurança no recurso a

esta ferramenta revela-se também extremamente importante, sendo um dos pilares essenciais para a adoção desta tecnologia.

Uma das grandes vantagens da implementação de CPS é a melhoria do controlo de processos, sendo que através de sensores, atuadores e processadores, é possível integrar todos os mecanismos dos processos e atingir um estado de sincronia entre estes.

Os CPS permitem melhorar a segurança, produtividade e eficiência, conectando tecnologias de produção e sistemas incorporados para abrir caminho para indústrias altamente flexíveis com novas formas de colaboração disponibilizadas. Torna-se também mais fácil automatizar as operações, obter mais conhecimento, economizar recursos e aumentar o volume de negócios através do aumento da vantagem competitiva da organização.

Atualmente, é impreterível adaptar constantemente os sistemas produtivos às incertezas da indústria, procurando reduzir ao máximo os desperdícios. Um estudo de 2017 descreve um caso de sucesso na implementação da tecnologia CPS na indústria da madeira e da cortiça e suas obras. Em termos de alinhamento de estratégia e implementação de CPS, a organização em estudo pretendia reduzir o tempo de produção de rolhas naturais, incluindo os processos desde a compra e colheita de sobreiros, transporte da casca de sobreiro da floresta até a um local intermédio e, por fim, até à produção das rolhas de cortiça. Passaram a ser usadas etiquetas RFID e sensores ambientais para fornecer informações relevantes - tais como temperatura e humidade - ao *software* de gestão de inventário de cortiça e à máquina de descasque de cortiça. Visava-se ajustar as configurações da máquina às condições físicas da cortiça, bem como ao controlador industrial para definir as condições de duração do processo de estabilização.

O novo *software* de apoio à aquisição de cortiça foi facilmente adotado pelo responsável de compras e a formação dos colaboradores foi

essencial para aprenderem a colocar as etiquetas RFID nas tábuas de cortiça e implementarem os leitores RFID em toda a produção. Contudo, denotou-se que o gestor da produção experienciou dificuldades na adoção do novo processo de monitorização. A implementação envolveu a gestão de topo, o responsável pelas aquisições de cortiça e o responsável pela produção.

Neste caso de sucesso, seguiu-se uma abordagem passo-a-passo, tendo-se começado, primeiramente, por instalar e integrar os sensores ambientais com o *software* de gestão de inventário da cortiça. Seguidamente, foram instaladas etiquetas RFID para marcar tábuas de cortiça, bem como os leitores necessários em todo o processo de produção. E, por fim, foi construído e avaliado pelos colaboradores o protótipo do novo equipamento de descasque de cortiça.

O desenvolvimento e prototipagem desta solução CPS demorou dois anos, a implementação demorou um ano e a adaptação à operação demorou mais um mês. Em termos de impactos, constatou-se uma melhor utilização do inventário da cortiça, uma simplificação do processo de aquisição de cortiça, bem como das decisões de compra/investimento. O controlo do processo foi também melhorado e a rastreabilidade da cortiça tornou-se mais acessível. Por fim, a nível quantitativo, foi previsto que o tempo de produção sofresse uma redução de 48 horas para 40 horas, demonstrando assim mais um fator de sucesso do projeto em causa.

A indústria da madeira e da cortiça, segundo o estudo realizado às PME portuguesas possui 14% das PME inquiridas a aplicar CPS na sua indústria. Contudo, é notório que a tecnologia de CPS não se encontra presente em muitas indústrias portuguesas da amostra representada, não sendo tão transversal quanto outras tecnologias analisadas no estudo.



Figura 26 - Aplicação de Sistemas Ciber-físicos nas diversas indústrias transformadoras (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Fontes:

Volkswagen. Nos bastidores da linha. (visitado em março de 2022). <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/artigos/nos-bastidores-da-linha/>

Volkswagen. Santos da casa. (visitado em março de 2022). <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/artigos/santos-da-casa/>

Volkswagen. Inovação: Inovação traz o futuro para o presente. (visitado em março de 2022). <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/investigacao-desenvolvimento/>

Volkswagen. Planeamento: Novos equipamentos aumentam capacidade para 45 unidades por hora. (visitado em março de 2022). <https://www.volkswagenautoeuropa.pt/artigos/novos-equipamentos-aumentam-a-capacidade-para-45-unidades-por-hora/>

Bosch. Bosch Connected World. (visitado em março de 2022). <https://www.bosch.pt/noticias-e-historias/veiculos-casas-e-fabricas-conectadas-inteligencia-artificial-na-base-das-solucoes-bosch/>

Bosch (2020). CES 2020: Bosch eleva a fasquia no que diz respeito à Inteligência Artificial. (visitado em março de 2022). <https://www.bosch.pt/noticias-e-historias/ces-2020/>

Bosch (2021). No caminho para uma produção sem falhas com a IA da Bosch. (visitado em março de 2022). <https://www.bosch.pt/noticias-e-historias/2021/sistema-ia-nas-fabricas/>

Sadiku, Matthew & Ashaolu, Tolulope Joshua & Ajayi-Majebi, Abayomi & Musa, Sarhan. (2020). Big Data in Food Industry. 1. 10.51542/ijscia.v1i3.5.

Grupo de Teleinformática e Automação (gta.ufrrj). Big Data e suas influências sobre a estratégia das empresas.

Execplan (2016). 5 casos de sucesso que provam a importância do Big Data. (visitado em março de 2022). <https://execplan.com.br/5-casos-de-sucesso-que-provam-a-importancia-do-big-data/>

Harvard Business School: Digital Innovation and Transformation (2021). Siemens MindSphere: Gathering and Interpreting IIoT Data. (visitado em março de 2022). <https://digital.hbs.edu/platform-digital/submission/siemens-mindsphere-gathering-and-interpreting-iiot-data/>

Siemens (2019). Turning the Internet of things into reality: a practical approach to your unique IoT journey.

World Economic Forum: Future of Digital Economy and Society System Initiative "Internet of Things, Guidelines for Sustainability," January 2018, page 3

Eurostat (2021). Is your company using internet-connected devices or systems? (visitado em março de 2022). <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210312-1?redirect=%2Feurostat%2F>

Efacec (2020). Relatório e Contas.

JPM Industry. Sophos day lisboa 2019 – cybersecurity evolved. (visitado em março de 2022). <https://www.jpm.pt/pt/sophos-day-lisboa-2019/>

Brandao, Pedro & Duarte, Paulo. (2022). Cybersecurity risk management in the industry 4.0. International Journal of Scientific Research & Growth. 9. 661-668. 10.18535/ijserm/v10i3.ec01.

Forbes (2018). How The Cloud Transforms Industries. (visitado em março de 2022). <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/07/09/how-the-cloud-transforms-industries/?sh=306a87d819ee>

Charles Phillips (2018). 7 of the Biggest Benefits of the Cloud in Automotive Manufacturing. (visitado em março de 2022). <https://charlesphillips.me/7-of-the-biggest-benefits-of-the-cloud-in-automotive-manufacturing/>

Volkswagen (2020). Volkswagen brings additional partners to Industrial Cloud. (visitado em março de 2022). https://www.volkswagenag.com/en/news/2020/07/Industrial_Cloud.html

Jasoren (2018). Virtual Reality in Manufacturing. (visitado em março de 2022). <https://jasoren.com/virtual-reality-manufacturing/>

Inside Hook (2017). Custom Nikes in 90 Minutes, Start to Finish. (visitado em março de 2022). <https://www.insidehook.com/article/style/nike-makers-experience-custom-shoes>

Apparel Resources (2020). Virtual showrooms bridging the gap between buyers and manufacturers. (visitado em março de 2022). <https://apparelresources.com/technology-news/retail-tech/virtual-showrooms-bridging-gap-buyers-manufacturers/>

Advanced Technology Services. Additive Manufacturing Advantages. (visitado em março de 2022). <https://www.advancedtech.com/blog/additive-manufacturing-advantages/>

Fontes:

McKinsey (2017). How 3-D printing will transform the metals industry. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/how-3d-printing-will-transform-the-metals-industry>

Deloitte (2019). Challenges of Additive Manufacturing: Why companies don't use additive manufacturing in serial production.

Böhler. Additive Manufacturing: Neue Dimensionen in der Produktion.

Böhler Welding. The Future of Productivity: Wire Arc Additive Manufacturing.

Chaturvedi M, Scutelnicu E, Rusu CC, Mistodie LR, Mihailescu D, Subbiah AV. Wire Arc Additive Manufacturing: Review on Recent Findings and Challenges in Industrial Applications and Materials Characterization. *Metals*. 2021; 11(6):939. <https://doi.org/10.3390/met11060939>

Universal Afir. (visitado em março de 2022). <https://www.universalafir.pt/>

Industrial Corp (2019). System integration in Industry 4.0: a competitive advantage (visitado em março de 2022). <https://blog.industrial.ai/system-integration-in-industry-4-0-a-competitive-advantage/>

Chen, Hong. (2017). Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review. *Journal of Industrial Integration and Management*. 02. 1750012. 10.1142/S2424862217500129.

Liquid Web (2021). An Overview of System Integration for MSPs. (visitado em março de 2022). <https://www.liquidweb.com/blog/system-integration/>

Sevaan Group. Industry 4.0 starts with system integration - are you riding the first wave? (visitado em março de 2022). <https://www.sevaangroup.com.au/industry-4-0-system-integration/>

5. PRINCIPAIS DESAFIOS

Apesar dos inúmeros benefícios advenientes da aplicação de tecnologias I4.0 nos mais diversos setores industriais, existem inevitavelmente desafios que condicionam a implementação destas inovações digitais e que podem dificultar a transformação digital de uma organização, caso não sejam ultrapassados eficientemente.

De um modo geral, identificam-se vários constrangimentos inerentes ao crescimento das PME em Portugal, sendo possível agrupá-los em 5 segmentos. A seguinte tabela foi adaptada de um estudo realizado ao impacto da inovação na *performance* económico-financeira de uma amostra de PME nacionais e exibe os segmentos mencionados.

Tabela 2- Desafios e constrangimentos ao crescimento de PME em Portugal (Adaptado de COTEC (2020))

Desafios e constrangimentos ao crescimento de PME em Portugal	
Institucionais	<ul style="list-style-type: none">• Instabilidade fiscal e tributária• Sobrecarga fiscal face a outras economias• Regulação do mercado laboral• Procedimentos pouco flexíveis (por exemplo no quadro de licenciamento)
Recursos e competências	<ul style="list-style-type: none">• Recursos escassos• Capacidade reduzida por parte das entidades do sistema de investigação e inovação para gerar de forma recorrente resultados de IDI impactantes
Mercado e escala	<ul style="list-style-type: none">• Escala do mercado português obriga à internacionalização• Investimentos elevados necessários para a internacionalização, maioritariamente associados a custos de penetração nos mercados externos e capacidade de entrega
Cooperação empresarial	<ul style="list-style-type: none">• Falta de rotinas de cooperação empresarial para aumentar escala• Inexistência de mecanismos recorrentes de partilha de competências entre empresas
Financiamento	<ul style="list-style-type: none">• Empresas portuguesas maioritariamente descapitalizadas e culturalmente direcionadas para financiamento bancário• Diversificação limitada de fontes de financiamento• Requisitos associados à aprovação de candidaturas a fundos comunitários• Inexistência de perspetiva de longo prazo necessária à inovação e internacionalização• Iniquidade na distribuição de incentivos entre PME e grandes empresas

De acordo com um estudo realizado em 2022 às PME portuguesas, 54% das empresas inquiridas alega que prevê experienciar dificuldades na futura implementação de tecnologias I4.0 no seu negócio. Em particular, destaca-se ainda que 40% das inquiridas com investimento realizado em I4.0 relatou ter experienciado dificuldades e constrangimentos na sua implementação.

O mesmo estudo esclarece os desafios enfrentados pelas PME, sendo possível depreender que as problemáticas mais relevantes para estas empresas são, em média, a insuficiência de fundos (15%), a falta de conhecimento (11%) e a falta de apoio público (9%).

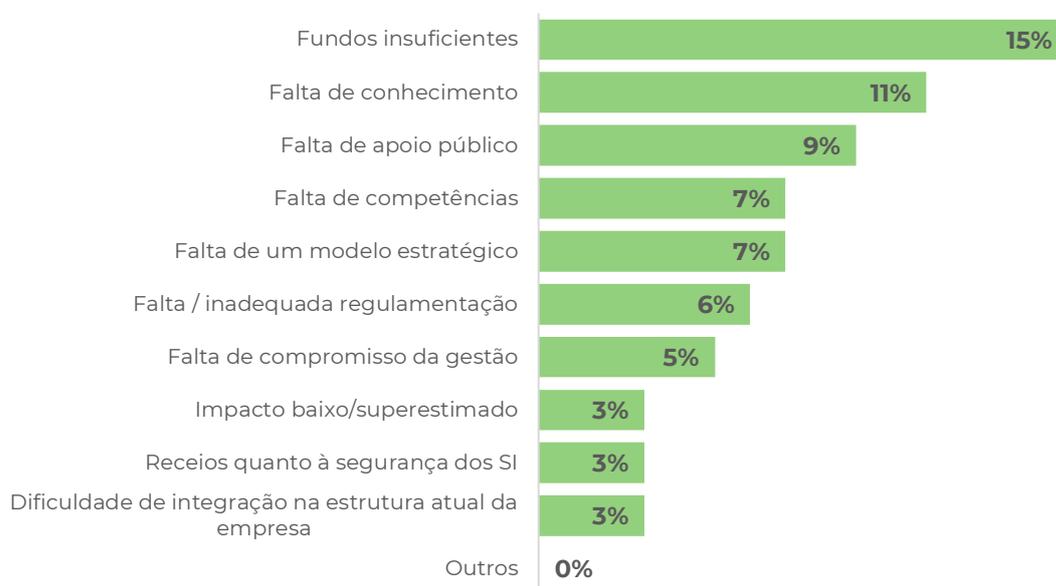


Figura 27 - Obstáculos enfrentados pelas PME portuguesas no investimento em I4.0 realizado (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

No que diz respeito a investimentos futuros, os principais desafios apontados como inibidores à adoção de tecnologias I4.0 pelas PME portuguesas questionadas correspondem maioritariamente à falta de conhecimento (29%), insuficiência de fundos (26%) e falta de competências (22%). Estes dados encontram-se representados no gráfico seguinte, demonstrando os maiores obstáculos que, segundo o

estudo conduzido, condicionam as PME portuguesas de realizar ou, por vezes até mesmo considerar, investimentos em I4.0 no futuro.

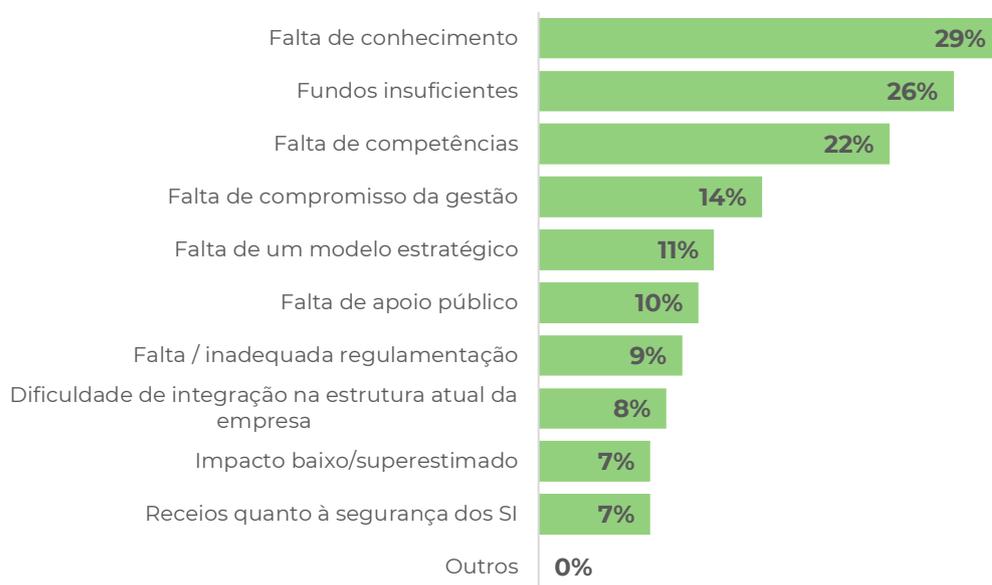


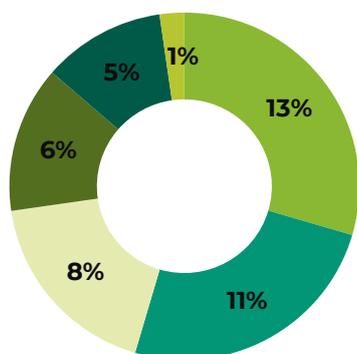
Figura 28 - Obstáculos previstos pelas PME portuguesas no investimento futuro em I4.0 (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Perante este cenário, foi também questionado às PME do estudo se recorreram a algum apoio ou financiamento externo para a implementação de tecnologias I4.0. Concluiu-se que somente 42% destas PME beneficiaram de apoio deste tipo. É também pertinente fazer referência ao facto de que dentro do segmento das PME que reportaram a insuficiência de fundos como obstáculo, apenas 31% das mesmas conseguiu efetivamente beneficiar de algum tipo de financiamento externo para as suas iniciativas I4.0.

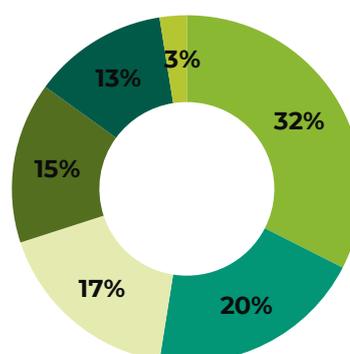
Considerando o segmento que reportou não ter conseguido obter financiamento, foram esclarecidos e quantificados percentualmente os principais motivos para essa mesma situação desfavorável, encontrando-se estes dados sintetizados no seguinte gráfico à esquerda. No gráfico apresentado à direita encontram-se os dados relativos à previsão dos principais motivos para uma PME portuguesa

não recorrer a financiamento externo para os seus investimentos futuros em 14.0.

Motivos pelos quais não beneficiou de financiamento no investimento realizado



Motivos pelos quais não pondera beneficiar de financiamento num investimento futuro



- Os pedidos de financiamento são muito complicados e demorados
- A empresa não necessita de financiamento externo, usou/usará fundos próprios
- A empresa não tem/teve conhecimento dos programas de financiamento existentes
- As chances de financiamento são muito baixas
- O esquema de financiamento não é adequado
- A empresa prefere investir sem dependências externas

Figura 29 - Motivos adjacentes à insuficiência de fundos para as PME portuguesas inquiridas (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Analisando os dados disponibilizados, em ambos os cenários para as PME portuguesas – quer o referente a investimentos passados, quer o referente a investimentos futuros – retrata como motivo estruturante para a insuficiência de fundos o facto de os pedidos de financiamento serem muito complicados e demorados. Adicionalmente, acrescenta-se que das PME que não beneficiaram de apoio externo e declararam a sua falta (69%), tendencialmente 46% das mesmas não o conseguiram por este processo ser complicado e demorado e 23% pelo facto de as chances de obtenção de financiamento serem muito reduzidas.

Os resultados conseguidos neste estudo vão de encontro a outros estudos efetuados com o intuito de entender quais os principais entraves à transformação digital.

Complementarmente, um outro estudo alega que seis em dez indústrias transformadoras enfrentam barreiras de implementação tão fortes que limitam o seu progresso em I4.0 ou o impedem por completo. Entre os obstáculos identificados, alguns demonstram-se mais relevantes no início da jornada de implementação, enquanto outros apenas emergem quando a empresa já se encontra num estado de adoção de I4.0 avançado e podem ser debilitantes para a continuação de progresso de uma organização, tal como discriminado na seguinte ilustração.



Figura 30 - Principais barreiras existentes para empresas no processo de implementação de tecnologias I4.0 (Adaptado de McKinsey Industry 4.0 Global Expert Survey 2016)

Fontes:

Mckinsey Digital (2016). Industry 4.0 after the initial hype: where manufacturers are finding value and how they can best capture it.

COTEC (2020). Destino: Crescimento e Inovação. O impacto da inovação na *performance* económico-financeira das PME e no seu crescimento.

6. COMO FACILITAR A TRANSFORMAÇÃO?

O sucesso da implementação de iniciativas de Indústria 4.0 nas PME industriais portuguesas vai além da sua capacidade para realizarem as devidas instalações tecnológicas. Para toda a mudança organizacional são necessárias abordagens holísticas que considerem quaisquer implicações da transformação tanto nos seus processos como nas pessoas que os conduzem. Por este motivo, este capítulo identifica, primeiramente, as características comuns das organizações com melhores desempenhos na Indústria 4.0. De seguida, apresentam-se orientações de apoio à sustentação de iniciativas inovadoras nas organizações, considerando tanto a sua componente operacional como a componente humana. Estas deverão ser as diretrizes seguidas pelas PME na preparação das suas organizações para a implementação de iniciativas de Indústria 4.0.

No que respeita às PME nacionais mais inovadoras, verifica-se que estas evidenciam tipicamente quatro características comuns. Com efeito, de uma amostra inquirida em 2020, todas referem definir uma:

- Orientação estratégica clara;
- Tática operacional rigorosa;
- Configuração organizacional ágil;
- Operacionalização de atividades transversais potencializadoras de inovação.

Esta estratégia e configuração permite-lhes ir ao encontro com o mote deste capítulo: a reinvenção das organizações e a sua capacidade de mudança contínua. A antecipação, adaptação e velocidade são chave para um futuro empresarial de sucesso e a Indústria 4.0 alavanca a

exigência deste compromisso por parte das empresas. É, portanto, necessário que as estas sejam capazes de direcionar a sua estratégia para a inovação, e a sua estrutura para uma configuração mais ágil. Só assim estarão verdadeiramente preparadas para receber os novos projetos de inovação e abraçar a transformação e mudança a eles implícita.

No que diz respeito às possíveis formas de se alcançar agilidade organizacional, existem pelo menos três hipóteses de reestruturação organizacional que podem ser seguidas, numa tentativa de se criarem dinâmicas na organização. Entre os vários caminhos para alcançar agilidade organizacional, destacam-se então:

- i. A criação de gabinetes para fomentar a mudança paralelamente às operações correntes.
- ii. A estruturação da organização em torno de equipas suportadas por competências transversais.
- iii. A organização da estrutura organizacional em torno dos seus projetos.

O primeiro caminho exige que as organizações criem gabinetes ou pequenos departamentos responsáveis pela gestão da mudança. Estes, deverão ser responsáveis pela criação e desenvolvimento de modelos e mecanismos para injetar velocidade e transformação na organização. Estes colaboradores são tipicamente denominados de *change champions* ou *transformation leaders*. Alinhados com o projeto, coordenam ações e comunicam-nas pela organização.

Por outro lado, a segunda hipótese alicerça-se na lógica de estruturação da empresa em torno de equipas com competências transversais. O trabalho em equipa fomentará o espírito colaborativo necessário para a operacionalização das iniciativas de Indústria 4.0, enquanto a equipa polivalente potencializará sinergias na troca de ideias, pensamento crítico e criatividade.

Por último, as empresas poderão optar por uma estrutura organizacional em matriz, tipicamente designada de PBO – *Project Based Organization*. Esta organização matricial cruza as responsabilidades funcionais dos seus colaboradores com as responsabilidades de projeto, incitando mais agilidade e flexibilidade. A estrutura da organização permanece, portanto, em constante mutação, face aos projetos em vigor.

Qualquer um dos caminhos seguidos permuta as empresas de uma estrutura organizacional clássica, com linhas de comando em termos hierárquicos, para uma estrutura de rodas dentadas em que são formadas equipas multidisciplinares. Cada equipa é detentora de competências múltiplas e guiadas por um líder, em substituição do gestor formal comum. Os trabalhadores são empoderados, os processos são desburocratizados e a tomada de decisão é descentralizada, existindo um claro propósito comum: a inovação.

Seguindo esta linha de ideias, existe um conjunto de informação relevante a difundir internamente no sentido de se assegurar que as próprias organizações se tornam recetivas a novas tecnologias e à aquisição de competências e *know-how* crítico.

Informação relevante a difundir internamente

A adequação à mudança depende da garantia de conquista de dois fatores centrais: o alinhamento estratégico e da gestão; e a apropriada aquisição, formação e retenção de recursos humanos. A correta comunicação e preparação prévia das PME para a implementação das iniciativas de Indústria 4.0 dita, portanto, o sucesso do investimento realizado.

Em Portugal, em 2022, as PME industriais com investimento realizado em Indústria 4.0 destacavam-se das restantes pelos seus colaboradores mais recetivos à transformação digital e respetiva necessidade de

formações; flexíveis quanto à distribuição de trabalho; autônomos; com experiência em trabalhos interdisciplinas; e competências TIC atuais. De forma semelhante, o mesmo estudo conclui que também a autonomia e flexibilidade dos colaboradores, juntamente com a predisposição por parte dos gestores para os investimentos em transformação digital, diferenciam as PME industriais, que dominam e aplicam o conceito de Indústria 4.0, das demais empresas do setor.

Determina-se que, por serem características potencializadoras de maturidade tecnológica nas organizações, e, portanto, alavancarem o sucesso de investimentos em Indústria 4.0, estas deverão ser o ponto de partida para as empresas que perspetivam iniciar o seu investimento.

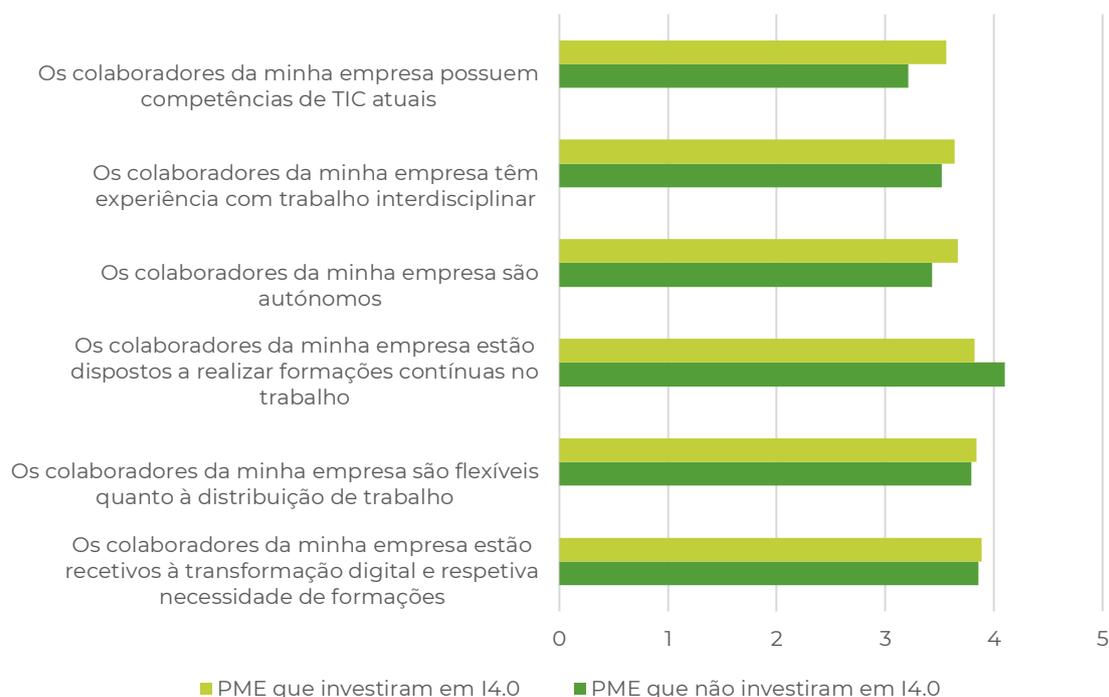


Figura 31: Indicadores de maturidade tecnológica com diferenças de médias estatisticamente significativas. Valores numa escala de 1 - discordo totalmente a 5 - concordo totalmente. (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

Por outro lado, o mesmo estudo destaca uma tendência de queda da disposição média dos colaboradores para realizarem formações contínuas no trabalho, depois de ter sido realizado investimento em Indústria 4.0 nas suas organizações. Daqui, entende-se que, por um

lado, existe predisposição por parte dos colaboradores das empresas que ainda não investem em I4.0 para enriquecerem o seu conhecimento e empregarem esforços na aquisição de novas competências. Por outro, reforça-se a necessidade acrescida de uma boa gestão de recursos humanos e cultura organizacional aquando da implementação de investimento nestas iniciativas, para que as implementações sejam convenientemente recebidas e se evitem consequências adversas nas organizações.

Por tudo isto, o presente capítulo delimita um conjunto de ações para tornar as organizações recetivas às novas tecnologias e à mudança a elas intrínseca (Tabela 4). Primeiramente, estas deverão preocupar-se em garantir que existe alinhamento entre a estratégia organizacional e a implementação de iniciativas de Indústria 4.0. Para tal, deverão focar-se em quatro áreas chave de intervenção: nível estratégico; indicadores estratégicos; nível de investimento; e gestão da inovação.

No que diz respeito ao **nível estratégico**, tal como já foi referido, é importante que a cultura, a estrutura e os processos das empresas sejam facilitadores da mudança, inovação e transformação. Como tal, a cultura organizacional deve fomentar um espírito colaborativo e empreendedor, onde a hipótese de falhar é percecionada como um momento de aprendizagem e uma oportunidade de melhoria. O foco deverá estar na inovação e na cocriação, incentivando-se a flexibilidade, criatividade e abertura a novas ideias e formas de trabalhar. A abordagem à mudança deve ser liderada pela gestão e todas as atividades devem estar coordenadas com as iniciativas de Indústria 4.0 a implementar. Por este motivo, devem ser feitos ajustes na estrutura organizacional tornando-a mais ágil, desburocratizada e descentralizada. Para tal, pode contar-se com a ajuda de *transformation leaders* ou *change champions*, responsáveis por liderar e definir a estratégia e *roadmap* para a transformação. As equipas de inovação e/ou projeto devem ser formadas por elementos com

competências polivalentes e interdisciplinares, que serão formados em novos formatos e métodos de trabalho ágeis pelo *Agile coach*. Este deverá ser o elemento responsável pela construção metodológica, técnica e prática do trabalho em desenvolvimento, auxiliando também na mitigação de impedimentos e constrangimentos identificados ao longo do projeto. Estando a cultura e estratégia alinhada com a necessidade de inovação e transformação digital, também os processos deverão ser repensados. Para tal, deve ser feita uma autoanálise da organização, avaliando-se os principais processos, tarefas e comunicações, enquanto simultaneamente se identificam os principais desvios e constrangimentos à automação, eficiência e conectividade da cadeia de valor. A figura 32 sintetiza este processo.



Figura 32: Procedimentos para condução de uma autoanálise estratégica da organização (Fonte: Elaboração própria)

Após a fase de reconhecimento e autoanálise, o plano de ação focar-se-á na operacionalização de mudanças que garantem os pré-requisitos para Indústria 4.0. A título de exemplo, são tipicamente realizadas alterações estruturais que visam integrar as etapas horizontais e verticais dos processos, e introduzidos instrumentos de recolha e análise de dados nas fábricas que possibilitam, entre outras opções, a comunicação em tempo real. De forma semelhante, devem garantir-se requisitos mínimos de cibersegurança tal como o armazenamento de

documentação ou cópias digitais em sistemas nuvem e a alocação de tarefas e responsabilidades respeitantes aos compromissos legais de gestão de dados, como é o caso do Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD). Por conseguinte, como resultado das auditorias conduzidas às TIC atuais e ao *hardware* existente, também o plano de ação deverá incidir sobre a adaptação das infraestruturas de TIC e o *hardware* às novas soluções de Indústria 4.0.

Além disso, sabe-se também que a forma como a mudança é comunicada dentro da organização também impacta o sucesso da implementação das iniciativas de Indústria 4.0. Uma das melhores práticas identificadas para este efeito é a realização de *workshops* de iniciação. Aqui, as empresas apresentam os projetos de Indústria 4.0 propostos, avaliando interactivamente com os seus colaboradores qual o impacto da sua implementação, reconhecendo tanto as oportunidades como os desafios. É através desta transparência que se evita a propagação de desinformação, tendo esta ação como principal objetivo a maximização dos benefícios e das oportunidades associadas ao projeto e a redução das limitações e dos desafios a ele associados.

Por fim, o último requisito respeitante à preparação do nível estratégico das empresas é o planeamento e a gestão dos recursos humanos. Deste modo, os responsáveis por este departamento deverão dedicar-se à adaptação dos espaços de trabalho face aos projetos em vigor e às suas necessidades. As condições de trabalho devem favorecer e potencializar a inovação, o espírito criativo e as dinâmicas entre as equipas. Na eventualidade de serem identificadas lacunas nas competências da força de trabalho face às necessidades dos projetos de Indústria 4.0, estes devem alinhar o processo de recrutamento com a estratégia de inovação e transformação digital em vigor e/ou atualizar e adaptar as tarefas e responsabilidades de cada colaborador recorrendo a fim de se identificarem necessidades de condução de formações ou ações de desenvolvimento de habilitações.

A implementação de qualquer projeto exige que este seja monitorizado e que a sua *performance* seja mensurada. Como tal, antes de qualquer implementação devem ser definidos **indicadores estratégicos** capazes de quantificar o desempenho das iniciativas em vigor. A tabela que se segue, sintetiza alguns dos indicadores sugeridos nesta fase. Note-se, que a adequação destes indicadores depende do(s) pilar(es) tecnológico(s) de Indústria 4.0 em implementação, devendo estes ser adaptados à realidade de cada empresa. Por exemplo, apesar do ROI ser dos indicadores mais utilizados para analisar a qualidade de investimentos realizados, no âmbito da implementação de iniciativas de Indústria 4.0, estas tipicamente geram outras oportunidades além dos proveitos em receita, tais como ganhos de aumento de flexibilidade e redução do tempo de entrega.

Tabela 3: Indicadores estratégicos na Indústria 4.0 (Fonte: Elaboração própria)

Indicadores estratégicos	Descrição
Retorno do investimento (ROI)	Métrica para quantificar os ganhos com o investimento realizado. ROI = (receita-custo) /custo
Utilização da capacidade instalada (UCI)	Proporção entre a capacidade de produção máxima da empresa e a quantidade produzida atualmente.
Performance dos equipamentos (OEE)	<p>Percentagem da eficiência geral dos equipamentos. OEE = disponibilidade * qualidade * desempenho Valor de referência: 85%</p> <p>Disponibilidade = (Tempo a produzir / Tempo programado para produzir) * 100 Valor de referência: 90%</p> <p>Qualidade = (Quantidade de itens bons/ Quantidade total produzida) * 100 Valor de referência: 99%</p> <p>Desempenho = (Quantidade produção real / quantidade produção teórica) Valor de referência: 95%</p>
Aumento capacidade de produção (%)	Aumento da quantidade máxima de produtos que a empresa consegue produzir num determinado período.
Redução do <i>time-to-market</i>	Redução do tempo médio de desenvolvimento e saída para o mercado de um produto.
Redução do tempo de inatividade não planeado	Redução média do período em que o equipamento ou linha de produção está fora de operação, sem funcionar ou sem adicionar valor para o negócio.

No que concerne o **nível de investimento**, em termos estratégicos, as empresas devem reconhecer que este será um investimento a médio-longo prazo (entre 3 e 10 anos aproximadamente). Dado que o investimento inicial é caracteristicamente elevado, uma das boas práticas reconhecidas é a de realizar investimentos parcelados. Ou seja, em vez de investir todo o valor na íntegra no momento de iniciação do projeto, desbloquear parcelas do orçamento à medida que cada etapa demonstra valor. Deste modo, o investimento nas etapas seguintes é facilmente justificado e os fundos são alocados a metas específicas visando a entrega de retornos mais significativos.

Por fim, a última dimensão que integra o processo de preparação estratégica das organizações é a **gestão de inovação**. É essencial que a inovação esteja incorporada em todos os processos, valores e abordagens da organização de forma que não seja necessário o emprego de novas abordagens à gestão dos projetos. Assim sendo, devem ser adotados conceitos e ferramentas de gestão de projetos, gestão de tempo, gestão de risco, melhoria contínua e *lean thinking*.

A título de exemplo, um gestor de projetos de inovação vai diferenciar-se de um gestor de projetos tradicional enfrentando a mudança como uma oportunidade potencialmente positiva para a organização, em vez de a considerar um problema ou risco. De igual modo, em vez de trabalhar exclusivamente em prol da entrega de projetos, preocupar-se-á com a entrega de valor e a gestão de ideias, adotando uma orientação por via de *coaching* em vez de uma liderança através da gestão de equipas.

Muitas vezes focado na entrega de vários projetos de inovação em simultâneo, é também provável que o gestor de projetos de inovação recorra a ferramentas como o planeamento colaborativo, quadros de informações visuais, quadros *kanban*, e reuniões *flash* (reuniões de poucos minutos, informais, em pé, para discutir e debater novas ideias).

Tabela 4 – Mapa estratégico de apoio ao alinhamento organizacional para a implementação de Indústria 4.0 (Adaptado de Veile, J. et al., (2018))

Pessoas	Estratégia e organização	Nível estratégico	Cultura organizacional	<ul style="list-style-type: none"> • Cultura colaborativa • Foco na inovação e cocriação • Pensamento flexível • Abordagem à mudança liderada pela gestão • Espírito empreendedor, sem medo de arriscar e poder falhar • Erros enfrentados como momentos de aprendizagem e melhoria contínua • Ambiente criativo e de abertura a novas ideias e formas de trabalhar • Atividades coordenadas com as iniciativas de I4.0 • Orientada e atenta ao consumidor • Alinhada com a estratégia de transformação digital da organização
			Estrutura organizacional	<ul style="list-style-type: none"> • Agilidade organizacional • Estrutura matricial • Tomada de decisão descentralizada • Desburocratização e empoderamento dos colaboradores • Equipas de projeto interdisciplinares lideradas por um <i>agile coach</i> • Gabinetes de mudança com <i>transformation leaders</i> ou <i>change champions</i>
			Processos organizacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Integração horizontal e vertical • Garantia de conectividade e acesso a toda a cadeia de valor • Automação e otimização dos processos • Parcerias estratégicas para cooperação em I&D • Operações guiadas autonomamente pela recolha e análise de dados
			Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Abertura para troca de informação • Comunicação clara do potencial das iniciativas de I4.0 para a organização • Organização de <i>workshops</i> de iniciação
			Cibersegurança	<ul style="list-style-type: none"> • Computação em nuvem (<i>cloud</i>) • Especialistas em TIC responsáveis pela gestão de dados segura • Compromissos legais de RGPD e cibersegurança
			Preparação técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de <i>hardware</i> • Condução de auditorias às TI atuais • Adaptação das infraestruturas de TI às novas soluções de I4.0 • Adaptação legal às TI • Investimento contínuo em I&D
			Planeamento e gestão dos RH	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptação dos espaços de trabalho aos projetos em vigor e suas necessidades • Identificação de lacunas nas competências da força de trabalho face aos projetos em vigor • Processo de recrutamento alinhado com a estratégia de inovação e transformação digital • Asseguramento de condições de trabalho favoráveis e potencializadoras de inovação • Atualização e adaptação recorrente das tarefas inerentes a cada vaga, suas responsabilidades e competências chave
		Indicadores estratégicos	Indicadores de desempenho	<p>Quantificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retorno do investimento ou <i>return on investment</i> (ROI) • Utilização da capacidade instalada (UCI) • <i>Performance</i> dos equipamentos ou <i>overall equipment effectiveness</i> (OEE) • Redução de custos de produção • Redução de erros • Aumento da taxa de produtividade ou capacidade de produção máxima • Redução de tempo de saída para o mercado (<i>time-to-market</i>) • Tempo de inatividade não planeado
		Nível de investimento	Tipo de investimento	• Investimento de médio a longo prazo na inovação e transformação digital
		Gestão da inovação	Gestão	• Adoção de conceitos e ferramentas de: gestão de projetos; gestão de tempo; gestão de risco; e melhoria contínua e lean

Tabela 5 – Mapa estratégico de apoio ao alinhamento de competências para a implementação de Indústria 4.0 (Adaptado de Veile, J. et al., (2018))

PESSOAS	Colaboradores	Competências	Desenvolvimento do conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Formação adequada ao desenvolvimento do conhecimento • Parcerias externas com institutos de investigação, universidades, empresas, etc. • Formações internas através de <i>small shots</i> e partilhas de conhecimento entre membros das equipas multidisciplinares
			Habilitações e competências	<ul style="list-style-type: none"> • Competências TIC • Competências multidisciplinares • Personalidade e <i>soft skills</i> • Abertura à mudança • Abertura a novas tecnologias • Vontade de aprender • Predisposição para o enriquecimento e desenvolvimento contínuo
			Educação e formação	<ul style="list-style-type: none"> • Requalificação da força de trabalho • Formações • <i>Workshops</i> • Aulas práticas com aplicação de técnicas <i>learn by doing</i> como o <i>PBL</i> e <i>LTR</i> • <i>E-learning</i> • Tutoria ou <i>Mentoring</i>

Áreas e temas de formação

Assegurado o alinhamento entre a estratégia organizacional e a implementação de iniciativas de Indústria 4.0, devem os esforços subsequentes ser empregues nos recursos humanos da organização. Assim, tal como ilustrado na tabela 5, o segundo foco de intervenção na preparação das empresas para a implementação de Indústria 4.0 são os colaboradores. Aqui, o principal objetivo é o de se evitarem défices nas **competências** dos recursos humanos, assegurando-se assim que estão (ou serão) contratados recursos qualificados.

Note-se, que esta etapa é dependente das anteriores, e deve, portanto, ser sucessora das atividades previamente detalhadas e respeitantes ao “Planeamento e gestão dos recursos humanos”. Posto isto, identificadas as lacunas nas competências da força de trabalho face aos projetos de Indústria 4.0 pendentes, a intervenção no domínio dos colaboradores compreende-se em três subdivisões: desenvolvimento do conhecimento; habilitações e competências; e educação e formação.

O primeiro concerne a evolução da força de trabalho atualmente empregue pela empresa e a organização de atividades e formações adequadas ao desenvolvimento do conhecimento requerido. Estas formações podem, inclusive, surgir em formato de *small shots*, pequenos seminários de partilha de conhecimento dirigidos pelos elementos das equipas multidisciplinares. Deste modo, toma-se proveito das competências existentes dentro da organização e dissemina-se esse mesmo conhecimento pelos restantes colaboradores (i.e., promove-se a autoaprendizagem).

A formação e/ou requalificação da força de trabalho também pode ser realizada por via de *workshops* práticos, implementando-se técnicas como a PBL – *Problem Based Learning*, ou aprendizagem baseada em problemas propostos e a LTR – *Learning Through Research*, ou

aprendizagem por via de pesquisa. De forma semelhante, a inscrição em plataformas de e-learning como a *Coursera* ou *Udemy* são uma forma de, simultaneamente, instruir e capacitar a força de trabalho quanto a temas específicos subscritos, enquanto se estimulam as aptidões TIC. Além disso, as boas práticas sugerem ainda a criação de programas de mentoring e acompanhamento especializado, por exemplo, através da contratação de consultores especializados, a fim de se reforçarem estratégias e planos de ação, e se instruem equipas quanto a temas ou conteúdos específicos do projeto.

Esta hipótese remete-nos para outra estratégia que deve ser adotada pelas empresas que pretendem investir em iniciativas de Indústria 4.0: o estabelecimento de parcerias externas e a sua relevância. A cooperação entre empresas, universidades, centros tecnológicos, associações empresariais, organismos públicos e outros stakeholders é essencial para a concretização da transformação de Indústria 4.0 em Portugal. Segundo dados do Eurostat, sabe-se que em 2012 Portugal se encontrava abaixo da média da União Europeia na capacidade de colaborar com outras empresas. Estima-se ainda que a nível nacional apenas 1 em cada 5 empresas colabora com outras empresas, centros tecnológicos, universidades. O resultado destes dados é o desaproveitamento das oportunidades associadas à cooperação externa, sendo, portanto, reforçada a significância da criação de ecossistemas de cooperação com parceiros ou aliados cuidadosamente escolhidos.

A condução de entrevistas a PME nacionais com atividade industrial conclui precisamente que as empresas consideram não ser possível, dada a complexidade das tecnologias e do negócio, e a volatilidade da envolvente, a garantia de sucesso dos seus projetos de Indústria 4.0, investigação e desenvolvimento, sem o apoio de parceiros estratégicos, sejam eles instituições de apoio financeiro, operacional ou de investigação.

Segue-se a subdivisão que diz respeito às habilitações e competências essenciais da força de trabalho no âmbito da implementação de Indústria 4.0. Segundo a literatura existente, as competências dos colaboradores são compostas por três áreas: o seu conhecimento, a sua atitude e as suas aptidões. Neste sentido, a tabela 6 sintetiza os requisitos chave para que as empresas alcancem o *know-how* e as competências críticas de Indústria 4.0.

Tabela 6: Competências críticas associadas à implementação de iniciativas de Indústria 4.0 (Fonte: Winning Scientific Management, 2022)

	Conhecimento	Atitude	Aptidões
Competências	<ul style="list-style-type: none"> • Literacia digital • Ferramentas analíticas • Cibersegurança • Gestão • Gestão de operações • Gestão de pessoas • Conhecimento técnico • Conhecimento linguístico - inglês e alemão • Interação c/ máquinas e equipamentos de TIC • Engenharia • Matemática • Estatística 	<ul style="list-style-type: none"> • Empreendedora • Abertura à mudança • Inteligência cultural • Vontade de aprender constantemente • Pensamento fora da caixa • Procura pela inovação • Participativa • Cooperativa • Ação interdisciplinar 	<ul style="list-style-type: none"> • Criatividade • Pensamento crítico • Interação em ambientes multiculturais • Interação em multiespaciais (teletrabalho) • Comunicação e socialização • Trabalho em equipa • Aprendizagem autónoma • Inteligência emocional • Flexibilidade cognitiva • Resolução de problemas complexos • Capacidade de negociação • Gestão de tempo

Os colaboradores deverão estar abertos à mudança e diversidade de tarefas, revelando personalidades ativas, perfeccionistas e comunicativas, e assim potencializando e facilitando a transferência de conhecimento, informação e dados ao longo da cadeia de valor.

Deverão ser capazes de cooperar entre equipa e fazer uso da sua flexibilidade, multiculturalidade e polivalência a fim de se criarem sinergias de conhecimento e se resolverem problemas complexos de forma criativa, única e inovadora. É também fundamental o

conhecimento de fundamentos básicos da matemática, engenharia e gestão, a fim de se trabalhar sempre em prol da eficiência operacional ambicionada. Por fim, dadas as singularidades de cada atividade industrial, os colaboradores deverão deter conhecimento e experiência na área em que operam, facilitando a aplicação holística e transversal das tecnologias em cada empresa.

Cada função terá ainda a si associada, um conjunto de competências específicas, resultantes da natureza de cada trabalho e tecnologia adotada, tal como ilustrado na tabela 7.

Tabela 7: Síntese de requisitos técnicos e administrativos associados às tecnologias de Indústria 4.0 (Adaptado de Zheng, T. et al., 2019)

Tecnologia ou cargo técnico	Requisito
Internet das coisas	Arquiteto de soluções IoT Engenheiro de desenvolvimento de <i>software</i>
Fabricação aditiva	Designer ou modelador digital 3D Projetista de materiais
Análise de dados	Analista de dados Gestor de cibersegurança
Robótica	Analista de matemática e dados Engenheiro de sistemas e máquinas
Realidade virtual e aumentada	Engenheiro de <i>software</i> RV/RA Designer gráfico 3D
Computação em nuvem	Gestor de segurança da rede
Cargo administrativo por tecnologia de I4.0	Gestor de projetos de inovação

Garantido o alinhamento estratégico e de recursos humanos, as PME estão preparadas para o processo de planeamento e desenvolvimento da transformação para a Indústria 4.0.

Fontes:

- Benešová, Andrea & Tupa, Jiri. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11. 2195-2202. 10.1016/j.promfg.2017.07.366.
- Grzelczak, A. & Kosacka, Monika & Werner-Lewandowska, Karolina. (2018). EMPLOYEES COMPETENCES FOR INDUSTRY 4.0 IN POLAND– PRELIMINARY RESEARCH RESULTS. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*. 10.12783/dtetr/icpr2017/17598.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. and Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0 readiness*. VDMA.
- Schumacher, Andreas & Nemeth, Tanja & Sihm, Wilfried. (2018). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. 79. 409-414. 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- Zheng, Ting & Ardolino, Marco & Bacchetti, Andrea & Perona, Marco & Zanardini, Massimo. (2019). The impacts of Industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing setor. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 10.1108/JMTM-08-2018-0269.
- COTEC (2020). Destino: Crescimento e Inovação. O impacto da inovação na *performance* económico-financeira das PME e no seu crescimento.
- Karimov Emin & Abrahamsson, John Felix & Nilsson, Bertil I. (2019) Industry 4.0 and Swedish SMEs: An assessment of current maturity level and challenges. Lund University. (visitado em março 2022) <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8994476&fileId=8994478>
- Mayer, Barbara & Sorko, Sabrina Romina & Pessl, Ernst. (2017). Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*. 5. 193. 10.11648/j.ijsts.20170506.14.
- Riley, S. Best Practices on How to Embrace Technologies Required for Industry 4.0. (2018) www.mbtmag.com/home/article/13246500/best-practices-on-how-to-embrace-technologies-required-for-industry-40 (visitado em março 2022)
- Deloitte. (2019) *Indústria 4.0. Estratégia Nacional para a Digitalização da Economia*.
- Kruger, Sean & Steyn, Adriana. (2020). A conceptual model of entrepreneurial competencies needed to utilise technologies of Industry 4.0. *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation*. 22. 146575032092735. 10.1177/1465750320927359.
- Siebel, T. (2019). *Digital Transformation* ([edition missing]). Rosetta Books. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/2433384/digital-transformation-pdf> (Original work published 2019)
- Nakajima, Seiichi. (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press.
- Veile, Johannes & Kiel, Daniel & Müller, Julian & Voigt, Kai-Ingo. (2018). *How to Implement Industry 4.0? An Empirical Analysis of Lessons Learned from Best Practices*.

7. A ESTRATÉGIA PARA AS PME

Até ao momento, o presente Guião identificou orientações teóricas e práticas das **tecnologias** associadas à Indústria 4.0. Reconheceu a capacidade de criação de valor e vantagem competitiva destas, dado o seu impacto na otimização dos processos organizacionais, mostrando como são capazes de transformar espaços fabris em *smart factories* e aperfeiçoar **produtos** gerando *smart products*. Apresentou os principais desafios associados à implementação de Indústria 4.0 e, face a estes, concebeu orientações gerais sobre o processo de preparação das empresas e suas **pessoas**, que deve anteceder a transformação digital e o investimento em tecnologias I4.0.

A figura 33 sintetiza estas disposições, esquematizando o ecossistema em torno da implementação de Indústria 4.0.

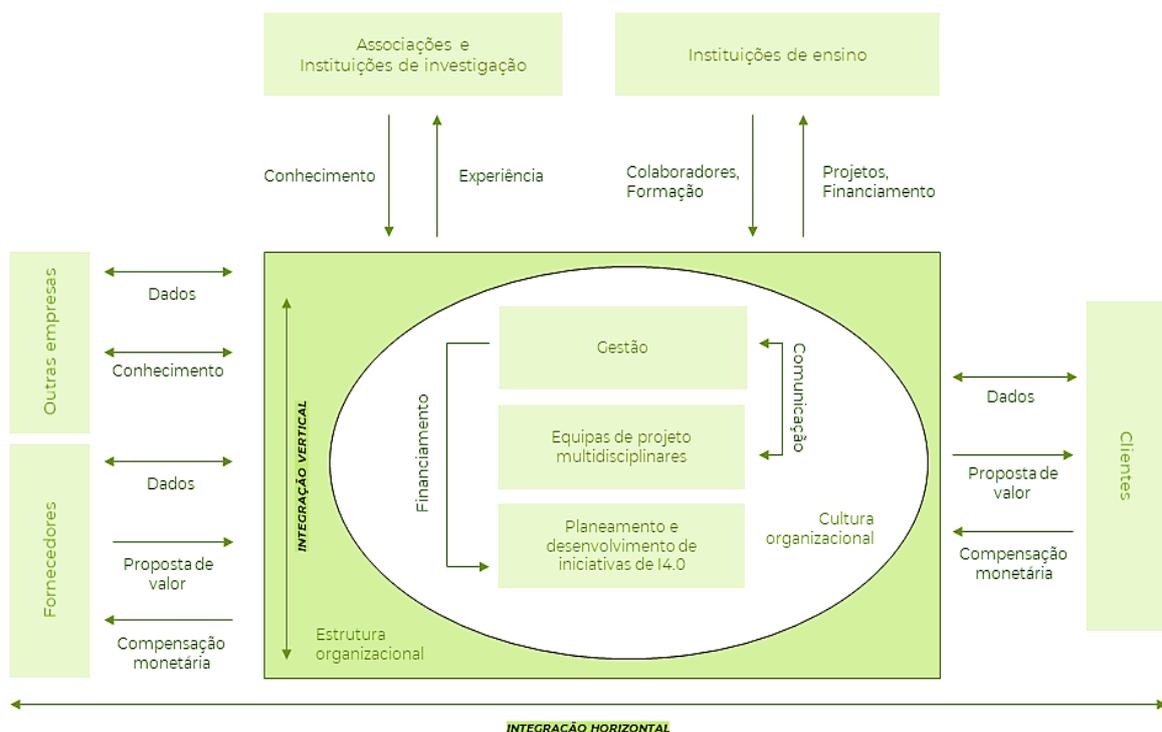


Figura 33: Esquema da estrutura de implementação de Indústria 4.0 nas PME

Neste sentido, estando as PME industriais instruídas quanto às premissas da transformação digital, exige-se que o corrente capítulo as oriente na criação de mapas de planeamento estratégico para a implementação de Indústria 4.0. Esta ferramenta deverá mapear as diferentes etapas e estratégias envolvidas no processo de transformação das empresas industriais, auxiliando-as na determinação do seu estado atual e do nível de transformação pretendido.

Para este efeito, foi concebido um modelo de apoio à implementação de Indústria 4.0 nas PME industriais. Este é um modelo de aplicação transversal, podendo ser adotado por qualquer organização e assim adaptado à sua atividade fabril. Para garantir a sua correta utilização, as empresas deverão estar intelectualizadas quanto aos fundamentos e às conceções considerados na sua criação.

Fundamentos para a criação do *roadmap*

Tal como fora referido ao longo do presente Guião, a implementação de iniciativas de Indústria 4.0 está afeta a três pilares fundamentais: a tecnologia, os produtos e as pessoas. Por este motivo, a base que serve de alicerce para a operacionalização de um caminho estratégico, que permita às empresas implementarem com sucesso estas oportunidades, deve basear-se nestas três dimensões.

Com efeito, foi construído um modelo de maturidade dividido nestas três áreas de intervenção, tendo cada uma delas a si associadas um conjunto de subdimensões. Para que estas pudessem ser mensuráveis, cada subdimensão compreende um agregado de indicadores observáveis. Deste modo, pressupõe-se que as empresas utilizarão o presente modelo para: (1) Identificarem o seu estágio de maturidade atual nas diferentes áreas estruturais. (2) Definirem o estágio de maturidade que pretendem alcançar no final do processo de transformação.

A dimensão respeitante à **Tecnologia** traça os diferentes perfis das operações e fábricas inteligentes, potencializadas pela implementação de I4.0. Os indicadores observáveis que caracterizam o grau de maturidade das Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*) são, portanto, a infraestrutura dos seus equipamentos atuais e objetivados e os níveis de adoção de modelação digital, recolha e utilização de dados e sistemas de TI. Por sua vez, as Operações Inteligentes (*Smart Operations*) são avaliadas face ao grau de adoção de sistemas integrados de partilha de informação, cibersegurança e computação em nuvem, bem como o nível de condução de trabalho e processos de forma autónoma.

A dimensão dos **Produtos** diz respeito às funcionalidades TIC suplementares e utilização de dados que caracterizam os produtos inteligentes próprios da Indústria 4.0 (*Smart Products*). Note-se que no momento de autoanálise destas duas dimensões, as empresas deverão reconhecer os conceitos a elas associados, identificados no presente documento de apoio. Em particular, os capítulos 2, 3 e 4 aprofundam as especificidades tecnológicas, dos processos e produtos, inerentes à implementação de I4.0.

Por último, a dimensão das **Pessoas** diz respeito ao alinhamento estratégico e dos recursos humanos, que deve anteceder a transformação digital e o investimento em Indústria 4.0. Por esse motivo, tal como detalhado no capítulo 6, divide-se em duas subdimensões: Estratégia e Organização, e Colaboradores. Para mensurar o alinhamento estratégico, avaliar-se-á o nível estratégico da organização, os indicadores e o tipo de investimento e a adoção de conceitos de gestão de inovação. Relativamente a alinhamento dos recursos humanos e à subdimensão dos colaboradores, está será observada através da análise das competências destes. A figura 34 sintetiza esta decomposição, representando-a visualmente num modelo em círculo.



Figura 34: Dimensões e campos associados à Indústria 4.0 (Adaptado de Karimov & Abrahamson (2019), Schumacher et al. (2018) e Lichtblau et al. (2015))

Processo de adoção e modelo de funcionamento

Para além de ser uma ferramenta de avaliação de maturidade em si, o presente modelo guia as empresas na compreensão do percurso que devem seguir para o desenvolvimento da Indústria 4.0. Ao exibir o *gap* existente entre a sua situação atual e os objetivos perseguidos, o modelo traça o caminho que as empresas deverão percorrer, discriminando as transformações necessárias para a obtenção da maturidade desejada.

Quer isto dizer, que o processo de adoção de I4.0 nas PME industriais se alcançará gradualmente nas diferentes áreas estruturais. Em particular, prevê-se que as empresas se encontrem num de seis níveis distintos.

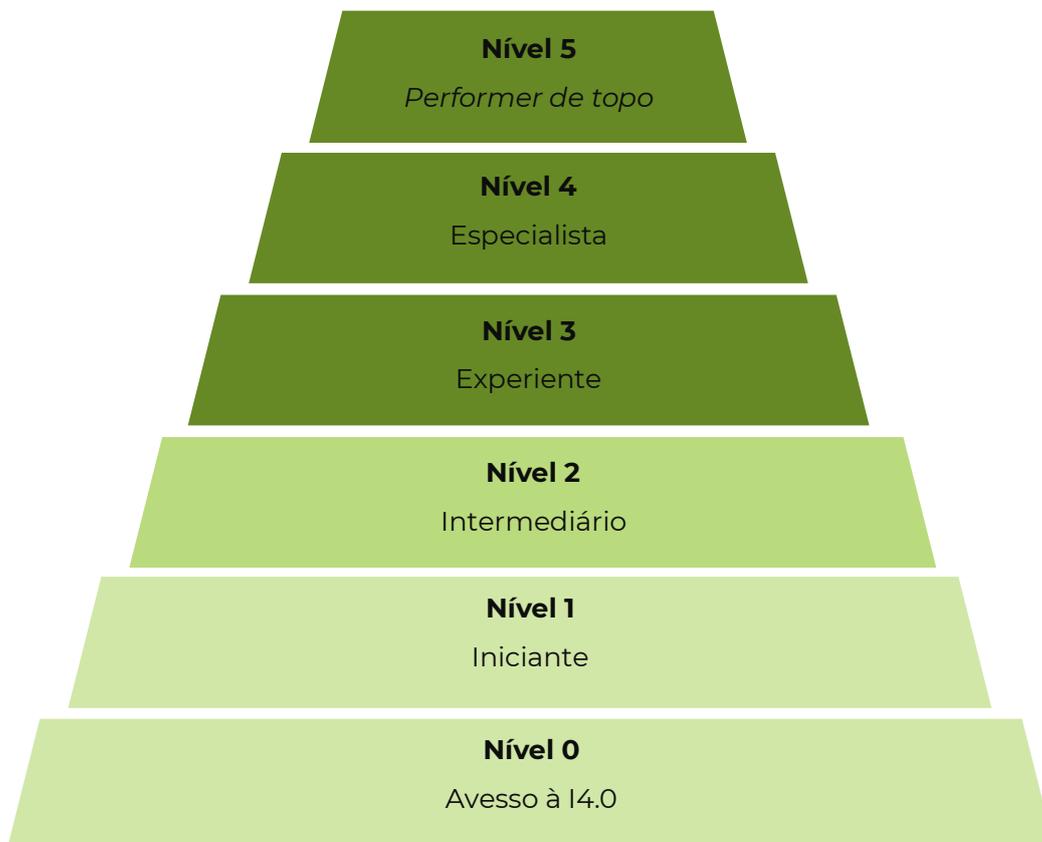


Figura 35: Seis níveis do modelo de maturidade e *roadmap* de implementação de Indústria 4.0. (Adaptado de Karimov & Abrahamson (2019), Schumacher et al. (2018) e Lichtblau et al. (2015))

Nível 0 – Averso à Indústria 4.0: estado de desenquadramento. As empresas que se encontrem nesta fase não cumprem, para o respetivo indicador, nenhum requisito referente à Indústria 4.0.

Nível 1 – Iniciante: o envolvimento na Indústria 4.0 neste nível demarca-se pelas suas iniciativas piloto em I4.0 em vários departamentos, bem como pela realização de investimentos numa única área. Os sistemas TI da empresa dão suporte a apenas alguns processos produtivos e os futuros requisitos de integração e comunicações são apenas parcialmente cumpridos pela infraestrutura de equipamentos já existente na empresa. A partilha de informação através dos sistemas da empresa limita-se a apenas algumas áreas e as soluções de cibersegurança estão apenas em fase de planeamento ou implementação. Neste nível, são dados os primeiros passos em direção à atribuição de funcionalidades TI suplementares aos produtos e as competências necessárias por parte dos colaboradores para o desenvolvimento em I4.0 são apenas encontradas em poucas áreas da empresa.

Nível 2 – Intermediário: Neste nível, a empresa incorpora I4.0 na sua orientação estratégica e encontra-se a desenvolver a sua estratégia para a implementação de I4.0 e de indicadores para medição do estado da mesma. De notar que os investimentos em I4.0 são apenas realizados em algumas áreas e apenas alguns dados provenientes da área de produção são recolhidos automaticamente e usados, de forma limitada. A expansão futura não é suportada pela infraestrutura de equipamentos e a partilha interna de informação encontra-se integrada nos sistemas, em certa medida. É tida em consideração a integração da partilha de informação de parceiros empresariais e estão a ser dados os primeiros passos para a concretização da mesma. Em termos de soluções de cibersegurança, estas encontram-se em vigor e em expansão. Neste nível, as empresas estão já a fabricar produtos com as primeiras funcionalidades TI suplementares e as competências dos

colaboradores para a expansão em I4.0 podem ser encontradas em algumas áreas.

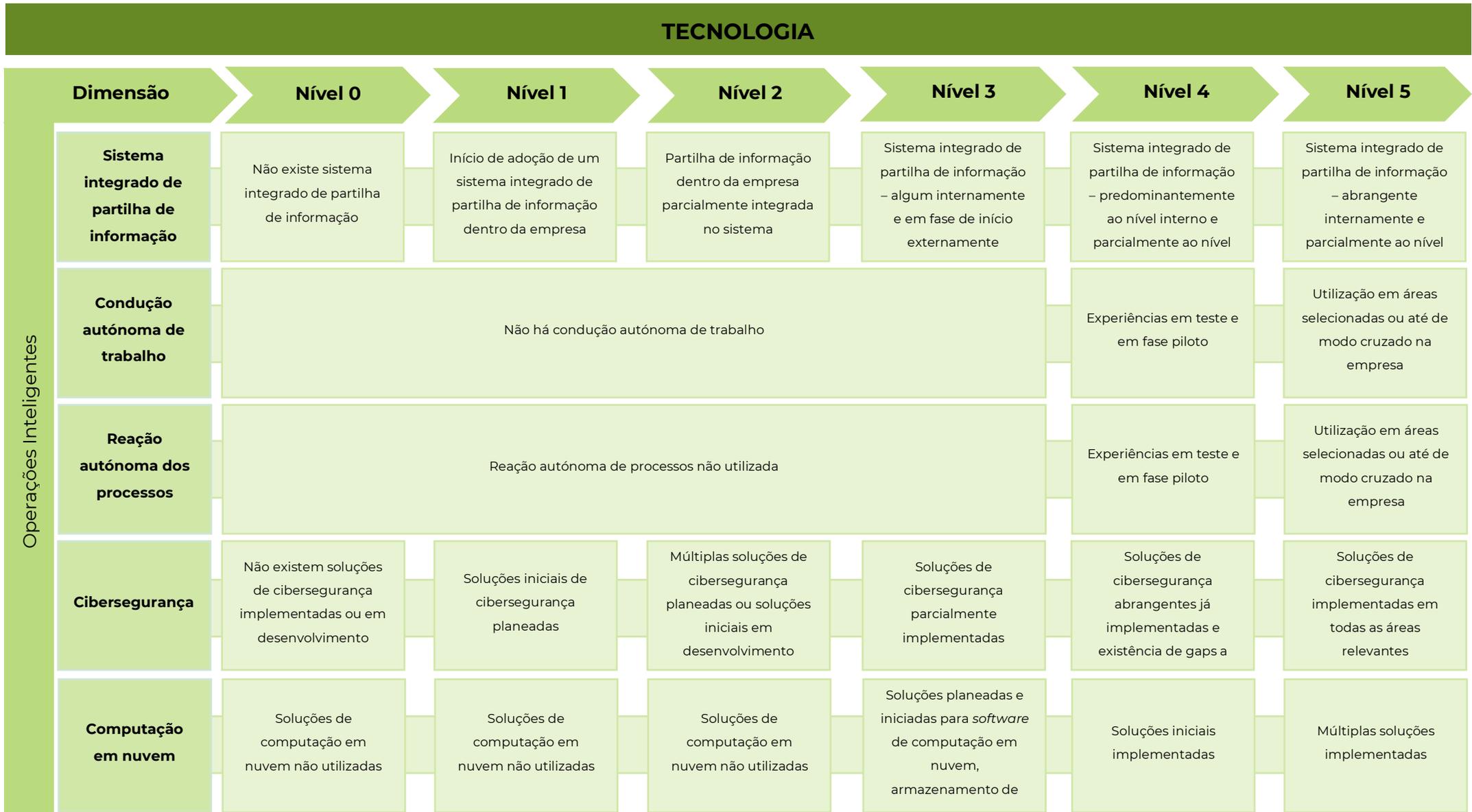
Nível 3 – Experiente: Neste nível já se encontra formulada uma estratégia de I4.0. A empresa faz múltiplos investimentos em I4.0 em várias áreas e começa também a promover a introdução de I4.0 nos seus departamentos através de gestão da inovação. A ligação entre sistemas TI é suportada por uma interface adequada, os sistemas TI dão suporte aos processos produtivos e a recolha de dados é feita automaticamente em áreas-chave. A infraestrutura de equipamentos é possível de atualizar e apoia a expansão futura e a partilha de informação dentro e fora da organização é possibilitada e está parcialmente integrada no sistema. Foram também implementadas soluções de cibersegurança necessárias e são previstas de adotar soluções baseadas em computação em nuvem para acomodar a expansão futura. Este ambiente descrito possibilita a empresa criar produtos com diversas funcionalidades TI suplementares interligadas. As competências dos colaboradores são expandidas através de esforços extensivos.

Nível 4 – Especialista: Considera-se que as empresas especializadas utilizam uma estratégia de I4.0 abrangente e monitorizam-na com indicadores adequados e realizam investimentos em I4.0 em quase todas as áreas relevantes à empresa. O processo de investimento é apoiado de modo interdepartamental pela gestão da inovação. Os sistemas TI dão suporte à maioria dos processos produtivos e recolhem um grande volume de dados para posterior otimização de processos. Denota-se que uma maior expansão na empresa é possibilitada devido aos equipamentos existentes já satisfazerem os requisitos de integração futuros. A informação interna e interempresa está amplamente integrada no sistema, as soluções de cibersegurança são utilizadas em áreas relevantes da empresa e é possível melhorar as TI através de soluções baseadas em computação em nuvem. A condução

autónoma de trabalho e a reação autónoma dos processos encontram-se a ser exploradas e tanto os produtos como os componentes de trabalho possuem funcionalidades TI suplementares que, por sua vez, permitem a recolha de dados e análises direcionadas durante a fase de utilização. As competências necessárias dos colaboradores em termos de desenvolvimento em I4.0 podem ser encontradas na maioria das áreas relevantes.

Nível 5 – Performer de topo: a empresa implementou com sucesso a estratégia I4.0 e monitoriza regularmente o estado de implementação de outros projetos, possibilitados pela realização de investimentos por toda a empresa. A gestão da inovação encontra-se também definida em toda a empresa. Os dados relevantes da produção são recolhidos automaticamente devido ao suporte abrangente do sistema de TI. Todos os requisitos ao nível de integração e de comunicações integradas no sistema são cumpridos pela infraestrutura de equipamentos existente, o que, por sua vez, torna possível a partilha de informação integrada no sistema, tanto no interior da empresa como interempresa. Foram implementadas soluções abrangentes de segurança de TI em todas as áreas e as soluções baseadas na computação em nuvem proporcionam uma arquitetura de TI flexível. A condução autónoma de trabalho e a reação autónoma dos processos estão a ser utilizadas em algumas áreas. Tanto peças de trabalho como produtos apresentam funcionalidades suplementares extensivas baseadas em TI que, por sua vez, permitem a recolha de dados e a sua utilização para funções como desenvolvimento de produtos, manutenção à distância e apoio às vendas. Os colaboradores da empresa possuem competências bem desenvolvidas em todas as áreas necessárias e a empresa pode assim avançar com a Indústria 4.0.

Modelo de maturidade para a dimensão da Tecnologia (1/2)



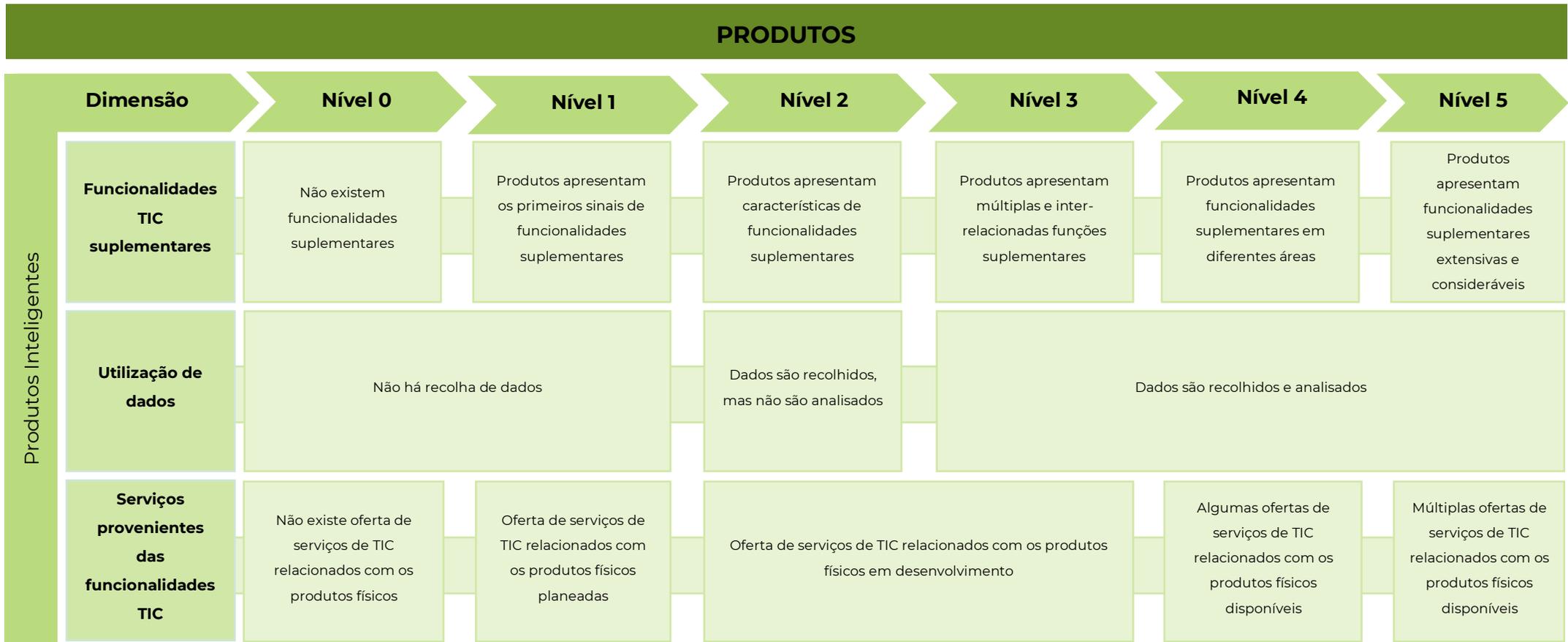
Adaptado de Karimov & Abrahamson (2019), Schumacher et al. (2018) e Lichtblau et al. (2015)

Modelo de maturidade para a dimensão da Tecnologia (2/2)

TECNOLOGIA						
Dimensão	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Infraestrutura dos equipamentos (atual)	Infraestrutura de máquinas e sistemas não pode ser controlada por TI, não há integração (M2M)	Algumas máquinas podem ser controladas por TI, são interoperáveis ou tem capacidade M2M	Infraestrutura de máquinas e sistemas pode ser controlada por TI até certo nível e está integrada	Infraestrutura de máquinas e sistemas pode ser controlada por TI e está parcialmente integrada	Máquinas podem ser completamente controladas por TI e parcialmente integradas (M2M)/	Máquinas e sistemas podem controlados por TI quase totalmente e estão 100% integradas (M2M)
Infraestrutura dos equipamentos (meta)	Máquinas e sistemas não podem ser melhorados	Definição de requisitos futuros para máquinas e equipamentos é relevantes	Algumas máquinas e sistemas podem ser melhorados	Todas as máquinas e sistemas podem ser melhorados	Máquinas já cumprem alguns dos requisitos ou podem ser melhoradas	Máquinas e sistemas já cumprem todos os requisitos futuros definidos
Modelação digital	Não há modelação digital		Alguma modelação digital			Modelação digital completa
Recolha de dados	Não há recolha digital de dados		Há recolha de dados, mas maioritariamente manual	Os dados relevantes são recolhidos digitalmente em certas áreas	Recolha digital de dados abrangente em múltiplas áreas	Recolha digital de dados abrangente e automatizada e recolha de dados digitalmente em todas as áreas
Utilização de dados	Não há dados disponíveis para uso futuro		Dados são usados para propósitos específicos (maior transparência, etc.)	Alguns dados são usados para otimizar processos (manutenção preditiva, etc.)	Dados são usados em várias áreas para otimização	Dados são usados de forma abrangente para otimização de processos
Sistemas TI	Não existe suporte de sistemas TI	Área de negócio principal suportada por sistemas TI	Algumas áreas de negócio são suportadas por sistemas TI e estão integradas	Algumas áreas de negócio são suportadas por sistemas TI e integradas umas com as outras	Suporte completo de sistemas TI, completa integração	Sistemas TI dão suporte a todos os processos da empresa e estão integrados

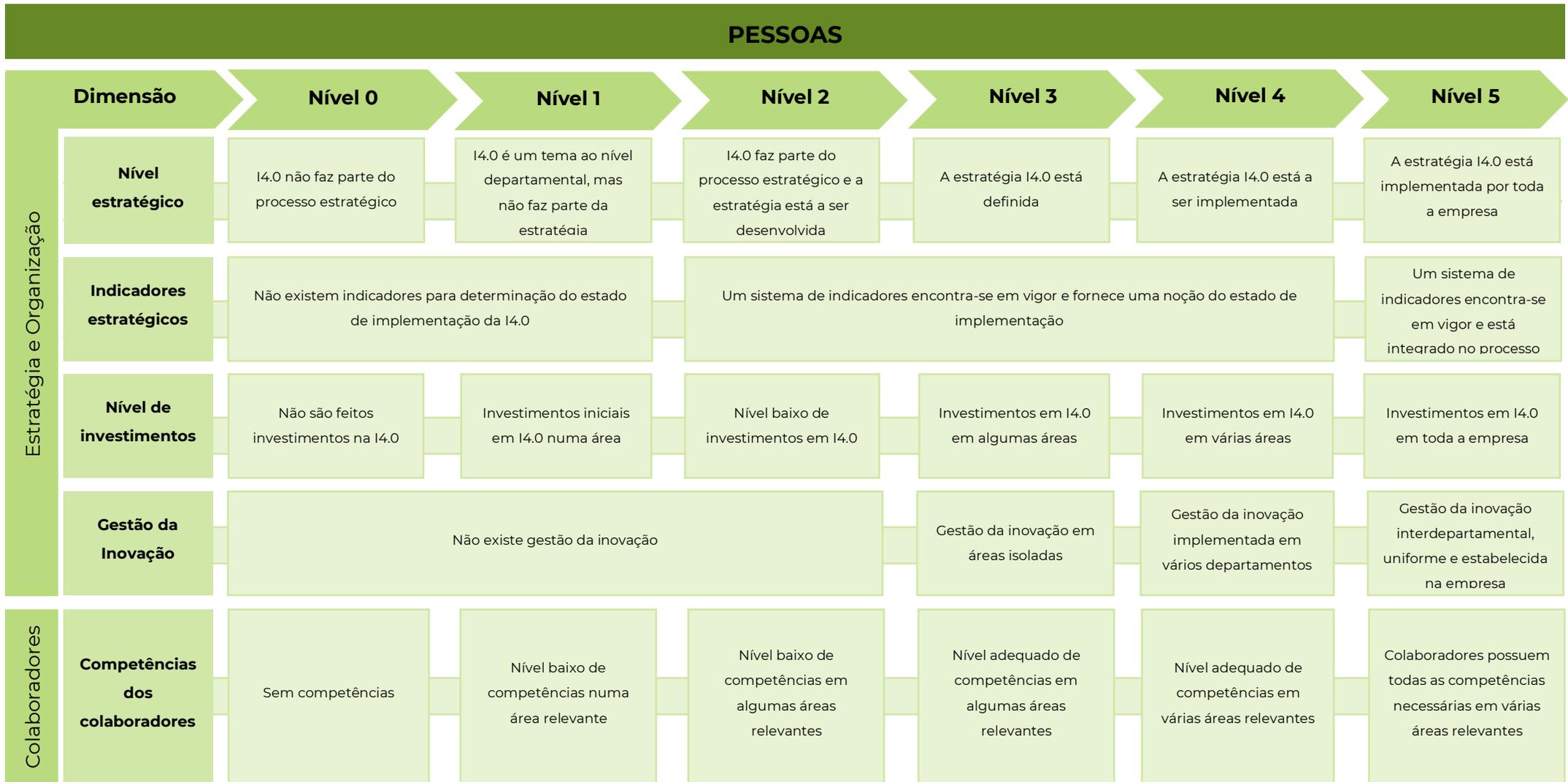
Fábricas Inteligentes

Modelo de maturidade para a dimensão dos Produtos



Adaptado de Karimov & Abrahamson (2019), Schumacher et al. (2018) e Lichtblau et al. (2015)

Modelo de maturidade para a dimensão das Pessoas



Adaptado de Karimov & Abrahamson (2019), Schumacher et al. (2018) e Lichtblau et al. (2015)

Fontes:

- Benešová, Andrea & Tupa, Jiri. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11. 2195-2202. 10.1016/j.promfg.2017.07.366.
- Grzelczak, A. & Kosacka, Monika & Werner-Lewandowska, Karolina. (2018). EMPLOYEES COMPETENCES FOR INDUSTRY 4.0 IN POLAND– PRELIMINARY RESEARCH RESULTS. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*. 10.12783/dtetr/icpr2017/17598.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E. and Schröter, M. (2015). *Industrie 4.0 readiness*. VDMA.
- Schumacher, Andreas & Nemeth, Tanja & Sihm, Wilfried. (2018). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. 79. 409-414. 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- Zheng, Ting & Ardolino, Marco & Bacchetti, Andrea & Perona, Marco & Zanardini, Massimo. (2019). The impacts of Industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing setor. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 10.1108/JMTM-08-2018-0269.
- COTEC (2020). Destino: Crescimento e Inovação. O impacto da inovação na *performance* económico-financeira das PME e no seu crescimento.
- Karimov Emin & Abrahamsson, John Felix & Nilsson, Bertil I. (2019) Industry 4.0 and Swedish SMEs: An assessment of current maturity level and challenges. Lund University. (visitado em março 2022) <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8994476&fileId=8994478>
- Mayer, Barbara & Sorko, Sabrina Romina & Pessl, Ernst. (2017). Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*. 5. 193. 10.11648/j.ijsts.20170506.14.
- Riley, S. Best Practices on How to Embrace Technologies Required for Industry 4.0. (2018) www.mbtmag.com/home/article/13246500/best-practices-on-how-to-embrace-technologies-required-for-industry-40 (visitado em março 2022)
- Deloitte. (2019) *Indústria 4.0. Estratégia Nacional para a Digitalização da Economia*.
- Kruger, Sean & Steyn, Adriana. (2020). A conceptual model of entrepreneurial competencies needed to utilise technologies of Industry 4.0. *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation*. 22. 146575032092735. 10.1177/1465750320927359.
- Siebel, T. (2019). *Digital Transformation* ([edition missing]). Rosetta Books. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/2433384/digital-transformation-pdf> (Original work published 2019)
- Nakajima, Seiichi. (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press.
- Veile, Johannes & Kiel, Daniel & Müller, Julian & Voigt, Kai-Ingo. (2018). How to Implement Industry 4.0? An Empirical Analysis of Lessons Learned from Best Practices.

8. BOAS PRÁTICAS

RECOMENDAÇÕES FINAIS

Em breves palavras, este novo paradigma, onde o homem e a máquina se acercam através da digitalização, apesar de desafiante, acompanha-se de excelentes oportunidades de criação de valor para as PME. A implementação de iniciativas de Indústria 4.0 promove aumentos de produtividade e eficiência enquanto simultaneamente aumenta a flexibilidade, agilidade e lucratividade dos negócios. Aliás, o termo assenta no pressuposto de que, através da interligação e conectividade de máquinas, sistemas de produção e equipamentos, se impulsionam melhorias na segurança, qualidade, agilidade, produtividade e eficiência dos processos produtivos.

Como apurado ao longo do presente Guião de Boas Práticas, a chave para o sucesso destes investimentos incide, portanto, sobre a capacidade de adequada preparação e transformação das empresas, nas requeridas três dimensões de intervenção: Tecnologia, Produtos e Pessoas. A implementação de iniciativas de Indústria 4.0 nas PME industriais portuguesas vai, portanto, além da capacidade de estas realizarem as devidas instalações tecnológicas. Devem, portanto:

- (1) Conduzir uma autoanálise aos seus processos e infraestruturas a fim de identificarem as suas principais vulnerabilidades e oportunidades de melhoria (consultar Figura 32).
- (2) De seguida, tomada a decisão de investimento em I4.0 e decididas as tecnologias adequadas face aos objetivos pretendidos, deve iniciar-se o processo de alinhamento estratégico e organizacional (consultar figura 3 e 4).

Note-se, que as boas práticas ditam que nesta fase devem ser estabelecidas parcerias estratégicas com outras empresas, instituições de ensino e associações ou centros de investigação, tendo sido verificadas as sinergias positivas resultantes destas colaborações.

Além disso, o tipo de investimento deve ser avaliado e as opções de apoio e financiamento externo disponíveis consideradas. Tal como disposto no capítulo 6, sugere-se o reconhecimento de investimento parcelado a médio-longo prazo.

Também nesta fase a aposta deverá incidir sobre a reestruturação da organização e sua cultura, e a correta comunicação da transformação, a fim de se promoverem com clareza as oportunidades associadas ao investimento, se fomentar a inovação de forma holística e se potencializarem as qualidades multidisciplinares da força de trabalho.

Devem ainda ser reunidos esforços no sentido de se evitarem tendências como as exibidas na Figura 31 onde, após a implementação de iniciativas de I4.0, a predisposição dos colaboradores para formações e desenvolvimento de conhecimento no trabalho diminuiu.

- (3) Estando a organização e a sua estratégia alinhadas com o investimento intencionado, devem as lacunas nos Recursos Humanos e suas competências ser suprimidas, assegurando-se assim que estão (ou serão) contratados os recursos qualificados necessários (consultar tabela 5 e 6).

Salienta-se que, apesar das competências e do *know-how* crítico comum das iniciativas de Indústria 4.0, dada a transversalidade da aplicação das tecnologias de I4.0, cada função terá ainda a si associada, um conjunto de competências específicas, resultantes

da natureza de cada trabalho e tecnologia adotada. Cabe, por isso, às empresas o critério de adaptação ao seu caso particular (consultar tabela 7).

- (4) Concluídos os passos que antecedem a implementação de iniciativas de I4.0, as empresas devem realizar uma autoavaliação da sua maturidade tecnológica, de produtos e pessoas (consultar modelo de maturidade disposto no capítulo 7).

Em particular, os capítulos 2, 3 e 4 aprofundam as especificidades tecnológicas, dos processos e produtos, inerentes à implementação de I4.0, enquanto o capítulo 6 incide sobre a dimensão das pessoas, auxiliando as empresas na precisa avaliação da sua maturidade nestas áreas estruturais.

- (5) O passo seguinte é a definição do estágio de maturidade que pretendem alcançar no final do processo de transformação (consultar modelo de maturidade disposto no capítulo 7).

Exibido o *gap* existente entre a sua situação atual e os objetivos perseguidos, o modelo traça o caminho que as empresas deverão percorrer, discriminando as transformações necessárias para a obtenção da maturidade desejada.

As empresas serão consideradas *performers* de topo quando implementarem com sucesso a estratégia de I4.0 e monitorizarem regularmente o estado de implementação dos seus projetos, possibilitados pela realização de investimentos em toda a empresa. De igual modo, também a gestão da inovação deverá encontrar-se globalmente definida em toda a empresa. Os dados relevantes da produção deverão ser recolhidos automaticamente através do suporte abrangente do sistema de TI. Todos os requisitos ao nível de integração e de comunicações integradas no sistema deverão ser cumpridos pela

infraestrutura de equipamentos existente, o que, por sua vez, possibilitará a partilha de informação integrada no sistema, tanto no interior da empresa como interempresa. Deverão ser implementadas soluções abrangentes de segurança de TI em todas as áreas e as soluções baseadas na computação em nuvem proporcionarão uma arquitetura de TI flexível. A condução autónoma de trabalho e a reação autónoma dos processos deverá a ser característica em algumas áreas. Tanto peças de trabalho como produtos apresentarão funcionalidades suplementares extensivas baseadas em TI que, por sua vez, permitirão a recolha de dados e a sua utilização para funções como o desenvolvimento de produtos, manutenção e apoio à distância. Finalmente, estarão asseguradas e bem desenvolvidas em todas as áreas as competências críticas da Indústria 4.0.

Lista de Abreviaturas

5V's – Volume, Velocidade, Variedade, Variabilidade e Veracidade

AWS – *Amazon Web Services*

CAD – *Computer aided design*

CPS – *Cyber-Physical Systems*

EBIDTA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

I4.0 – Indústria 4.0

I&D – Investigação e Desenvolvimento

IA – Inteligência Artificial

IaaS – Infraestrutura como Serviço

IDI – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

IIoT – *Industrial Internet of Things*

IoT – *Internet of Things*

LTR – *Learning Through Research*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PaaS – Plataforma como Serviço

PBL – *Project Based Learning*

PBO – *Project Based Organization*

PME – Pequenas e Médias Empresas

RA – Realidade Aumentada

RFID – *Radio Frequency Identification*

RGPD – Regulamento Geral de Proteção de Dados

ROI – Retorno sobre Investimento

RV – Realidade Virtual

SaaS – *Software como Serviço*

TI – Tecnologia da Informação

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

UCI – Utilização da Capacidade Instalada

VAB – Valor Acrescentado Bruto

VUCA – *Volatility, Uncertainty, Complexity & Ambiguity*

WAAM – *Wire Arc Additive Manufacturing*



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional