



Perceções da Indústria 4.0 nas Empresas Portuguesas: Benefícios, Desafios e Fatores Críticos de Sucesso

NUNO MIGUEL DE ANTUNES MACHADO

outubro de 2024

**Perceções da Indústria 4.0 nas Empresas
Portuguesas: Benefícios, Desafios e Fatores
Críticos de Sucesso**

Nuno Miguel Antunes Machado

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Luís Miguel Ciravegna Fonseca

Co-orientador: Sandra Cristina de Faria Ramos

Júri:

Presidente:

Armando José Vilaça de Campos, Professor Adjunto, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

José Pedro Teixeira Domingues, Investigador Principal, Universidade do Minho

Luís Miguel Ciravegna Fonseca, Professor Coordenador, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, setembro 2024

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família por todo o apoio que me deram ao longo do meu percurso académico e pessoal. Em especial à minha tia Alda, à minha tia Zira, ao meu tio Paulo e ao meu tio Henrique, por sempre me terem tratado como um filho, pelos sacrifícios e paciência que tiveram comigo, pela motivação e fé que sempre demonstraram em mim.

Aos meus avós maternos que sempre me acompanharam com especial cuidado, amor e carinho, e por tudo que fizeram por mim, em prólogo do meu crescimento e educação. Ao meu avô paterno por me ter ajudado no meu crescimento.

À minha mãe, pelos sacrifícios que sempre fez por mim, principalmente nos tempos mais difícil, por ser uma referência na minha vida, pelos conselhos dados, pelo apoio incondicional que sempre demonstrou e por sempre acreditar no homem que criou. Ao meu pai.

Em segundo lugar quero agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Luís Miguel Ciravegna Fonseca e Professora Doutora Sandra Cristina de Faria Ramos que me acompanharam com paciência e trabalho infatigável durante todo o processo de realização da presente dissertação.

E por último, mas não menos importantes agradecer aos meus amigos pela amizade e companheirismo. Ao meu “pessoal” de Viseu, por terem me ajudado e acolhido desde o começo, pelas memórias criadas, pelas horas de estudo passadas e por valorizarem e enaltecem a minha pessoa. Em especial, agradecer ao Neto, ao Sócrates, ao Loureiro, ao Diogo, ao Damião, ao Costa, ao Fábio e ao Ferd (meu padrinho), à Cláudia (minha madrinha), à Bia e à Carina (minha afilhada).

Ao Rúben (meu irmão) e à Mariana, por terem sido pessoas importantes nos momentos mais atribulados e complicados que tive nos últimos anos. Agradeço-lhes por todo o apoio, paciência e amizade que sempre tiveram comigo.

E às pessoas que me ajudaram e me acompanharam nestes dois anos de mestrado. Em especial, ao João, ao Vítor e ao Filipe, pela amizade e apoio, e por terem contribuído para que o percurso fosse menos difícil.

Resumo

Este estudo explora as percepções da Indústria 4.0 (I4.0) entre as empresas portuguesas, focando-se nos seus benefícios, desafios e fatores críticos de sucesso (FCS). Usando uma abordagem de métodos mistos que envolveu um questionário em escala Likert para dados quantitativos e perguntas abertas para dados qualitativos, a pesquisa reuniu dados abrangentes dos entrevistados sobre suas experiências e opiniões sobre o I4.0. O estudo teve como objetivo investigar os benefícios operacionais, estratégicos e financeiros da I4.0, compreender os desafios enfrentados durante a sua implementação e identificar fatores de sucesso essenciais para alcançar uma adoção bem-sucedida.

Os resultados da pesquisa indicam que os entrevistados têm uma visão positiva da I4.0, particularmente em termos de taxa de inovação, eficiência e rentabilidade, com mais de 90% a concordar com esses benefícios. No entanto, são também salientados desafios significativos, como os elevados custos de investimento e a necessidade de mais conhecimentos e formação. Os dados também revelam um forte consenso sobre FCS, incluindo o envolvimento da alta administração, a participação dos funcionários, a digitalização e, mais importante, o alinhamento com a estratégia organizacional. Este alinhamento proporciona um quadro tranquilizador para o êxito da adoção da I4.0.

A investigação demonstra uma tendência sólida na percepção da I4.0, com visões consistentes em diferentes níveis de educação, tamanhos de empresas e setores da indústria. O estudo não encontrou diferenças significativas na forma como várias empresas percebem os benefícios e desafios do I4.0, sugerindo uma convergência nas atitudes em relação à digitalização. Esta aceitação universal sublinha a importância de uma abordagem equilibrada que integre os avanços tecnológicos com práticas de gestão eficazes e capital humano para uma implementação bem-sucedida da I4.0. O estudo fornece informações valiosas sobre as percepções da I4.0 entre as empresas portuguesas, destacando a visão globalmente positiva dos seus benefícios e os desafios significativos enfrentados durante a implementação. A identificação de fatores críticos de sucesso é particularmente útil para organizações que procuram adotar a I4.0. Sugere-se a investigação futura para continuar a explorar estes desafios, as diferenças sectoriais específicas e as estratégias práticas de implementação. Além disso, sugere-se uma investigação mais aprofundada sobre a diversidade regional e educacional nas percepções da I4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Benefícios, Desafios, Fatores Críticos de Sucesso, Percepções

Abstract

This study explores the perceptions of Industry 4.0 (I4.0) among Portuguese companies, focusing on its benefits, challenges and critical success factors (CSFs). Using a mixed-methods approach that involved a Likert-scale questionnaire for quantitative data and open-ended questions for qualitative data, the survey gathered comprehensive data from respondents about their experiences and opinions about I4.0. The study aimed to investigate the operational, strategic, and financial benefits of I4.0, understand the challenges faced during its implementation, and identify key success factors to achieve successful adoption.

The survey results indicate that respondents have a positive view of I4.0, particularly in terms of innovation rate, efficiency and profitability, with more than 90% agreeing with these benefits. However, significant challenges are also highlighted, such as high investment costs and the need for more knowledge and training. The data also reveals a strong consensus on CSF, including senior management engagement, employee participation, digitalization, and most importantly, alignment with organizational strategy. This alignment provides a reassuring framework for the successful adoption of I4.0.

Research shows a solid trend in the perception of I4.0, with consistent views across different levels of education, company sizes and industry sectors. The study found no significant differences in how various companies perceive the benefits and challenges of I4.0, suggesting a convergence in attitudes towards digitalization. This universal acceptance underlines the importance of a balanced approach that integrates technological advances with effective management practices and human capital for a successful implementation of I4.0. The study provides valuable insights into perceptions of I4.0 among Portuguese companies, highlighting the overall positive view of its benefits and the significant challenges faced during implementation. Identifying critical success factors is particularly useful for organizations looking to adopt I4.0. Future research is suggested to further explore these challenges, sector-specific differences and practical implementation strategies. In addition, further research on regional and educational diversity in I4.0 perceptions is suggested.

KEYWORDS: Industry 4.0, Benefits, Challenges, Critical Success Factors, Perceptions

Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Gráficos.....	xv
Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objetivos de investigação.....	2
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura do trabalho.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Conceito da Indústria 4.0.....	5
2.1.1. Indústria 4.0 nas PMEs.....	8
2.1.2. Indústria 4.0 e Sustentabilidade.....	9
2.2. Tecnologias da Indústria 4.0.....	10
2.2.1. Internet das Coisas.....	11
2.2.2. Computação em Nuvem (<i>Cloud Computing</i>).....	12
2.2.3. <i>Big Data</i>	13
2.2.4. Simulação.....	15
2.2.5. Realidade Aumentada.....	16
2.2.6. Fabrico Aditivo.....	17
2.2.7. Integração Horizontal e Vertical de Sistemas.....	18
2.2.8. Robôs Autónomos.....	19
2.2.9. Cibersegurança.....	21
2.3. Benefícios da Indústria 4.0.....	22
2.4. Desafios da Indústria 4.0.....	26
2.5. Fatores Críticos de Sucesso da Indústria 4.0.....	29
2.6. Indústria 4.0 em Portugal.....	33
2.7. Análise Crítica da revisão bibliográfica.....	34
3. Métodos e Aplicação.....	35
3.1. Recolha de Dados.....	35
3.2. População e Amostra.....	35
3.3. Metodologia Estatística Aplicada.....	36
4. Resultados e Discussão.....	39
4.1. Dados demográficos.....	39

4.1.1. Caracterização dos respondentes.....	39
4.1.2. Caracterização das empresas.....	41
4.2. Caracterização da relação com I4.0	43
4.3. Percepção dos Benefícios associados à I4.0.....	47
4.4. Percepção dos Desafios associados à I4.0.....	49
4.5. Percepção dos FCS associados à I4.0.....	50
4.6. Testes de Hipóteses	52
4.6.1. Fator de Escolaridade	52
4.6.2. Fator Dimensão da Empresa.....	57
4.6.3. Fator Área de Atuação	60
4.7. Discussão de resultados	65
5. Conclusão.....	69
5.1. Limitações e trabalhos futuros.....	70
Referências.....	73
Declaração de Integridade	81
Apêndice A	83

Lista de Figuras

Figura 1 – As diferentes revoluções industriais, até à I4.0. [16]	6
Figura 2 - Princípios I4.0.	7
Figura 3 -Os pilares da I4.0. [20]	11
Figura 4 - Modelo 5V da BD. Adaptado de [37].	14
Figura 5 - Objetivos da simulação <i>online</i> para processos produtivos. Adaptado de [44].....	15
Figura 6 - Alinhar a estratégia da organização com as iniciativas da I4.0 [31].	30

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Contribuições da I4.0 relativamente aos três principais pilares da sustentabilidade. Adaptado de [34].	9
Tabela 1 – Contribuições da I4.0 relativamente aos três principais pilares da sustentabilidade. Adaptado de [34]. (Continuação)	10
Tabela 2 – Valor acrescentado da RA através da I4.0. Adaptado de [46].	17
Tabela 3 - Principais benefícios da I4.0. Adaptado de [25].	25
Tabela 3 - Principais benefícios da I4.0. Adaptado de [25]. (Continuação).	26
Tabela 4 - Principais desafios da I4.0. Adaptado de [15, 25, 74].	28
Tabela 4 - Principais desafios da I4.0. Adaptado de [15, 25, 74]. (Continuação)	29
Tabela 5 - Fatores Contextuais e de Implementação. Adaptado de [65].	32
Tabela 6 – Análise quanto à frequência absoluta e relativa da dimensão das empresas.	42
Tabela 7 – Resultados obtidos dos fatores analisados.	67
Tabela 7 – Resultados obtidos dos fatores analisados. (Continuação)	68

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Género dos respondentes.....	40
Gráfico 2 - Nível de escolaridade.....	41
Gráfico 3 - Área de atuação da empresa.....	42
Gráfico 4 - Nível de familiarização com a I4.0.....	44
Gráfico 5 - Distribuição percentual de participantes que têm ou não conhecimento sobre as tecnologias da I4.0.....	45
Gráfico 6 - Adoção das Tecnologias I4.0.....	46
Gráfico 7 - Dados relativos às perceções dos benefícios da I4.0.....	47
Gráfico 8 - Dados relativos às perceções dos desafios da I4.0.....	49
Gráfico 9 - Dados relativos às perceções dos FCS da I4.0.....	51
Gráfico 10 – <i>Boxplot</i> do construto benefícios para o Fator de Escolaridade.....	53
Gráfico 11 - <i>Boxplot</i> do construto desafios para o Fator de Escolaridade.....	54
Gráfico 12 - <i>Boxplot</i> do construto FCS para o Fator de Escolaridade.....	56
Gráfico 13 - <i>Boxplot</i> do construto benefícios para o Fator de Dimensão da Empresa.....	57
Gráfico 14 - <i>Boxplot</i> do construto desafios para o Fator de Dimensão da Empresa.....	59
Gráfico 15 - <i>Boxplot</i> do construto FCS para o Fator de Dimensão da Empresa.....	60
Gráfico 16 - <i>Boxplot</i> do construto benefícios para o Fator Área de Atuação.....	61
Gráfico 17 - <i>Boxplot</i> do construto desafios para o Fator Área de Atuação.....	62
Gráfico 18 - <i>Boxplot</i> do construto FCS para o Fator Área de Atuação.....	64

Acrónimos

Lista de Acrónimos

BD	<i>Big Data</i> (Grande Volume de Dados)
BDA	<i>Big Data Analytics</i> (Análise de Grande Volume de Dados)
CC	<i>Cloud Computing</i> (Computação em Nuvem)
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> (Controlo Numérico Computorizado)
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i> (Sistemas Ciber-Físicos)
CS	<i>Cybersecurity</i> (Cibersegurança)
DoS	<i>Denial Of Service</i> (Negação de Serviço)
EMN	Empresas Multinacionais
EU	<i>European Union</i> (União Europeia)
EUA	Estados Unidos da América
FCS	Fatores Críticos de Sucesso
HMI	<i>Human-Machine Interface</i> (Interação Homem-Máquina)
I4.0	<i>Industry 4.0</i> (Indústria 4.0)
IA	Inteligência Artificial
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i> (Internet Industrial das Coisas)
IoS	<i>Internet of Services</i> (Internet dos Serviços)
IoT	<i>Internet of things</i> (Internet das Coisas)
IRC	Intervalo Interquartil
PMEs	Pequenas Médias Empresas
Q1	Primeiro Quartil
Q3	Terceiro Quartil
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
SAMARTH	<i>Smart Advanced Manufacturing and Rapid Transformation Hub</i> (Centro de Fabrico Avançado Inteligente e de Transformação Rápida)
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação

1. Introdução

Neste capítulo introdutório é feito o enquadramento do tema da dissertação, assim como são definidos os objetivos e as questões de investigação, a metodologia utilizada e a estrutura do documento.

1.1. Enquadramento e motivação

O desenvolvimento económico atual é marcado por um aumento dos riscos que afetam as operações dos sistemas económicos a vários níveis. O cenário competitivo está a intensificar-se, impulsionado por mudanças rápidas nas preferências dos consumidores e pelo aumento dos custos dos recursos. Simultaneamente, o florescimento de novas tecnologias, particularmente no domínio digital, apresenta novas perspetivas para o desenvolvimento do sistema económico e uma maior eficiência operacional. Desta forma, uma abordagem de destaque para o avanço das empresas no panorama atual gira em torno do conceito I4.0. Este paradigma não só serve de base fundamental para o progresso das empresas, como também desempenha um papel crucial na elevação da competitividade. A adoção dos princípios da I4.0 permite às empresas formular estratégias orientadas para a obtenção de resultados superiores na era atual da transformação digital, revelando-se fundamental para aumentar a eficácia operacional, reduzir os custos internos e aumentar o valor através de componentes inovadores, garantindo que as empresas não só sobrevivam, como prosperem num ambiente caracterizado por desafios e oportunidades dinâmicas [1].

A essência da quarta revolução industrial reside na forma como as sociedades e as indústrias se adaptam às mudanças transformadoras. A primeira revolução industrial marcou a introdução das máquinas a vapor, seguida da segunda revolução, catalisada pelos progressos da eletricidade. A terceira revolução testemunhou a integração dos semicondutores no desenvolvimento de computadores e a automatização da produção através da Internet. Atualmente, encontramos-nos no meio da quarta revolução digital, usualmente designada por I4.0. Esta era é caracterizada pela influência generalizada das tecnologias digitais, moldando a forma como as indústrias respondem e aproveitam o cenário em evolução da inovação e da conectividade [2].

A I4.0 representa uma reformulação fundamental da cadeia de valor para as empresas, com impacto em todo o domínio do desenvolvimento, produção, distribuição e marketing de produtos. Esta transformação é impulsionada pelo aparecimento de tecnologias inovadoras, incluindo os Big Data (BD), a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), a Impressão

Introdução

3D e a Realidade Aumentada (RA), entre outras. Estas tecnologias, em conjunto, alteram os paradigmas operacionais das empresas, resultando em custos operacionais reduzidos, maior eficiência, maior sustentabilidade, maior segurança dos trabalhadores, maior qualidade dos processos e o aumento de oportunidades de novos e lucrativos modelos de negócio [3].

Apesar do potencial considerável oferecido por este paradigma, a sua implementação é acompanhada de desafios notáveis. As considerações de segurança, particularmente na salvaguarda de dados sensíveis e na abordagem da suscetibilidade dos sistemas interligados, surgem como riscos significativos. Outros desafios envolvem os investimentos substanciais necessários para a implementação de tecnologias avançadas e a atualização das infra-estruturas, o que leva a que muitas empresas, especialmente as mais pequenas, possam enfrentar restrições financeiras na adoção destas soluções de ponta, o que pode dificultar uma integração generalizada. A transformação da força de trabalho torna-se, de igual modo um desafio notável, devido a uma necessidade urgente na medida em que as tecnologias inovadoras redefinem as funções profissionais, exigindo o desenvolvimento de novos conjuntos de competências e ajustes nas abordagens educativas [4].

Contudo a sua implementação é um processo complexo onde a maioria das organizações não possui uma estratégia organizacional adequada para a implementação da I4.0 havendo também uma falta de disponibilidade de especialistas para chefiar ou liderar e gerir os projetos da I4.0. Assim, pode haver vários outros fatores que podem influenciar a implementação bem-sucedida da mesma [5].

1.2. Objetivos de investigação

A presente investigação visa aprofundar a compreensão das perceções da I4.0, focando nas reações distintas dos participantes. Este estudo propõe uma análise abrangente, analisando os benefícios, desafios e FCS associados à adoção da I4.0 nas organizações portuguesas, em diversos setores de atuação.

Posto isto, este trabalho tem como finalidade responder às seguintes questões de investigação:

- “Qual a perceção dos benefícios da I4.0 segundo as empresas portuguesas?”
- “Qual a perceção dos desafios da I4.0 segundo as empresas portuguesas?”
- “Qual a perceção dos FCS da I4.0 segundo as empresas portuguesas?”

Para alcançar este objetivo geral, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- I. Investigar os benefícios operacionais, estratégicos e financeiros associados à adoção da I4.0.
- II. Investigar os desafios enfrentados e as preocupações das organizações no que diz respeito à implementação da I4.0.
- III. Investigar os fatores críticos que contribuem para o sucesso na implementação da I4.0, assim como a sua importância.
- IV. Testar as seguintes hipóteses de investigação:

H1a: O grau de escolaridade dos respondentes influencia a percepção dos benefícios associados à adoção da I4.0.

H1b: O grau de escolaridade dos respondentes influencia a percepção dos desafios associados à adoção da I4.0.

H1c: O grau de escolaridade dos respondentes influencia a percepção dos FCS associados à adoção da I4.0.

H2a: A dimensão da empresa influencia a percepção dos benefícios associados à adoção da I4.0.

H2b: A dimensão da empresa influencia a percepção dos desafios associados à adoção da I4.0.

H2c: A dimensão da empresa influencia a percepção dos FCS associados à adoção da I4.0.

H3a: A área de atuação da empresa influencia a percepção dos benefícios associados à adoção da I4.0.

H3b: A área de atuação da empresa influencia a percepção dos desafios associados à adoção da I4.0.

H3c: A área de atuação da empresa influencia a percepção dos FCS associados à adoção da I4.0.

Posto isto, o principal objetivo da presente dissertação é descobrir e analisar qual a percepção dos participantes relativamente à I4.0 procurando compreender os benefícios, as barreiras e os FCS para a implementação da I4.0. Pretende-se que este estudo contribua, a nível empresarial e académico, para a adoção da I4.0 pelas indústrias portuguesas.

1.3. Metodologia

Para compreender as percepções sobre a I4.0 no panorama português, recorre-se a uma metodologia quantitativa através de questionário com escala de Likert, complementada por metodologia qualitativa suportada por perguntas de resposta aberta no referido *survey*. O *survey* é utilizado como metodologia de investigação, porque nos permite recolher informações de uma forma mais abrangente e, conseqüentemente, a analisar as mesmas em dados representativos [6]. Neste sentido, foi desenvolvido um questionário *online* no aplicativo Google Forms, o que torna a recolha de dados mais rápida e a capacidade de alcance mais extensa, viabilizando a eficácia de resposta [7].

A estrutura do questionário apresenta cinco secções. A primeira é dedicada à recolha de informações sobre o perfil demográfico dos participantes (quatro questões: género, grau de ensino, dimensão da empresa, setor de atuação da empresa). A segunda foca as tecnologias da I4.0 (três questões: nível de conhecimento da I4.0, conhecimento relativo às tecnologias I4.0, tecnologias I4.0 utilizadas pela empresa). A terceira e quarta secção contém questões sobre os benefícios e desafios da implementação da I4.0, utilizando a escala de Likert de 5 pontos ("Discordo totalmente" a "Concordo totalmente") e uma questão de resposta aberta. A quarta secção é dedicada à avaliação da percepção dos FCS da I4.0 utilizando, de igual modo, a escala de Likert de 5 pontos.

Introdução

Segundo Saunders, Lewis e Thornhill [8, 9], a filosofia da investigação da dissertação apresenta carácter positivista visto que, envolve a recolha de dados por meio de um questionário com perguntas estruturadas e respostas pré-determinadas. Esta abordagem decorre num espaço temporal transversal, sendo de natureza indutiva, e pode utilizar método misto, pois inclui tanto perguntas fechadas para análise quantitativa quanto perguntas abertas para coleta de dados qualitativos, procurando uma visão mais completa das perceções.

Para a revisão da literatura da dissertação, foi utilizado o método *snowballing* (bola de neve). Este método começa com a identificação de um conjunto inicial de artigos-chave, através de bases de dados académicos, revisões sistemáticas ou outros recursos relevantes. A partir deste conjunto inicial, é possível identificar outros trabalhos pertinentes através das referências dos artigos selecionados inicialmente, permitindo obter uma revisão sistemática e abrangente da literatura [7]. Posto isto, a revisão bibliográfica desenvolveu-se da seguinte forma:

1. Definição de um agrupamento de palavras-chave (*search strings*), nomeadamente: “*Benefits*”, “*Challenges*”, “*Critical success factors*” e “*Industry 4.0*”;
2. Seleção dos artigos-chave considerados relevantes para o desenvolvimento do tema através de bases de dados como Web of Science, b-on, El Sevier, MDPI, Taylor & Francis e IEEE;
3. Seleção de artigos igualmente relevantes através das referências bibliográficas dos artigos-chave.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho foi desenvolvido em capítulos, iniciando com a introdução, onde estão descritos o enquadramento do tema, os objetivos e as questões de investigação, a metodologia utilizada e, ainda, uma breve apresentação dos capítulos da dissertação. Seguido revisão da literatura, onde é realizado o levantamento teórico acerca do conceito da I4.0 e o panorama da I4.0 em Portugal, assim como os benefícios, desafios e FCS associados à implementação da mesma, além de apresentar as principais conclusões relativas à revisão bibliográfica. O terceiro capítulo aborda e explica os métodos e metodologias utilizadas para o desenvolvimento do estudo. O quarto capítulo abordará a análise dos resultados e discussão, e o quinto capítulo apresenta conclusões, limitações do estudo e perspetivas de trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, é apresentada a revisão da literatura dos conceitos abordados na dissertação, que serviram como base do estudo, do estado da arte e como fundamento e sustentação do desenvolvimento teórico do trabalho efetuado. Aqui procura-se realizar uma análise aprofundada do conceito I4.0 e identificar os seus benefícios, desafios e FCS.

A aplicação desta metodologia de revisão bibliográfica permitiu selecionar 64 artigos e 3 livros, que constam da bibliografia apresentada no final deste trabalho.

No final deste capítulo é realizada análise crítica da revisão bibliográfica.

2.1. Conceito da Indústria 4.0

As revoluções industriais são acontecimentos caracterizados pelo avanço tecnológico, impulsionados, sobretudo, pelo ambiente empresarial exigente. Estes acontecimentos impactam nas esferas económica, social e política, levando às empresas a ter de enfrentar novos desafios [10].

A primeira revolução industrial teve início na segunda metade do século XVIII com a introdução de processos mecanizados nos sistemas de produção. A partir da década de 1870, o surgimento da eletricidade e do Taylorismo conduziram à segunda revolução industrial. A terceira revolução industrial, também designada por "revolução digital", nasce por volta dos anos 70 com a integração de processos de produção automatizados, auxiliados pelas tecnologias de informação (TI) e eletrónica avançada [11].

A quarta revolução industrial é simbolizada pela I4.0 [11]. Este termo procede da iniciativa denominada "*Industrie 4.0*", com o intuito de promover a eficiência e a produtividade do setor industrial alemão para apoiar o crescimento da sociedade [11, 12, 13]. O conceito I4.0 tornou-se público em 2011 promovido por uma associação de representantes do mundo empresarial, político e académico, defendendo que a I4.0 teria a capacidade de proporcionar melhorias significativas nos processos de fabrico industriais, no setor de engenharia, no uso de materiais e cadeia de abastecimento e gestão do ciclo de vida [11, 14]. Novos programas surgiram em diferentes países com o aparecimento deste paradigma, é o exemplo da "*Smart Manufacturing*" nos EUA, o "*Made in China 2025*" na China, o "*Future of Manufacturing*" no Reino Unido e o "*Smart Advanced Manufacturing and Rapid Transformation Hub (SAMARTH)*" - Udyog Bharat 4.0" na Índia, visando, de igual modo, promover o desenvolvimento nacional [12, 15].

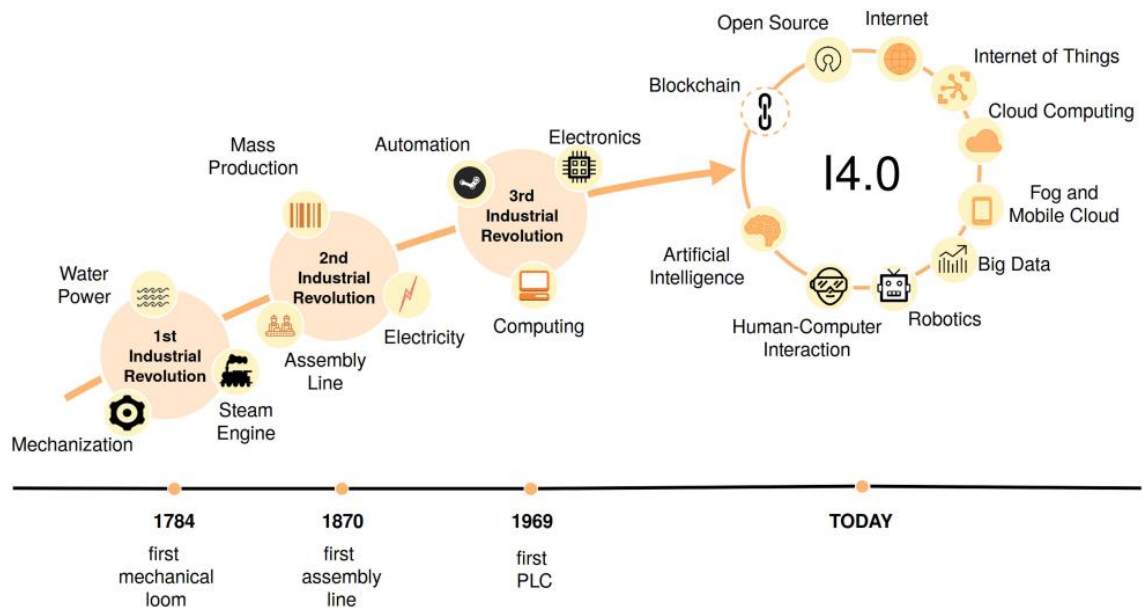


Figura 1 – As diferentes revoluções industriais, até à I4.0. [16]

O aparecimento e o desenvolvimento da I4.0 é motivado por uma forte dependência da automatização e da tecnologia digital [17]. Esta necessidade foi possível colmatar com a integração e o avanço tecnológico das tecnologias de informação e comunicação (TIC), o que possibilitou às empresas novos paradigmas de sistemas de produção e gestão que dependem principalmente de uma maior comunicação e colaboração ao longo das cadeias de valor [18].

A mudança tecnológica permite um cenário integrado e interligado nas empresas, que ocorre através da integração de sistemas inteligentes, IoT, Internet dos Serviços (IoS), *Cyber-Physical Systems* (CPS), entre outros [14, 19]. Comunicação entre pessoas, máquinas e recursos torna-se possível, assim como a produção de produtos que conhecem o seu histórico de produção, o seu estado atual e o seu objetivo, ao qual são designados por produtos inteligentes [11].

Os CPS, integram ligações em rede, computação e armazenamento para ligar os domínios virtual e físico, e permite às empresas o rastreio em tempo real de produtos inteligentes, facilitando sistemas automatizados que ligam entidades físicas a redes de comunicação, sendo a sua aplicação abrangente a vários sectores, incluindo o fabrico, a saúde, as energias renováveis, os transportes, a agricultura, redes informáticas, entre outros [20]. Reagindo às mudanças, os CPS integram recursos físicos na IoT para serviços de fabrico adaptáveis e seguros [21].

Outras tecnologias como robôs autónomos, BD, RA, fabrico aditivo (FA), *Cloud*, cibersegurança (CS), a integração horizontal e vertical de sistemas, simulações, entre outros, são cruciais no processo de melhoria das organizações aquando da implementação da I4.0 [19]. O uso destas tecnologias digitais nas várias divisões da organização é o que proporciona a transformação digital da indústria transformadora de fábricas tradicionais para fábricas inteligentes [17].

Neste contexto, a literatura [10, 11] identifica seis princípios que mais se destacam derivados das tecnologias da I4.0 que inclui, interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação ao serviço e modularidade. Com o objetivo de promover

uma implementação de sistemas I4.0 sustentáveis, Habib e Chimsom [22] adicionam um sétimo princípio designado por ecodesign.

Estes princípios procuram tornar as empresas inteligentes e adaptáveis, com capacidade de comunicação e colaboração entre sistemas, de monitorização remota, de tomada de decisões autônomas, operações confiáveis e ágeis, flexibilidade de produção, serviços integrados e proteção ambiental. Para a implementação do modelo da quarta revolução industrial, os princípios listados na Figura 2 devem ser cumpridos.



Figura 2 - Princípios I4.0.

A Indústria 4.0 é definida por vários autores em diferentes contextos, como é possível constatar no estudo do estado da arte realizado por Mohamed [10]. Diferentes estudos recentes [12, 15] (apud [23, 24]), definem de uma forma abrangente a I4.0 como uma iniciativa que “facilita a interligação e a informatização da indústria tradicional” com o objetivo de “proporcionar a personalização em massa de produtos manufaturados através das tecnologias da informação (TI); adaptar de forma automática e flexível a cadeia de produção; rastrear peças e produtos; facilitar a comunicação entre peças, produtos e máquinas; aplicar o conhecimento humano a produtos e máquinas; aplicar paradigmas de interação homem-máquina (HMI); conseguir a otimização da produção com base na IoT em fábricas inteligentes; e fornecer novos tipos de serviços e modelos de negócio de interação na cadeia de valor”.

As tecnologias da IoT podem ser direcionadas em apoiar na criação de valor industrial, o que permite às organizações aproveitar cadeias de valor totalmente digitalizadas, conectadas, inteligentes e descentralizadas, podendo assim adquirir maior flexibilidade e robustez em termos de competitividade [25, 26]. A sua integração origina uma rede global para todo o sistema, incluindo processos de produção, armazenamento e consumidores, possibilitando a troca de informação entre as partes [18].

Atualmente, é cada vez mais importante as empresas responderem rapidamente à evolução do mercado, a fim de sobreviverem a um ambiente empresarial volátil. Neste sentido, as

organizações procuram construir estruturas empresariais caracterizadas pela flexibilidade, adaptabilidade, agilidade e proatividade, sendo crucial obter a capacidade de desenvolvimentos evolutivos internos. O caminho mais direto para aquisição destes atributos é a I4.0, através da automação e inovação dos processos de produção [25, 26].

De um modo geral, a utilização das tecnologias I4.0 trará um impacto positivo nos processos empresariais através da combinação de diferentes fatores de produção, como o tempo, o custo, a qualidade, a mão de obra e a logística. Porém, a literatura também refere dificuldades quanto à sua implementação, temas estes que serão abordados mais à frente.

2.1.1. Indústria 4.0 nas PME

Na atualidade, as pequenas e médias empresas (PMEs) desempenham um papel central na sociedade, ajudando a reforçar a inclusão económica, fornecendo bens e serviços a mercados menos bem servidos e possibilitando a criação de maior empregabilidade [12].

A EU define as PME como “empresas que empregam menos de 250 pessoas e cujo volume de negócios anual não excede 50 milhões de euros ou cujo balanço total anual não excede 43 milhões de euros” [27].

Jean-Claude Juncker, presidente da Comissão Europeia, alega que “as PME são a espinha dorsal da nossa economia, responsáveis pela criação de mais de 85% dos novos postos de trabalho na Europa”, dando notoriedade à importância da existência das mesmas na economia europeia [28].

Neste domínio, os conceitos da I4.0 ajudaram no crescimento das PME, para que estas consigam manter-se competitivas, permitindo a acompanhar os avanços tecnológicos e a globalização atual.

A implementação das tecnologias digitais nas PME impulsiona a criação de sistemas inteligentes, como comunicação em tempo real, recolha e análise de BD e infraestruturas dinâmicas, auto-organizadas e flexíveis. Por sua vez, estas conseguem avaliar quais as expectativas dos clientes e como atingir os seus objetivos, originando efeito substancial nas encomendas recebidas [12]. Outro fator a ter em consideração é otimização de processos de produção, redução de custo, automatização dos processos de manutenção e de apoio, melhorias na qualidade, eficiência e vantagem competitiva [29].

Contudo, ao contrário das empresas multinacionais (EMN), muitas destas organizações estão a lutar para abraçar a quarta revolução industrial e enfrentam desafios associados, como a escassez de trabalhadores qualificados ou a falta de acesso a financiamento, uma vez que estas não estão frequentemente expostas aos desenvolvimentos do meio académico e das EMN. A implementação das tecnologias da I4.0 nas PME ainda apresenta desafios consideráveis, especialmente no contexto da produção, logística, estrutura organizacional e administração [12]. Estes desafios derivam das características de gestão específicas que as PME apresentam, nomeadamente, gestão local, estratégia de curto prazo, falta de conhecimentos especializados, organização não funcional, recursos limitados e falta de métodos e procedimentos [30].

Segundo o estudo realizado por Masood e Sonntag [12], que analisou 303 empresas no Reino Unido, incluindo 271 PME, ficou evidente, através dos resultados, que o tamanho e a cultura da organização exercem uma influência positiva nas vantagens decorrentes da implementação. Para uma pequena empresa que opera em níveis extremamente reduzidos de produção, pode haver menos pressão para adotar as atualizações tecnológicas. No entanto, existe uma forte linha de argumentação de que as PMEs, principalmente no setor transformador, necessitam de adotar a I4.0 para garantir sua competitividade tanto a nível nacional quanto internacional, assegurando assim o êxito futuro.

Mediante isto, a decisão de implementar a I4.0 é influenciada pelo facto de uma PME ser motivada internamente, pressionada externamente ou uma combinação de ambos. Esta determinação desempenha um papel significativo na definição dos aspetos do modelo de negócio que são objeto de inovação. Assim, os gestores das PMEs devem avaliar o seu modelo de negócio atual e fazer ajustes estratégicos para incorporar com sucesso a I4.0 [31].

2.1.2. Indústria 4.0 e Sustentabilidade

A tendência atual das empresas em dar prioridade à obtenção de maior qualidade, à redução de custos e à diminuição dos prazos de entrega, traz consigo um desafio de integrar considerações ambientais e preocupações de sustentabilidade nos processos de planeamento estratégico de uma empresa, de modo que as abordagens de gestão centradas apenas na eficiência são insuficientes, particularmente nos países desenvolvidos, à medida que os padrões de vida continuam a aumentar [32].

Neste sentido espera-se que a I4.0 consiga estabelecer uma relação substancialmente positiva, no que diz aos três principais pilares do conceito de sustentabilidade - económica, social e ambiental, não menosprezando os efeitos negativos que a relação entre ambas pode provocar [33]. A sinergia entre estes dois temas é defendida Varela et al. [34] que apresentam algumas das principais contribuições sobre a relação ou influência da I4.0 na dimensão económica, social e ambiental da sustentabilidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Contribuições da I4.0 relativamente aos três principais pilares da sustentabilidade. Adaptado de [34].

	Contribuições
Dimensão Económica	Aumentar: lucros, criação de valor, eficiência, flexibilidade e competitividade; Aumentar o facturamento e criar modelos de negócios; Melhorar: participação de mercado dos produtos, cadeias de suprimentos e seu desempenho de gestão e segurança; Diminuir custos operacionais; Melhore o desempenho dos processos, aumente os recursos renováveis e melhore a economia circular.

Tabela 1 – Contribuições da I4.0 relativamente aos três principais pilares da sustentabilidade. Adaptado de [34]. (Continuação).

	Contribuições
Dimensão Social	Melhorar as condições de trabalho; Melhorar as condições da sociedade envolvente; Diminuir os acidentes de trabalho; Aumentar a participação dos colaboradores na tomada de decisões; Aumentar a duração do contrato dos colaboradores e a colaboração entre os stakeholders.
Dimensão Ambiental	Diminuir resíduos industriais; Diminuir o consumo de energia de fontes de energia não renováveis; Aumentar a produção de energia renovável; Aumentar a prática da economia circular; Aumentar a colaboração com parceiros que seguem boas práticas ambientais; Diminuir o consumo de recursos, o aquecimento global, as mudanças climáticas e as necessidades energéticas.

A digitalização dos processos de produção e serviços oferece possibilidades de reduzir as emissões de CO₂, otimizar a utilização de recursos e promover o desenvolvimento e fabrico sustentável. Tecnologias-chave como os robôs autónomos, o FA, a computação em nuvem (CC), a CS e a RA contribuem para a sustentabilidade económica e ambiental. Além disso, a integração de BD, Blockchain, Simulação, IoT e IA promove a sustentabilidade social. No entanto, os benefícios são mais visíveis nas grandes empresas do que nas PME [26].

Bag et al. [35] afirmam que a I4.0 oferece oportunidades promissoras para melhorar o fabrico sustentável através da integração horizontal e vertical com objetivo beneficiar as gerações atuais e futuras através da conservação dos recursos, promovendo assim práticas sustentáveis.

A adoção generalizada da I4.0 promete impactos positivos para as empresas a nível mundial, mas os seus efeitos na sustentabilidade ambiental podem não ser tão diretos como se projeta. Para colmatar o fosso entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, são necessárias políticas coesas entre governos, indústrias e sociedades. A aceitação da I4.0 a uma escala global é crucial para evitar retrocessos económicos e desigualdades sociais. A personalização do consumidor conduzirá a comportamentos de consumo responsáveis, influenciando tanto as sociedades economicamente avançadas como as sociedades em desenvolvimento. Além disso, a procura de novos materiais e avanços tecnológicos irá aumentar, enquanto a gestão da energia e dos recursos se tornará mais centralizada e responsável devido ao aumento da segurança dos dados nas infraestruturas [14].

2.2. Tecnologias da Indústria 4.0

Como já foi referenciado anteriormente, tanto na indústria transformadora como na dos serviços, a I4.0 assenta na implementação amplamente avançada de automação, digitalização e TI, acompanhadas de eletrónica de ponta.

Sob a ótica da gestão da produção e dos serviços, o uso das tecnologias da I4.0 proporciona a instauração de sistemas inteligentes e comunicativos, promovendo a interação entre máquinas, entre homem-máquina, e a interação entre humanos e sistemas. Os dados gerados por este tipo de interações e sistemas implica um fluxo de gestão eficaz dos mesmos. Adicionalmente, as tecnologias da I4.0 promovem a autonomia interoperável, agilidade, flexibilidade, capacidade de tomada de decisões, eficiência e redução de custos, dentre diversas outras propriedades [36].

A I4.0 é sustentada por nove pilares, também designados por blocos de construção (Figura 3), que inclui, IoT, CC, BD, simulação, RA, FA, integração horizontal e vertical de sistema, robôs autônomos e CS [19, 36].



Figura 3 -Os pilares da I4.0. [20]

Diferentes autores como Lemstra et al.[17], Achouch et al. [37] e Sony et al [15], referenciam outras tecnologias deste paradigma, é o exemplo do *blockchain*, *machine learning*, IA, entre outros.

Alcácer et al. [36] defendem que um aspeto crucial para atingir a integração destas tecnologias é a valorização da contribuição humana, aprimorada pelo desenvolvimento das competências profissionais das partes envolvidas.

2.2.1. Internet das Coisas

Na informática, a IoT representa a união de dois conceitos: "internet" e "coisas". O termo "internet" refere-se à rede global interconectada que atende usuários em todo o mundo por meio de redes informáticas interligadas. Quanto às "coisas", elas podem ser qualquer entidade, seja um objeto ou uma pessoa, distintamente identificável no mundo real [36].

Por outras palavras a IoT pode ser definida por uma interligação do mundo físico, equipado com sensores e atuadores, por meio da Internet. Ela representa uma presença generalizada, onde várias coisas ou objetos interagem e colaboram mutuamente, digitalizando todos os sistemas

físicos. Nesse cenário, elementos do mundo material, como máquinas, equipamentos e dispositivos, comunicam-se tanto entre si quanto com componentes cibernéticos, como *software* e dados, através de uma comunicação sem fio [14, 18, 36, 38].

No setor industrial, o papel central da IoT é criar uma ligação entre as entidades no chão de fábrica e os sistemas de planeamento e controlo, tendo como objetivo eliminar quais quer problemas de comunicação existentes [38]. Por sua vez, permite uma conectividade ininterrupta entre pessoas e objetos, enquanto digitaliza todos os sistemas físicos [19]. Dentro deste cenário, este conceito pode ser também designado como Internet Industrial das Coisas (IIoT) [37].

Essa ligação contínua viabiliza a monitorização e o registo de todos os sinais do sistema de produção física como BD, que podem ser utilizados posteriormente em diversos processos, incluindo a criação novo valor [37, 38]. A evolução da Internet tem desempenhado um papel significativo na consolidação deste conceito, sendo fundamental no contexto da crescente demanda por serviços inovadores e novos postos de trabalho [14]. Consequentemente, a análise e a utilização dos dados recolhidos permitem a orientação para a tomada de decisão que servirá como suporte para futuros ecossistemas empresariais complexos, assim como uma resposta instantânea a qualquer solicitação dos objetos ou ambientes circundantes [17, 18, 19].

Baseado em uma extensa revisão Sartal et al. [32], afirmam que a IoT beneficia uma produção sustentável através redução de desperdícios, sensibilização do consumo energético e contribuição para um ambiente de trabalho mais seguro, através de monitorização e soluções de manutenção em tempo real. Shaheen e Németh [18], em concordância, destacam que a IoT melhorou sistemas de produção com base na recolha de dados abrangidos por monitorização da produção, inspeção da qualidade, padrões de consumo e desempenho do produto em diversas condições operacionais.

Todavia, Lemstra e Mesquita [17] salientam a segurança e a interoperabilidade como obstáculos à difusão da IoT.

A IoT tem atualmente várias utilizações, incluindo nos serviços públicos, na área da saúde, setor industrial, setor alimentar e automóvel, e eletrónica [17, 36].

2.2.2. Computação em Nuvem (*Cloud Computing*)

A CC é uma tecnologia fulcral na quarta revolução industrial [14], sendo considerada uma das principais tecnologias base para os BD [18]. Este conceito envolve a visualização de recursos e serviços de computação, contribuindo para a inovação e a aplicação de novas tecnologias que têm um impacto substancial nas organizações [14]. A CC permite o acesso remoto a serviços de computação e armazenamento através da Internet [32], oferecendo recursos *online* como servidores, aplicações e redes [18]. Adicionalmente, proporciona um acesso conveniente a recursos informáticos partilhados, o que promove a integração de diversos dispositivos, eliminando a necessidade de proximidade física e permitindo a partilha de informações e atividades coordenadas [19, 38].

Para as PMEs, a CC pode ser vista como uma solução de *outsourcing* de TI atrativa, distinguindo-se pela sua partilha de recursos, acessibilidade e amplo alcance de rede. A sua adoção traz várias vantagens, incluindo a minimização de custos através da eliminação de despesas diretas e indiretas com infraestruturas de TI, a capacidade de atribuir e dimensionar eficazmente os recursos informáticos com base na utilização real e a portabilidade, que permite a conectividade através de dispositivos como *smartphones* e tablets [36].

Do ponto de vista de uma produção sustentável, Sartal et al. [32] defendem o uso da CC como uma forma de promover uma solução económica com poupanças de energia significativas, conseguidas através da substituição de recursos físicos por extensos centros de dados virtualizados. Outro fator referenciado, é a virtualização de tarefas que possibilita o aumento da velocidade de processamento.

Atualmente, a adoção deste pilar apresenta uma grande atratividade nas organizações devido à sua contribuição na melhoria de diversos fatores, dos quais eficiência, rentabilidade, fiabilidade, estabilidade e disponibilidade [18].

2.2.3. Big Data

A integração das tecnologias IoT e CC permite a interligação de diversos dispositivos, levando à acumulação de dados essenciais, normalmente designados por BD [38]. Para tirar partido dos dados fornecidos pelos dispositivos da IoT de forma eficaz, são necessários sistemas avançados para processar e analisar a informação, facilitando a sua transformação em conhecimentos valiosos que apoiem as operações das organizações [18]. As BD incluem dados de uma variedade de fontes (é o exemplo as leituras de sensores), sendo distinguidas pelos seus formatos estruturados, semiestruturados e não estruturados [36], tornando-as um recurso passível de análise [38]. Se não ocorrer esta função de análise, as BD têm pouca utilidade [36].

Neste enquadramento, a função de análise pode ser designada por *Big Data Analytics* (BDA). Este exercício é considerado essencial graças à capacidade de extrair informações valiosas, que ajudaram as empresas nas tomadas de decisões em diversas funções de gestão [17], assim como, do ponto de vista do setor industrial, melhorar a auto-organização das linhas de produção [38], fornecer orientações visando operações rentáveis e sem erros, e, de um modo geral, proporcionar uma vantagem competitiva às empresas ao promover possibilidades de fornecer valor acrescentado. Isto é conseguido através da utilização de ferramentas como *machine learning*, *deep learning* e modelos estatísticos [36]. A construção de uma plataforma BDA envolve nove componentes principais, que inclui entrada de dados, armazenamento, computação, análise, visualização, fluxo de trabalho, gestão de dados, infraestrutura técnica, modelo de implementação e CS [17].

Outro fator em consideração consiste na alternativa de criar *digital twins* de fábricas que promove a capacidade de antecipar potenciais eventos que afetam a produção através de ações preditivas [38], auxiliando funções de manutenção, especialmente no que diz respeito à previsão de falhas, ao planeamento e à gestão de riscos [37].

Com o objetivo de obter um processo de BDA mais eficiente a literatura retrata a BD pelos três V's: Volume, Variedade e Velocidade, que representam desafios significativos na gestão de dados. Para além destas dimensões, são sugeridas outras como Veracidade e Valor, que formam o modelo cinco V's (Figura 4) [37], assim como Visão, Volatilidade, Verificação, Validação e Variabilidade para caracterizar dados não estruturados e de diversos formatos, incluindo vídeo, áudio, texto, entre outros [36].

Segundo a literatura, o modelo atual dos 5V's é explicado da seguinte forma:

- **Volume:** Refere-se à imensa quantidade de dados, frequentemente medida em exabytes (10^{18} bytes) [39, 40].
- **Velocidade:** Para atender às demandas de prazos de decisão, grandes volumes de dados necessitam de métodos rápidos de processamento, como inserção, identificação e extração de uma base de dados [39, 41].
- **Variedade:** Os grandes dados são compostos por uma ampla diversidade de tipos de dados, provenientes de diferentes formatos e fontes [39, 40].
- **Veracidade:** A confiabilidade e a precisão dos dados são essenciais, exigindo sistemas que garantam a integridade dos grandes volumes de dados [40, 41].
- **Valor:** Esses grandes volumes de dados possuem o potencial de gerar mudanças significativas que podem beneficiar os serviços ou processos relacionados [40].

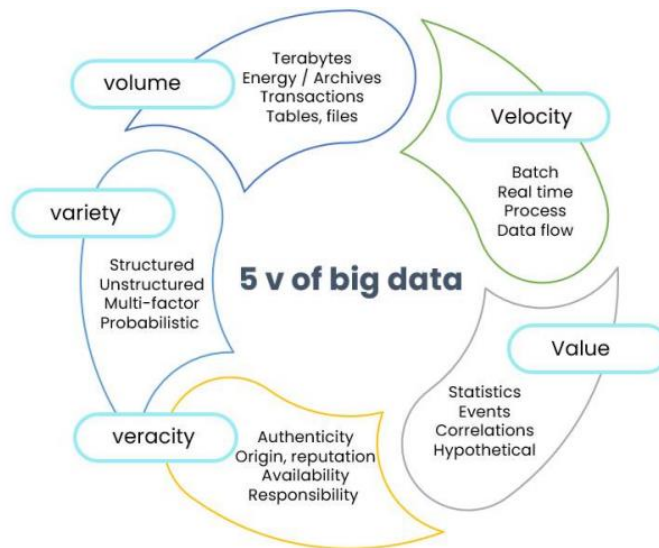


Figura 4 - Modelo 5V da BD. Adaptado de [37].

Cemernek et al. [42] apresentaram a definição de BD da TechAmerica Foundation [43], como "um termo que descreve grandes volumes de dados de alta velocidade, complexos e variáveis que requerem técnicas avançadas e técnicas que permitam a captura, armazenamento, distribuição, gestão e análise da informação".

2.2.4. Simulação

No atual cenário empresarial altamente competitivo, as organizações enfrentam um duplo desafio que consiste na necessidade de uma elevada eficiência de recursos [44], assim como, satisfazer a procura de produtos personalizados. Em resposta a estes desafios, as organizações utilizam as simulações como meio de lidar com sistemas complexos, permitindo o desenvolvimento e análise de estratégias operacionais inovadoras, políticas de recursos e conceitos que se alinham com os requisitos da produção atual. No contexto do fabrico de produtos personalizados, a simulação mostra-se bastante importante, pois fornece apoio para a realização de experiências com o intuito de validar produtos, processos e configuração de sistemas [45]. A modelação auxiliada por simulação demonstra ser bastante útil neste campo, uma vez que permite efetuar experiências virtuais [18], com o objetivo de apoiar a redução de custos, diminuição de ciclos de desenvolvimento e aumento da qualidade dos produtos, o que torna a análise das operações e tomadas de decisão menos complexas [36].

Além disso, as simulações são indispensáveis para acumular informações e conhecimentos sem causar perturbações no sistema operacional existente [32], o que torna este paradigma fundamental para o avanço dos sistemas de fabrico [44].

Alcácer e Machado [36], classificam a simulação em dois parâmetros, nomeadamente:

- Simulação offline – está relacionada com o estudo de cenários hipotéticos, sem grandes limitações de tempo e decisões a longo prazo; utilizada em fases de conceção que compreende *layouts* das instalações, as configurações da capacidade do sistema, a manipulação de materiais, o fabrico flexível e os sistemas de produção celular.
- Simulação online - utilizada em fases operacionais da produção, por exemplo planeamento e programação da produção, no controlo em tempo real, nas políticas de operação e nas operações de manutenção e direcionada para tomadas de decisões a curto prazo; permite prever eventos futuros caso seja integrada com as TI.

No mesmo seguimento, Lachenmaier et al. [44] apresentam os objetivos do uso simulação *online* para processos produtivos (Figura 5).



Figura 5 - Objetivos da simulação *online* para processos produtivos. Adaptado de [44].

Outra particularidade destacada pela literatura é o envolvimento de *digital twins* com modelos de simulação. Esta combinação permite compreender detalhadamente os sistemas organizacionais através da junção de dados reais com modelos de simulação, o que potencia a simulação *online*, resultando num aumento de produtividade e um melhor desempenho a nível da manutenção [19]. Em contraste com a simulação tradicional, a simulação *online* pode avaliar rapidamente o comportamento do utilizador e do sistema, com a capacidade desenvolver e gerar virtualmente protótipos de um produto ou serviço [36].

A simulação também permite às empresas promover uma produção sustentável visando a procura de soluções para redução de energia, redução dos níveis de rejeição e otimização da mão de obra utilizada [32].

Em suma, a simulação pode ser definida como “uma imitação operacional, ao longo do tempo, de um sistema ou de um processo do mundo real” que “utiliza a história artificial de um sistema e a sua observação, para retirar conclusões sobre as características operacionais da representação do sistema real” [36].

2.2.5. Realidade Aumentada

A RA é uma tecnologia emergente que evoluiu a partir da Realidade Virtual (RV), que envolve a criação de conteúdos virtuais tridimensionais. Auxiliado por sistemas informáticos, a RA inclui cenários e objetos virtuais, entre outros elementos que, posteriormente, podem perfeitamente ser integrados no ambiente real, melhorando assim o mundo real e aumentando a perceção que o utilizador tem do ambiente que o rodeia [37].

O objetivo da RA é aumentar o desempenho humano, ao fornecer a informação necessária para uma determinada tarefa específica [19, 36]. Por sua vez, demonstra ser uma tecnologia bastante versátil devido às diversas áreas em que pode ser aplicada, nomeadamente, entretenimento, marketing, turismo, saúde, logística, manutenção, entre outros. No contexto industrial, a utilização da RA para fins de simulação, assistência e orientação, demonstra ser uma solução eficaz para enfrentar os desafios, além de viabilizar a HMI [46], bem como proporcionar sistemas de fabrico inteligentes, ao sobrepor características virtuais à perceção da realidade [36].

A sua aplicação visa a melhoria das operações no chão de fábrica, incluindo tarefas como a montagem e a manutenção [37], sendo a manutenção um dos domínios mais promissores da RA [36]. Esta tecnologia promove a independência, a exatidão e a produtividade, a fim de obter resultados de elevada qualidade [37], além de aumentar a eficiência humana na execução das atividades técnicas de manutenção, na medida em que contribui para melhorar as tomadas de decisões em matéria de manutenção [19, 36].

Outro fator de destaque pela literatura com o uso da RA são os benefícios associados com a produção sustentável por meio de informações em tempo real para melhorar as suas decisões de fabrico, bem como a sua própria segurança e manutenção/reparação e formação à distância, sem a necessidade de deslocação de técnicos, com os consequentemente benefícios ambientais e de custos [32].

Fraga-Lamas et al. [46], destaca as tarefas de maior relevância associadas a ambientes industriais e setores de fabrico nos quais a RA acrescenta valor (Tabela 2).

Tabela 2 – Valor acrescentado da RA através da I4.0. Adaptado de [46].

Tarefa	Valor acrescentado pela RA
Formação	Mão-de-obra qualificada; Formação de segurança e saúde; Formação especializada
Design	Engenharia colaborativa; Inspeção de protótipos digitais; Interfaces em RA; Diagnóstico de erros;
Produção	Garantia de qualidade; Instruções para operações de manutenção; Quadros de performance; Instruções de montagem; <i>Tracking</i> ; Monitorização constante
Operação	Sistemas de <i>Head-Up Display</i> ; Controlo de produtos digitais; Manuais de operador em RA; Interfaces em RA; Localização de produto; Sistemas de navegação interna
Serviço	Manual e instruções; Serviços de inspeção e verificação; Orientação remota especializada; Melhorar o serviço e o <i>self-service</i>
Vendas e Marketing	Apresentação e demonstração de produto; Logística e otimização do espaço comercial; Experiência da marca em RA; Publicidade em RA

De acordo com Lemstra et al. [17], atualmente, a RA tem vindo a registar um maior avanço no sector da logística, com especial incidência na Europa e na Ásia. No entanto, a literatura realça os desafios e limitações, principalmente no que respeita ao *hardware*, como a capacidade de processamento, e ao *software*, em termos de funcionalidade.

2.2.6. Fabrico Aditivo

O FA, também conhecido como impressão 3D, surge como um dos pilares fundamentais da I4.0, que possibilita o processo de transformação de dados digitais tridimensionais em objetos 3D, eliminando a necessidade de matérias-primas tradicionais [47]. Esta tecnologia disruptiva tem a capacidade de fundir vários materiais camada a camada, no qual permite a criação de componentes de produtos, sem a necessidade de ferramentas complexas, reduzindo assim os *leads times* de desenvolvimento e facilitando a colaboração entre designers, engenheiros e utilizadores finais [48].

Outros tipos de terminologias são mencionados na literatura para descrever os processos do FA, é o exemplo da prototipagem rápida, fabrico digital direto, fabrico rápido e o fabrico sólido de formas livres [49].

Sendo considerado um método inovador, tem ganho cada vez mais preponderância [50], impulsionando avanços em vários sectores, particularmente no setor transformador [51], uma vez que permite às empresas fabricar objetos diretamente a partir de desenhos digitais, o que resulta em reduções de custos significativas e numa vantagem competitiva em relação aos processos de fabrico tradicionais [47]. A literatura retrata o FA como uma tecnologia revolucionária com o potencial de influenciar diferentes aspetos como processos de produção, criação da cadeia de abastecimento, logística, planeamento do ciclo de vida dos produtos além do comportamento dos consumidores, o que marca uma nova era de fabrico e design, que aproveita os dados digitais para criar objetos físicos de forma mais eficiente e económica [50].

A *Royal Academy of Engineering* [52] afirma que “o FA não é apenas uma tecnologia disruptiva que tem o potencial de substituir muitos processos de fabrico convencionais, mas também uma tecnologia facilitadora que permite o desenvolvimento de novos modelos de negócio, novos produtos e novas cadeias de abastecimento”

Jiang et al. [50] evidenciam dois aspetos que potenciam esta característica disruptiva, apontando-as como uma ameaça competitiva para empresas estabelecidas, são eles:

- A produção direta de objetos físicos a partir de dados de conceção digital, promovendo a inovação na conceção e reduzindo os excessos no processo de fabrico;
- Do lado do consumidor, o FA permite aos indivíduos e às indústrias projetar e produzir os seus próprios bens.

Neste contexto Duman e Akdemir [47], enfatizam múltiplas vantagens do FA, incluindo a produção económica de peças de substituição e encomendas de pequenos lotes, processo simplificado de desenvolvimento e teste de protótipos sem a necessidade de novos métodos de modelação alinhados às necessidades dos consumidores, produção em massa personalizada, capitalizando o conhecimento, a flexibilidade e as mudanças rápidas na produção, bem como tempos de produção mais curtos, rentabilidade, oportunidade de produção criativa e operações que promovem a sustentabilidade ambiental. Outro fator destacado pelos autores é a adoção desta tecnologia por países que procuram obter vantagem competitiva em sectores como os da saúde, da educação, da indústria e dos serviços.

Em concordância, Ali e Xie [51], acrescentam que o FA é fundamental na transformação digital das empresas devido à qualidade, velocidade, redução de custo, segurança e fiabilidade que se consegue obter com o uso da mesma, além de auxiliar na gestão da cadeia de abastecimento, na otimização operacional e em projetos de inovação, que contribui para melhora da qualidade dos produtos e redução dos prazos de entrega, visando a eficiência e a eficácia organizacional.

Contudo, Abdulhameed et al. [49], realçam que o FA ainda está nos seus primeiros estágios de maturidade, o que limita a sua utilização para fins práticos devido a fatores como pequeno volume de produção, limitação no tamanho das peças, limitação no uso de materiais, entre outros.

2.2.7. Integração Horizontal e Vertical de Sistemas

No domínio da I4.0, a integração de sistemas assume duas abordagens distintas: integração horizontal e vertical [21]. Estas abordagens são fundamentais para a partilha de dados em tempo real [36], além de permitir a transformação de um ambiente de produção tradicional em uma “fábrica inteligente” [53].

A integração destes sistemas vai para além da consolidação de várias áreas de produção em diferentes instalações, envolve também o estabelecimento de ligações diretas com distribuidores e clientes através de sistemas e aplicações de TIC. Estas tecnologias desempenham um papel crucial na sincronização dos sistemas de produção e de informação, aumentando consequentemente a transparência das cadeias de abastecimento globais e

promovendo a sustentabilidade através da redução da utilização de embalagens, da produção de resíduos, do consumo de energia e da satisfação das necessidades dos clientes, ajudando as empresas a desenvolver e a reforçar os valores e cultura empresarial [32].

A integração horizontal, concentra-se na ligação de redes de valor [53], o que permite relações colaborativas entre empresas ou organizações dentro da cadeia de valor [54]. Este esforço de colaboração leva à entrega de produtos e serviços de qualidade superior, contribuindo para o sucesso das partes envolvidas. A digitalização das organizações da cadeia de valor através da integração horizontal cria um ecossistema dinâmico que é eficiente, autorregulado, auto-otimizado e auto-evolutivo [55].

A integração vertical diz respeito à integração de vários subsistemas hierárquicos dentro de uma organização [54], para estabelecer um sistema de fabrico flexível, ágil, eficiente e reconfigurável [55]. Por outro lado, envolve a digitalização de todos os processos organizacionais, incluindo dados em tempo real das etapas de produção. Isto engloba vários aspetos, dos quais a gestão da qualidade, a eficiência dos processos e o planeamento de operações [36]. Esta integração interna aumenta a adaptabilidade e a capacidade de resposta da organização, alinhando-a com as exigências dinâmicas da produção moderna.

Sony e Naik [55] destacam a importância de a estratégia da integração vertical de sistemas estar alinhada com os objetivos da organização, tendo em conta os interesses dos *stakeholders* e a conformidade regulamentar, além da influência que a estratégia de recursos humanos, a tecnologia, a cultura e os procedimentos têm aquando da aquisição de infraestrutura para este tipo de abordagem. Relativamente à integração horizontal de sistemas, os autores focam as questões culturais como tema a ser abordado para evitar conflitos no processo de integração, uma vez que este tipo de sistemas envolve várias organizações. Esta estratégia de integração também envolve a combinação de vários processos nas organizações participantes, o que exige a consideração de infraestruturas, de recursos humanos, da tecnologia, e dos objetivos de cada organização envolvida.

2.2.8. Robôs Autónomos

Inicialmente, os robôs foram introduzidos para substituir a mão-de-obra humana na execução de tarefas simples e repetitivas em ambientes controlados, de modo a otimizar a eficiência, identificar erros e procurar oportunidades de melhoria. Contudo, é necessária uma autonomia e flexibilidade adicional para que as organizações consigam corresponder às necessidades de um mercado cada vez mais volátil [56]. Esta tecnologia tem tido um impacto substancial em vários aspetos da vida humana, desde o fabrico industrial aos cuidados de saúde e aos transportes. No domínio da robótica, um robô é definido pela sua capacidade de agir com base em estímulos ambientais, de sentir o que o rodeia e de desenvolver um raciocínio lógico. Esta abordagem permite que os robôs desenvolvam as suas capacidades através da interação com o seu ambiente, sem grande intervenção humana [16].

Os robôs pertencentes ao paradigma da I4.0 são equipados com IA e capacidades de comunicação, o que os torna ferramentas valiosas para aumentar o conforto das pessoas, simplificar o trabalho e garantir a segurança nos postos de trabalho, além de permitirem

processos mais eficientes e independentes em condições adversas, reduzindo os custos de mão de obra e melhorando as condições de trabalho [47].

A transição de um ambiente de produção em massa para uma produção personalizada exige às organizações a necessidade de se adaptar e obter uma maior flexibilidade nos sistemas de produção. Neste sentido, os robôs autônomos surgem como uma tecnologia que ajuda as empresas a adquirir este tipo de características, através de automação reconfigurável, revelando-se ser bastante úteis no desenvolvimento de diversos produtos e processos de montagem. A sua combinação com microprocessadores e IA, potencia a realização de funcionalidades avançadas como computação, comunicação, controle, autonomia e interação social, resultando em sistemas mais inteligentes [36].

Segundo Calış Duman e Akdemir [47], um robô autônomo é um dispositivo tecnologicamente avançado, programável por computador, capaz de realizar autonomamente uma série de tarefas complexas. Sartal et al. [32] também apresentam a sua definição de robôs autônomos e colaborativos como “um dispositivo mecânico que pode funcionar com um elevado grau de autonomia, trabalhando em segurança ao lado de seres humanos”.

Hassan e Liu [57], indicam que os avanços tecnológicos dos robôs autônomos estão a ter um impacto significativo nas aplicações de fabrico, permitindo-lhes operar eficazmente em ambientes desafiantes e não estruturados, e conduzir à obtenção de melhores resultados em termos eficiência, produtividade e manuseamento de objetos.

Abdel-Basset, Chang e Nabeeh [58] abordam a aplicação do uso das tecnologias da I4.0 para limitar os surtos de COVID-19. Neste sentido, os autores referem que os robôs autônomos podem assumir várias responsabilidades de uma equipa de cuidados de saúde, prestando apoio e monitorizando determinados serviços de cuidados médicos, quer a doentes hospitalizados ou em quarentena domiciliária, ajudando na redução de surtos de COVID-19.

Outra aplicação de robôs autônomos destacada pela literatura é feita por Hassoun et al. [59], que abordam o uso desta tecnologia na indústria alimentar com o objetivo de enfrentar os desafios em satisfazer as exigências dos consumidores por alimentos diversificados, seguros, saudáveis e sustentáveis, além de oferecer soluções para questões como a escassez de mão de obra e a redução dos custos e do tempo de produção da indústria alimentar. Os autores focam o exemplo da indústria norueguesa da carne que apresenta elevados níveis de automatização e robotização, oferecendo potencial para aumentar a eficiência e a capacidade de produção, reduzindo simultaneamente o trabalho manual e os custos. Contudo a aplicação deste conceito neste setor ainda se encontra numa fase inicial devido a regulamentos de segurança, elevados custos de investimento e uma compreensão limitada dos seus benefícios.

Segundo Sartal et al. [32] os robôs autônomos integram competências humanas com a tecnologia para melhorar as condições operacionais, reduzir a carga de trabalho e minimizar o risco de perturbações músculo-esqueléticas. A sua utilização permite o desenvolvimento de oficinas pequenas e eficientes perto dos clientes finais, produzindo benefícios ambientais e melhorando o equilíbrio entre a vida profissional e pessoal.

2.2.9. Cibersegurança

A I4.0 marca um afastamento da produção centralizada e programada para uma abordagem mais dinâmica e descentralizada, com o objetivo de melhorar a qualidade do produto, a personalização e a flexibilidade do sistema, através do fabrico autónomo e a configuração flexível. No entanto, alcançar esta transformação requer a integração perfeita de sistemas de informação avançados em todas as operações estando estas expostas a potenciais ameaças informáticas [60]. Os riscos de segurança nos sistemas de informação dependem do compromisso da confidencialidade, integridade ou disponibilidade. A violação da confidencialidade expõe os dados, ao passo que a integridade comprometida corre o risco de ciberataques, levando à alteração ou falsificação dos dados. A disponibilidade, vital para a acessibilidade do sistema, pode resultar em incidentes de negação de serviço (DoS), causando perdas de produtividade no sistema físico quando não é garantida [61].

A CS surge como um fator essencial para assegurar a vantagem competitiva de uma empresa. As vulnerabilidades dos equipamentos a ciberataques representam uma ameaça significativa, capaz de afetar todo o modelo de negócio. Em resposta ao cenário em rápida evolução, prevê-se que a CS se integre perfeitamente na estratégia, na conceção e nas operações das empresas que adotam o paradigma da I4.0. Esta evolução significa o reconhecimento da CS não só como uma medida de proteção, mas também como um elemento integral inserido no enquadramento das estruturas organizacionais. Para resolver as vulnerabilidades do sistema, as empresas devem realizar um processo de avaliação de vulnerabilidades para avaliar as medidas de segurança, identificar deficiências, prever a eficácia das medidas propostas e confirmar a sua adequação após a implementação [61].

Alcácer e Cruz-Machado [36] introduzem o termo CS, caracterizando-o como um novo conceito associado a níveis elevados de segurança da informação que, enquanto tecnologia, é concebida para defender, detetar e responder a ataques, que podem ter origem de fontes internas, como o acesso do operador, ou de fontes externas, incluindo canais de comunicação e transmissões sem fios. O termo "ciber" estende a sua aplicação para além dos contextos convencionais, abrangendo ambientes industriais e a IoT. Os autores salientam que a segurança na comunicação e a interoperabilidade nas organizações são essenciais para uma cadeia de abastecimento segura, tendo as tecnologias I4.0 um papel vital para estrutura de CS eficaz. A proteção de informações valiosas geradas no âmbito da I4.0 é primordial, dando ênfase ao acesso restrito aos dados, à integridade das informações e à verificação da fonte. De igual modo, é destacado que os ciberataques representam riscos significativos, conduzindo tanto a perdas financeiras como a ameaças à segurança dos trabalhadores que, conseqüentemente, pode potenciar paragens operacionais, atrasos no lançamento de produtos, produção de produtos alterados, perda de confiança dos clientes e aumento dos custos de garantia.

No mesmo seguimento, Lezzi, Lazoi e Corallo [61] citam que, a nível empresarial, a falta de CS pode ter vários impactos negativos, afetando principalmente as infraestruturas críticas e máquinas específicas. Além dos riscos citados anteriormente, os autores acrescentam que a sabotagem, através de DoS e o roubo de informações comerciais privadas são outros tipos de ameaças provocadas por ciberataques, além de, no domínio da produção, poder provocar

aumento dos esforços de manutenção e atrasos na satisfação da procura, conduzindo a custos mais elevados e a uma redução da rentabilidade. Contramedidas também são citadas pelos mesmos, é o exemplo da utilização de redes privadas para utilizadores externos e a utilização de encriptação.

Hassoun et al. [59], defendem que com a introdução de novas tecnologias como a CS torna-se primordial, englobando processos e colaboradores qualificados dedicados à proteção da informação e dos sistemas informáticos contra ciberataques, incluindo potenciais danos no *software*, *hardware* e ameaças de *ransomware*. Os autores destacam a indústria alimentar como um setor que exige a aplicação de sistemas de CS em todas as fases da cadeia de abastecimento, devido ao elevado número de *stakeholders* envolvidos, o que motiva a preocupação sobre fuga de receitas, adulteração de processos e roubo de dados dos consumidores, que podem pôr em risco a cadeia de abastecimento, a reputação e os lucros de uma organização.

Corallo et al. [62], abordam a sensibilização para a CS visando a minimização do impacto dos ciberataques no desempenho empresarial e salvaguardar o capital intelectual, por meio de programas de formação regulares para todos os funcionários, com o objetivo de informar os trabalhadores sobre os requisitos de segurança, as diretrizes, as políticas e os procedimentos da empresa, promovendo uma gestão mais eficaz das questões de CS. Uma prática consistente permite que os colaboradores desenvolvam as competências necessárias para lidar e responder às ameaças e riscos de CS, para que as organizações consigam, eficazmente, evitar as ciberameaças, especialmente as que visam os trabalhadores, diminuir os riscos comerciais associados, e garantir a estabilidade dos sistemas, melhorando, em última análise, a eficiência dos processos organizacionais.

Por este motivo, programas de formação e sensibilização para a CS mostram-se ser essenciais para proteger os sistemas e infraestruturas de uma organização e evitar danos significativos nas operações comerciais diárias, incluindo danos nos equipamentos, perdas financeiras, perdas de propriedade intelectual e riscos de segurança [63].

2.3. Benefícios da Indústria 4.0

A I4.0 representa uma revolução em como as empresas operam ao integrar diversas tecnologias que resultam na eficiência operacional, segurança no trabalho e adaptação, promovendo uma produção mais ágil e sustentável.

A I4.0 dá origem a novos métodos de criação de valor, juntamente com a utilização de tecnologias, no qual permite uma produção dinamicamente programável, associada a uma maior flexibilidade das máquinas, proporcionando a personalização, a afetação dinâmica de recursos, tempos de mudança mais rápidos e produção simplificada com menos restrições. Esta versatilidade permite processos de produção mais rápidos, mais económicos e mais simples o que, por sua vez, leva a custos de mão de obra reduzidos, procedimentos comerciais simplificados, erros de inventário minimizados e maior transparência nos processos logísticos, abrangendo aspetos como custos logísticos, tempos de entrega, atrasos de transporte e gestão

de inventário, sendo melhorias fundamentais para aumento da produtividade, das receitas e do crescimento económico global [10].

Em concordância, Wichmann, Eisenbart e Gericke [64], abordam que as tecnologias da quarta revolução industrial permitem ajustes organizacionais flexíveis com a capacidade de responder a diversas exigências, através da utilização de sistemas inteligentes que trabalham de forma autónoma às flutuações da produção, o que possibilita uma personalização acessível. O uso das TI viabiliza um aprovisionamento melhorado, apoiado por encomendas digitalizadas e previsões avançadas, minimizando o efeito de *bullwhip*, além de melhorar os processos logísticos, impactando positivamente a eficiência, a comunicação e a sustentabilidade tanto para as organizações como para os clientes. Esta perspetiva é reforçada por Ali e Xie [51], que defendem o potencial da I4.0 para enfrentar os desafios do mundo atual, como a utilização eficiente da energia e dos recursos, além de ajudar os trabalhadores a alcançar um melhor equilíbrio entre a sua vida pessoal e profissional.

Segundo Fonseca, Amaral e Oliveira [19], a integração bem-sucedida da I4.0 melhora a comunicação e os fluxos de informação, incentiva o trabalho colaborativo e a partilha de conhecimentos, aumenta a eficiência e a produtividade da produção, melhora a experiência do cliente, reduz os custos e apoia o aparecimento de modelos de negócio inovadores. Os autores afirmam que quando associada a metodologias de melhoria como Lean, a I4.0 não só aumenta a moral dos trabalhadores, como também reduz os prazos de entrega, melhora a qualidade dos produtos, permite uma maior personalização dos mesmos e minimiza o desperdício.

Pozzi, Rossi e Secchi [65], analisam oito fábricas italianas ou empresas internacionais localizadas em Itália, caracterizadas por, pelo menos, uma iniciativa de adoção bem-sucedida. A partir do estudo realizado, os autores concluem as seguintes melhorias conseguidas:

- Melhorias no desempenho operacional;
- Desenvolvimento de novos modelos de negócios;
- Redução substancial dos prazos de entrega de produtos personalizados;
- Obtenção de vantagem competitiva;
- Resposta efetiva à procura;
- Impacto financeiro e operacional nas organizações;
- Obtenção de dados em tempo real que permitir a realização de manutenção preditiva;
- Inovação de produtos ou serviços para alcançar novos clientes ou aumentar a procura dos atuais;

Hamzeh, Zhong e Xu [66], levam a cabo um estudo sobre questões relacionadas com implementação da I4.0, através da recolha de opiniões de fabricantes neozelandeses. Mediante os dados recolhidos, os autores concluem, que com a implementação bem-sucedida da I4.0, as organizações esperam obter uma redução dos custos de fabrico, aumento da agilidade nas suas operações, oportunidades de desenvolver novos modelos de negócio e alcançar uma maior inovação dos seus produtos.

No que diz respeito ao caso específico das PMEs, segundo Moeuf et al. [30], as oportunidades conseguidas no âmbito da I4.0 remetem para dois pontos de destaque: uma enfatiza as melhorias operacionais para aumentar o desempenho e reduzir os custos, enquanto a outra se centra em transformações inovadoras do modelo de negócio. Ambas têm como objetivo acrescentar valor, embora a segunda possa implicar custos mais elevados. O estudo dos autores apura que os especialistas concordam com o papel da I4.0 no aumento da competitividade das PMEs e na potencial redução do impacto ecológico. No entanto, os mesmos demonstram uma falta de consenso sobre uma estratégia de transição dominante no meio do conjunto de oportunidades apresentadas por este paradigma.

Pech e Vaněček [67], também avaliam as perceções dos gestores sobre as vantagens da I4.0 nas empresas transformadoras localizadas na República Checa. Através da revisão da literatura, os autores identificam que a quarta revolução industrial pode beneficiar as empresas através de uma maior produtividade, maior volume de produção, proporcionar uma melhor segurança para os trabalhadores e melhores condições de trabalho, melhorar cooperação com fornecedores, promover a sustentabilidade nas empresas, proporcionar uma maior taxa de inovação, melhorar a gestão das operações, permitir a comercialização de produtos personalizados e obter vantagens de comunicação. Os mesmos concluem que o tamanho das empresas influencia as preferências dos gestores relativamente aos benefícios que pretendem alcançar. A título de exemplo, as grandes empresas priorizam as vantagens da I4.0 como maior produtividade e volume de produção, enquanto nas PMEs, estas vantagens são igualmente importantes, contudo são priorizados fatores mais focados em ambiente de trabalho, condições e segurança.

Isto reforça a ideia exposta por Sartal et al. [32] que afirmam que a I4.0 tem o potencial de se alinhar com os objetivos de produção, economia e ecologia, enquanto aborda os desafios sociais em conformidade com os princípios de sustentabilidade do *Triple Bottom Line* (TBL).

Segundo Oláh et al. [14], a digitalização nas organizações demonstra impactos positivos na sustentabilidade ambiental. O fabrico aditivo, o transporte descentralizado e a análise de dados para manutenção preventiva e preditiva, têm um impacto positivo nos aspetos ambientais, assim como a reciclagem e a utilização eficiente dos recursos, que contribuem para a bioeconomia e economia circular, promovendo práticas sustentáveis e evitando impactos económicos globais negativos. Os autores propõem a automatização, a integração e digitalização como medidas para melhorar a sustentabilidade ambiental, que possibilitam o trabalho à distância para flexibilidade e redução da poluição e a utilização mais eficiente da energia e a uma redução do horário de trabalho.

A I4.0 também abre portas a novos paradigmas de manutenção como é o caso da “*Maintenance 4.0*” que possibilita efetuar análises preditivas e desenvolver soluções mais viáveis [68]. Esta prática de manutenção avançada envolve a monitorização e o diagnóstico de sistemas-alvo para executar operações de manutenção eficientes que aumenta a fiabilidade do sistema a um custo mais baixo [69], através da utilização de componentes inteligentes, como sensores e microprocessadores, que permitem a recolha de dados sobre a utilização, a degradação, o ambiente e a localização dos seus ativos físicos [70]. Os seus benefícios industriais abrangem um maior retorno do investimento, a diminuição das despesas de manutenção, a redução das

avarias e do tempo de inatividade, bem como a minimização dos custos de inventário, peças sobressalentes e horas extraordinárias, conduzindo, em última análise, a uma maior eficiência da produção [69]. A “*Maintenance 4.0*” tem o potencial de ultrapassar os constrangimentos associados às estratégias tradicionais, permitindo às empresas otimizar a vida útil dos seus equipamentos de produção, aumentar a segurança dos processos e das pessoas, além de minimizar o consumo de energia e de recursos [71, 72]. Franciosi et al. defendem que a integração das tecnologias I4.0 nos processos de manutenção pode conduzir a efeitos positivos para a sustentabilidade das empresas [73].

Neste sentido, a Tabela 3 identifica os principais benefícios associados à implementação da I4.0.

Tabela 3 - Principais benefícios da I4.0. Adaptado de [25].

Benefício	Impacto nas organizações
Vantagem Competitiva estratégica	Os produtos e serviços inteligentes oferecem vantagens competitivas, incluindo diferenciação de produtos, segmentação de clientes, preços flexíveis, serviços de valor acrescentado e relações reforçadas com os clientes, oferecendo oportunidades de negócio ao longo do ciclo de vida de um produto.
Eficiência e eficácia organizacional	A implementação da I4.0 eleva significativamente a eficiência e a eficácia organizacional, estabelecendo uma vantagem competitiva através de uma elevada automatização, resultando na produção de produtos de elevada qualidade, a preços competitivos e personalizados.
Agilidade da organização	A agilidade implica responder prontamente às oportunidades e traduzi-las em produtos e serviços inovadores, onde a velocidade e a qualidade da resposta são fundamentais. Esta agilidade, essencial para o desempenho organizacional a longo prazo, é facilitada pela integração vertical, horizontal e <i>end-to-end</i> .
Inovação na indústria transformadora	A integração de tecnologias permite o funcionamento dos equipamentos de forma autónoma, o que reduz a necessidade de intervenção humana e promove a comunicação e o controlo dinâmicos entre o chão de fábrica e os mercados alvo, oferecendo uma vantagem competitiva substancial em relação aos métodos tradicionais.
Rentabilidade	A I4.0 contribui para uma redução de custos de uma organização. Esta redução inclui fatores como menos problemas de qualidade, menos desperdício de material e menos custos de pessoal e de funcionamento.
Maior segurança e qualidade do produto	A segurança é um fator essencial na produção e os consumidores estão dispostos a pagar um valor superior por produtos que sejam não só de alta qualidade, mas também seguros. Neste sentido a I4.0 está preparada para elevar significativamente a segurança e a qualidade dos produtos.
Experiência agradável do cliente	As tecnologias da I4.0 concede aos clientes um maior controlo e acesso a informações detalhadas o que permite aos fabricantes e prestadores de serviço aproveitar estrategicamente esta partilha de informações para moldar de forma colaborativa experiências positivas, para obter uma vantagem competitiva. Ao reconhecer o valor de uma experiência agradável, os clientes estão dispostos a pagar mais.
Operações aprimoradas	A implementação da I4.0 oferece vantagens operacionais, produzindo o que os clientes precisam, melhorando a qualidade e a eficiência. Com o aprimoramento das operações consegue-se reduzir o tempo de chegada ao mercado e os prazos de entrega, obter níveis de inventário mais baixos e a uma gestão eficaz das alterações e da volatilidade do mercado, melhorar o controlo da qualidade e tempo de vida dos produtos e minimizar as falhas e as taxas de resíduos.

Tabela 3 - Principais benefícios da I4.0. Adaptado de [25]. (Continuação)

Benefício	Impacto nas organizações
Benefícios ambientais e sociais	A adoção da I4.0 está preparada para diminuir as emissões de gases com efeito de estufa, monitorizando de perto as pegadas de carbono através de parâmetros controlados por algoritmos em sistemas verticalmente integrados. Isto irá aumentar a eficiência dos recursos, minimizar os resíduos e melhorar a eficiência energética global. A nível social, a tomada de decisões transparentes com base em dados será uma prioridade. Os robôs ocupar-se-ão de tarefas fisicamente exigentes, melhorando assim a qualidade da vida profissional humana.

2.4. Desafios da Indústria 4.0

A integração da I4.0 apresenta desafios consideráveis, exigindo um planeamento cuidadoso e um acordo entre as partes interessadas em toda a cadeia de valor, o que, segundo os especialistas nesta área, prevê-se que a integração prática demore uma década ou mais, com obstáculos que abrangem dimensões sociais, políticas, económicas, técnicas e científicas. As empresas têm dificuldade em alinhar as competências dos trabalhadores com a nova estratégia, necessitando de tecnologia especializada para tarefas relacionadas com a recolha de dados. Os desafios estendem-se a áreas como a inovação, os avanços técnicos e a tomada de decisões complexas com base em vários critérios [10].

Apesar do seu potencial transformador, a adoção deste paradigma enfrenta outros tipos de obstáculos como custos significativos, incerteza quanto à rentabilidade [32] e hesitação dos clientes em pagar mais por produtos inteligentes [15]. A lenta adoção está associada a retornos imprevisíveis do investimento e à imaturidade da tecnologia, bem como a necessidade de uma implementação completa, as preocupações dos trabalhadores, a procura de mão de obra qualificada, as repercussões sociotécnicas, os riscos de cibersegurança e os custos iniciais [17].

Por conseguinte, vários são os autores, que através de estudos realizados, dão ênfase a desafios associados a esta transformação.

Segundo Wichmann, Eisenbart e Gericke [64], um dos grandes obstáculos relativos a este paradigma é a necessidade de um projeto de implementação e gestão do aumento previsto da complexidade do sistema devido a uma falta de soluções normalizadas para ligar diversos sistemas de produção. Outros fatores destacados pelos autores remetem também para a necessidade de trabalhadores qualificados, além da importância da segurança e privacidade de dados que, caso não disponham de uma infraestrutura capaz de assegurar uma cibersegurança adequada, estas ficam vulneráveis a ciberataques.

Alcácer et al. [53], através de uma revisão da literatura, identificam desafios à implementação da I4.0, com o objetivo de desenvolver um estudo referente às perceções dos mesmos, sendo o seu foco de estudo empresas localizadas num *cluster* industrial português, mais concretamente no distrito de Setúbal. Mediante os dados obtidos das quinze empresas analisadas, os autores concluem que a “falta de esclarecimento sobre benefícios económicos”, a “falta de padrões (interoperabilidade e compatibilidade)” e a “Infraestrutura de TI

subdesenvolvida” são os desafios que apresentam maior grau de importância na perspectiva das mesmas.

Hamzeh, Zhong e Xu [66] estudam as opiniões dos fabricantes neozelandeses sobre as questões relacionadas com a implementação da quarta revolução industrial. Após a avaliação das respostas obtidas das 43 empresas estudadas, os autores concluíram que os fabricantes acreditam que o desafio mais predominante remete para a necessidade de um elevado capital inicial. O estudo em questão também permitiu caracterizar outros desafios que as empresas necessitam de enfrentar, nomeadamente, a falta de mão de obra qualificada, a falta de infraestruturas e tecnologia adequadas, a dificuldade em convencer a gestão de topo quanto à viabilidade e ao valor deste conceito, a falta de capacidade de integração na atual pegada operacional e a ausência de clareza em torno da I4.0.

Sony et al. [15] também identificam alguns desafios à adoção da I4.0 presentes em empresas que atuam nos setores dos serviços e da indústria transformadora. O elevado custo e a segurança de dados, são as dificuldades identificadas com maior evidência nas empresas, havendo também outras dificuldades à adoção presentes como, a resistência dos colaboradores à mudança, a falta de competências e conhecimentos sobre a I4.0 e conectividade à Internet pouco fiável.

A literatura também caracteriza dificuldades à adoção da I4.0 relativamente a aspetos que dizem respeito à sustentabilidade. A preocupação com a sustentabilidade manifesta-se no pilar económica devido a investimentos elevados ou mal orientados, no pilar ambiental devido ao aumento dos resíduos e do consumo de energia e no pilar social devido à perda de postos de trabalho e aos riscos associados à transformação organizacional. Neste sentido, a gestão de topo, aquando da implementação da I4.0 deve considerar tanto os aspetos organizacionais como os externos, particularmente no que diz respeito às partes interessadas [26].

Embora ofereça ganhos de eficiência, o aumento do consumo de recursos, a desigualdade de rendimentos e a perda de postos de trabalho devem ser considerados como preocupações por parte das empresas [19]. Estes desafios estão muitas vezes ligados à falta de compreensão e de apoio por parte da gestão de topo relativamente a este paradigma, impedindo que as organizações consigam associar as iniciativas da I4.0 à sustentabilidade [31]. Além disso, a falta de competências e técnicas de gestão, aliadas à incapacidade de integrar a I4.0 nos planos globais da empresa, pode resultar em declínio do comportamento ambiental nas organizações [19].

Referente às PMEs, a escassez de competências, as estratégias de curto prazo e o ritmo acelerado com que a evolução tecnológica ocorre, apresentam-se como riscos da I4.0, o que leva a afirmar que as PMEs não possuem as competências necessárias para adotar novas tecnologias, originando uma desconsideração da integração a longo prazo da I4.0 nas estratégias empresariais e enfrentar uma potencial obsolescência dos investimentos em tecnologia [30].

Atualmente, as PMEs lutam para acompanhar o ritmo dos rápidos avanços tecnológicos e enfrentam dificuldades na implementação dos processos da I4.0, sendo as mesmas prejudicadas a nível competitivo, nos respetivos setores, pela sua incapacidade de adoção.

Segundo Sevinç, Gür e Eren [29], as preocupações com a preparação da organização e os elevados custos associados aos investimentos baseados na tecnologia impedem muitas PMEs de adotar este conceito, o que por sua vez dificulta o reconhecimento da importância da I4.0 no aumento da competitividade e a exploração de soluções financeiras viáveis que podem ajudar as PMEs a ultrapassar estes desafios e a prosperar num cenário orientado para o digital.

No mesmo seguimento Masood e Sonntag [12], retratam inúmeros obstáculos na adoção da I4.0, tais como recursos financeiros limitados, lacunas de conhecimento e falta de sensibilização para a tecnologia. Ao contrário das grandes empresas e multinacionais, as PMEs apresentam abordagens diversas para adotar a I4.0, o que torna difícil a conceção de um modelo padronizado. Assim sendo, existe uma disparidade notória entre os requisitos das PMEs e os atuais quadros I4.0 concebidos principalmente para as grandes empresas. As PMEs debatem-se com a natureza complexa da tecnologia e não dispõem de metodologias claras para avaliar as soluções I4.0 adaptadas às suas necessidades específicas. Para ultrapassar estes obstáculos, é necessário colmatar a lacuna do conhecimento através de iniciativas de formação, apoio governamental sob a forma de subsídios e financiamento e acesso a orientação especializada. As limitações de tempo também impedem o progresso, sublinhando a necessidade de o pessoal designado se manter a par dos avanços tecnológicos.

Apesar do reconhecimento destes desafios, as abordagens para impulsionar os progressos da I4.0 diferem entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Os países desenvolvidos normalmente definem estratégias nacionais, enquanto os países em desenvolvimento dependem de iniciativas empresariais individuais, o que resulta em diferentes níveis de adoção. Neste sentido, a partir dos autores Raj et al. [74], Sony [25] e Sony et al. [15], é possível identificar os principais desafios associados à implementação da I4.0 presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais desafios da I4.0. Adaptado de [15, 25, 74].

Desafio	Dificuldades nas organizações
Custo de Investimento Elevado	A implementação de iniciativas da I4.0 exige um compromisso significativo por parte das empresas, com um aumento sugerido de 50% nos investimentos anuais de capital ao longo de cinco anos. Apesar do potencial transformador e da rentabilidade prevista a longo prazo, os custos iniciais são elevados, especialmente tendo em conta a necessidade de investimentos em pessoas, processos e tecnologia, tanto a nível da empresa como da cadeia de abastecimento.
Resistência à Mudança	A resistência dos funcionários que não estão dispostos a mudar os hábitos de trabalho dificulta a implementação da IoT nas organizações, devido à relutância em adotar novas tecnologias. A I4.0 prevê a substituição de empregos pouco qualificados pela automatização e exigindo a aquisição de novas competências, sendo crucial gerir eficazmente as relações entre os trabalhadores, uma vez que a implementação bem-sucedida deste conceito depende da aceitação dos mesmos.
Risco de Violação de Dados	O aumento da conectividade na I4.0, levanta preocupações sobre os riscos de segurança associados à partilha de informações. Neste sentido, as empresas temem tanto as violações de cibersegurança como a potencial perda de dados para terceiros. A falta de uma estratégia adequada de cibersegurança pode comprometer as operações comerciais, o que realça a necessidade de medidas rigorosas para o sucesso das iniciativas deste paradigma.

Tabela 4 - Principais desafios da I4.0. Adaptado de [15, 25, 74]. (Continuação)

Desafio	Dificuldades nas organizações
Conhecimento e Formação	A implementação da I4.0 exige trabalhadores com diversas competências técnicas, metodológicas, sociais e pessoais. O desafio reside na disponibilidade de trabalhadores com estas competências, e a formação dos atuais, o que implicará custos devido ao elevado desgaste previsto, sendo uma barreira que impedem a transição para um modelo operacional mais ágil e baseado em dados.
Falta de clareza quanto aos Benefícios Económicos	O paradoxo da produtividade associado à implementação da tecnologia introduz incerteza na avaliação dos ganhos económicos definitivos resultantes dos investimentos tecnológicos que, conseqüentemente, gera hesitação por parte das empresas.
Falta de uma Estratégia Digital e Escassez de Recursos	A implementação eficaz da I4.0 necessita de um fluxo de dados fluido dentro e entre organizações, o que implica a utilização de recursos para tal efeito. Neste sentido muitas organizações enfrentam desafios com a adoção deste conceito devido a limitações de recursos.
Falta de infra-estruturas	A implementação bem-sucedida da I4.0 depende fortemente de uma infraestrutura de banda larga robusta, um elemento essencial, mas deficiente, particularmente para as PMEs. Apenas os grandes operadores com grandes recursos possuem atualmente a tecnologia de banda larga de alta velocidade necessária, o que permite obter uma infraestrutura digital adequada.

2.5. Fatores Críticos de Sucesso da Indústria 4.0

A implementação da I4.0 varia significativamente entre as organizações devido a diferenças nos *outputs* e *inputs*, e também devido a distinções em termos de planeamento, estratégia, tecnologia, ambiente, métodos de entrega, modelo de negócio e produto comercializado. Dadas estas diferenças inerentes, é fundamental identificar os FCS na implementação da I4.0. Os FCS são variáveis que, se presentes numa organização, garantem o sucesso da execução de uma iniciativa [15].

Neste sentido, Sony et al. [15], Sony e Naik [31] destacam os dez principais FCS para a implementação bem-sucedida da I4.0:

- Alinhar as iniciativas da I4.0 com a estratégia organizacional – a implementação da I4.0 requer o alinhamento com a estratégia organizacional global através de um planeamento minucioso a curto, médio e longo prazo, com base em visões e planos predefinidos, sendo essencial para enfrentar os desafios e capitalizar as oportunidades no cenário digital dinâmico. O sucesso na I4.0 assenta em estratégias eficazes que abordam as preocupações

ambientais, a sustentabilidade, as relações com os clientes, as cadeias de abastecimento e os processos de fabrico.

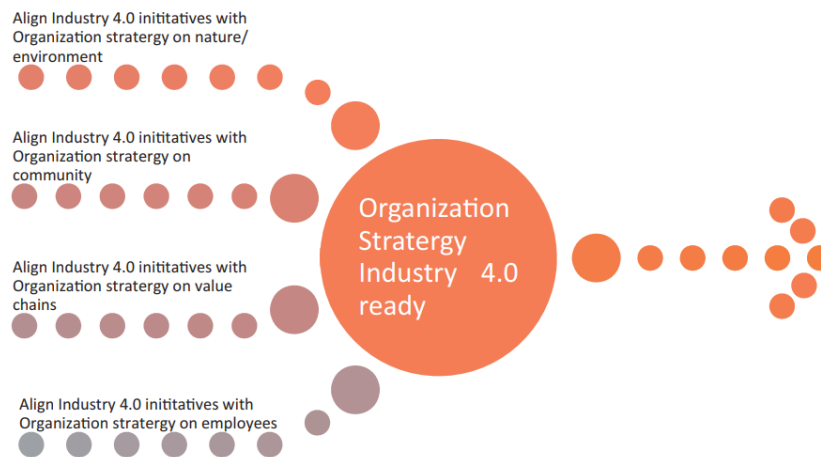


Figura 6 - Alinhar a estratégia da organização com as iniciativas da I4.0 [31].

- A gestão de topo deve apoiar as iniciativas da I4.0 – o sucesso da I4.0 depende significativamente de um apoio sólido da gestão de topo, que inclua apoio financeiro e político. Para uma implementação eficaz, é essencial que a gestão de topo tenha expectativas realistas e um conhecimento profundo dos conceitos da I4.0. Para além da atribuição de recursos, este apoio implica a defesa das mudanças organizacionais necessárias, incluindo alterações nas estruturas, no planeamento, nos estilos de liderança e na reafecção e reconversão de funções. A liderança transformacional torna-se crucial, respondendo a necessidades de ordem superior essenciais para uma adoção bem-sucedida da I4.0.
- Os trabalhadores serão importantes para o sucesso da I4.0 – para lidar com esta mudança, as organizações devem desenvolver programas de formação personalizados para os funcionários existentes e recrutar estrategicamente indivíduos com competências específicas necessárias. Para além dos conhecimentos técnicos, as competências cruciais incluem a resolução de problemas, a resolução de conflitos, a criatividade, a tolerância à ambiguidade e a orientação para o serviço. A chave para o sucesso dos trabalhadores na era da I4.0 reside na adaptabilidade.
- Tornar os produtos ou serviços inteligentes – nas fábricas inteligentes da I4.0, a interação perfeita com processos de produção automatizados, flexíveis e autorregulados é essencial para produtos e serviços, estando estes equipados com tecnologias avançadas, como sensores e ferramentas de comunicação. A sua integração é crucial para o sucesso generalizado da Indústria 4.0, melhorando a eficiência do fabrico e influenciando a conceção de modelos de negócio melhorados para o sucesso organizacional.
- Procurar digitalizar a cadeia de abastecimento – a digitalização da cadeia de abastecimento através do uso das tecnologias da I4.0 permite uma coordenação baseada em dados e uma programação otimizada. O sucesso da digitalização depende

de um processamento de dados eficaz, que promova melhores relações entre clientes e fornecedores. A digitalização aumenta a eficiência e a capacidade de resposta em cadeias de abastecimento globais complexas, sendo necessário uma digitalização colaborativa por parte das mesmas, para satisfazer a crescente procura e cultivar modelos de negócio inovadores e garantir entregas atempada e eficientes.

- Digitalizar a organização – a digitalização de uma organização implica equipar os ativos com sensores para deteção de parâmetros em tempo real, promover a transparência e automatizar tarefas através de tecnologias da I4.0. Esta automação otimiza os recursos e estabelece uma vantagem competitiva, além de promover a conectividade. A digitalização destas funções facilita a concretização de objetivos através de sistemas inteligentes e suporta diferentes tipos de integração na I4.0. A utilização em tempo real de BD melhora as funções de gestão, contribuindo para a conceção de fábricas inteligentes.
- Gestão da mudança – uma integração bem-sucedida da I4.0 exige uma gestão eficaz da mudança, resultantes da integração vertical, horizontal e de ponta a ponta. Esta iniciativa vai para além do ajuste dos modelos de negócio, alterando fundamentalmente a estratégia organizacional, as estruturas, os processos e as descrições de funções. Quer seja liderada pelo CEO ou imposta externamente, exige recursos externos e visão estratégica da gestão de topo, além de uma transparência para responder às preocupações relativas à perda de postos de trabalho e à atualização de competências.
- Gestão de projetos – a implementação eficaz da I4.0 necessita de projetos bem planeados e executados estrategicamente com uma gestão de projetos sólida. É fundamental encontrar um equilíbrio entre o âmbito e os prazos do projeto, juntamente com uma atribuição cuidadosa dos recursos humanos. Os desafios abrangem a integração, as aquisições, a gestão do tempo, a comunicação, a definição do âmbito, a atenuação dos riscos, os recursos humanos, a garantia de qualidade e o controlo dos custos, sendo essencial uma gestão competente dos mesmos.
- Gestão da cibersegurança – Para garantir o sucesso, a implementação da I4.0 exige a incorporação antecipada de medidas de cibersegurança. A transformação introduzida por este paradigma cria uma rede de *stakeholders*, mas a transparência da informação também introduz desafios de cibersegurança. Consequentemente, uma gestão eficaz da cibersegurança é essencial para uma implementação bem-sucedida da I4.0.
- I4.0 e sustentabilidade – as empresas centram-se cada vez mais na sustentabilidade devido a fatores sociais, regulamentares e de responsabilidade social, procurando equilibrar considerações ambientais, económicas e sociais. A I4.0, tem como um dos objetivos reduzir o consumo de energia e o impacto ambiental. As organizações atuais estão sob pressão para incorporar a sustentabilidade nas suas práticas empresariais e as iniciativas bem-sucedidas da I4.0 devem aderir aos princípios de sustentabilidade nas dimensões económica, operacional, ambiental e social.

Contudo, a literatura também destaca outros FCS importante para a implementação da I4.0. É o caso de Fonseca, Amaral e Oliveira [19], que evidenciam a qualidade como essencial para desbloquear todo o potencial da I4.0, integrando os conhecimentos de gestão da qualidade, a fim de impulsionar a eficácia, alcançar uma maior excelência operacional e promover uma melhor inovação, mudança e melhoria proporcionadas por este novo paradigma. A fusão das novas tecnologias da I4.0 com os sistemas, ferramentas e técnicas de gestão da qualidade é designada por *Quality 4.0* [75].

Já Pozzi, Rossi e Secchi [65], distinguem os FCS em duas vertentes: fatores contextuais e fatores de implementação. A partir de um estudo realizado a oito empresas italianas os autores concluíram os seguintes pontos presentes na Tabela 5:

Tabela 5 - Fatores Contextuais e de Implementação. Adaptado de [65].

Fatores	Conclusões
Contextuais	<ul style="list-style-type: none"> • Limita-se à prioridade competitiva e à cultura organizacional; • Geralmente as empresas priorizam a qualidade como sua principal prioridade competitiva; • A cultura organizacional das empresas estudadas enfatiza uma forte cultura Lean centrada na melhoria contínua e no envolvimento generalizado dos colaboradores.
Implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Os objetivos do projeto, o envolvimento da gestão de topo, o planeamento do projeto e a formação têm influência no que diz respeito aos processos de implementação; • Objetivos claros são cruciais para uma implementação bem-sucedida, juntamente com o envolvimento ativo da gestão de topo e um planeamento de projeto bem definido, sendo a formação parte integrante de todos os projetos de implementação da I4.0.

É destacado por parte dos autores que o empenho na melhoria contínua é essencial para garantir o desempenho dos processos, estando o envolvimento dos trabalhadores a todos os níveis profundamente enraizado. Além disso, a implementação de práticas de gestão Lean é vista como essencial para alavancar a eficácia das tecnologias da I4.0 e auxiliar na implementação bem-sucedida da I4.0.

Por fim, Frank, Dalenogare e Ayala [38], falam que o nível de implementação da I4.0 está correlacionada com a dimensão da empresa, com as empresas maiores a apresentarem normalmente uma implementação mais avançada. Esta tendência sugere que as empresas de grande dimensão estão predispostas a investir na inovação de processos e produtos sendo que, tais investimentos exigem frequentemente recursos financeiros substanciais para infraestruturas tecnológicas, um fator que PMEs podem considerar proibitiva.

Neste sentido, Pozzi, Rossi e Secchi [65], identificam três FCS que caracterizam a implementação da I4.0 nas PMEs: formação dos trabalhadores, realização de um estudo prévio a qualquer projeto da I4.0 e a utilização regular dos dados disponíveis da empresa. Em concordância, Moeuf et al. [30], acrescentam outros FCS, nomeadamente o papel vantajoso dos gestores das PMEs na facilitação da comunicação, do alinhamento e da troca de conhecimentos, o apoio académico à consultoria e defesa de estratégias de melhoria contínua e a simplificação das

ferramentas da I4.0 para promover a adoção. Segundo os autores, estes fatores podem ser vistos como aspetos que visam capitalizar as oportunidades apresentadas por este conceito.

2.6. Indústria 4.0 em Portugal

A quarta revolução industrial, está a transformar radicalmente o panorama industrial em todo o mundo, e Portugal não é exceção, redefinindo a forma como as empresas operam, produzem e interagem com seus produtos e clientes. Em Portugal, a I4.0 tem ganho cada vez mais destaque, sendo impulsionada por iniciativas governamentais, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e uma crescente colaboração entre empresas e instituições de ensino e pesquisa, uma vez que existe a necessidade de uma rápida adaptação das empresas portuguesas, para que estas se mantenham competitivas num mercado global em constante evolução.

Segundo Pereira et al. [76], o avanço para a integração da I4.0 em Portugal, é ativamente apoiado pelo governo, alinhado com as estratégias da Comissão Europeia. Esta iniciativa denominada por "Portugal i4.0", iniciada em 2017, visa acelerar a adoção da I4.0 entre as empresas locais e posicionar Portugal como um destino apelativo para o investimento neste domínio. Vários estudos realizados por empresas de consultoria e instituições académicas revelam que:

- Uma percentagem assinalável de empresas portuguesas ambiciona atingir níveis avançados de digitalização nos próximos cinco anos, ultrapassando as expectativas globais;
- As empresas antecipam benefícios significativos da digitalização, incluindo o crescimento das receitas, a redução de custos e a melhoria da eficiência, mas enfrentam desafios como a falta de conhecimento digital e preocupações com a cibersegurança.
- Embora haja otimismo em relação à transformação digital, a sua implementação está ainda numa fase inicial, com uma diferença notável entre o planeamento estratégico e a execução;
- A adoção de tecnologias digitais, incluindo redes sociais, marketing digital, BD, CC e IoT, varia consoante os sectores;
- Necessidade de intensificar campanhas de sensibilização, o reforço da formação dos trabalhadores e o aumento do apoio de consultoria, para facilitar a integração das tecnologias da I4.0.

Os autores acrescentam ainda que há uma tendência por parte da maioria das empresas portuguesas em concentrarem-se apenas na tecnologia, em vez de integrarem a estratégia digital nos objetivos empresariais gerais. Os desafios mais citados incluem fatores humanos, requisitos de investimento inicial e incerteza sobre a viabilidade económica. Apesar destas dificuldades, existe uma vontade entre as empresas de melhorar as competências digitais e aumentar a maturidade digital. A indústria portuguesa reconhece as vantagens da I4.0, como a

melhoria da comunicação, a agilidade da produção, as vantagens competitivas, o crescimento e a rentabilidade, contudo, é necessária uma abordagem mais abrangente, começando pela avaliação da maturidade digital e pelo desenvolvimento de planos de ação adaptados, sendo fundamental que a indústria portuguesa dê prioridade ao alinhamento estratégico e à transformação metodológica para uma implementação bem-sucedida.

Esta realidade é ainda validada por Ferreira et al. [77], que ao realizarem um estudo a 50 empresas portuguesas em diversos ramos de negócio, concluíram que, apesar das mesmas reconhecerem os potenciais benefícios deste paradigma, as organizações demonstram hesitação devido a preocupações com investimentos financeiros, restrições de tempo e conhecimentos limitados de recursos humanos.

2.7. Análise Crítica da revisão bibliográfica

Em conclusão, esta dissertação explorou o panorama global da I4.0, evidenciando o seu potencial transformador, os desafios inerentes e os FCS cruciais para a sua implementação eficaz. Os benefícios da adoção da I4.0 são evidentes no aumento da eficiência operacional, na melhoria dos processos de tomada de decisão e na criação de novos modelos de negócio. A integração de tecnologias avançadas como a IoT, a BD e os robôs autónomos prometem revolucionar as organizações, promovendo a inovação e a competitividade à escala global.

No entanto, o caminho para a I4.0 não está isento de obstáculos. As organizações têm de enfrentar desafios relacionados com a segurança dos dados, a melhoria das competências da força de trabalho e a complexa tarefa de integração de sistemas antigos. A mudança de paradigma exige uma mudança cultural nas organizações, exigindo um compromisso com a aprendizagem contínua e a adaptabilidade para navegar no cenário tecnológico em evolução.

Os FCS surgiram como elementos determinantes para as organizações que pretendem prosperar na era da I4.0. O planeamento estratégico, uma liderança forte e uma estratégia robusta de gestão da mudança são imperativos para orientar as organizações através do processo de transformação. A colaboração dos seus *stakeholders*, incluindo fornecedores e clientes, contribuem para um ecossistema integrado e interligado que maximiza os benefícios da I4.0.

Torna-se evidente que a I4.0 não é apenas uma tendência, mas uma mudança fundamental que irá redefinir a forma como as empresas funcionam. A implementação bem-sucedida deste paradigma requer uma abordagem abrangente, que envolva as dimensões tecnológica, organizacional e cultural, tendo as organizações a oportunidade não só de sobreviver, mas também de prosperar num futuro digitalmente ligado e automatizado.

Com a análise dos resultados das respostas ao questionário e às perguntas abertas e na sua comparação com os artigos referenciados na revisão da literatura, espera-se dar respostas às questões de investigação, e auxiliar os gestores, académicos e decisores políticos no conhecimento da I4.0 e como a mesma pode ser aplicada nas empresas portuguesas.

3. Métodos e Aplicação

O presente capítulo descreve a coleta e análise de dados para a pesquisa. O subcapítulo 3.1 detalha o uso de um questionário validado para capturar percepções sobre a I4.0, distribuído a empresas na região norte de Portugal. O subcapítulo 3.2 explica a amostra por conveniência utilizada, com 52 respostas válidas obtidas de forma voluntária e anônima. O subcapítulo 3.3 aborda as análises estatísticas realizadas no *software* R, incluindo gráficos descritivos, variáveis latentes e testes de hipóteses para avaliar diferenças significativas entre grupos.

3.1. Recolha de Dados

Como já mencionado anteriormente, para a coleta de dados, optou-se pelo método de questionário, considerado o mais apropriado para os objetivos desta dissertação. Este método foi selecionado devido à sua capacidade de reunir um amplo número de respostas, possibilitando assim a realização de um tratamento estatístico dos dados com maior representatividade. O objetivo é padronizar a coleta de informações, facilitando assim sua análise posterior. Através deste método, busca-se obter uma compreensão abrangente e sistemática das percepções das empresas portuguesas sobre a I4.0, contribuindo para uma pesquisa robusta e fundamentada.

O desenvolvimento do questionário é apoiado pela revisão da literatura, para que assim seja possível responder às questões de investigação propostas. Quanto à validação do mesmo, este já se encontra previamente validado por diferentes autores, uma vez que o questionário utilizado baseia-se no *survey* desenvolvido por Sony et al. [15], sendo os objetivos de investigação dos autores, semelhantes aos que se encontram neste estudo. O questionário *online* foi submetido a uma fase de teste por 10 respondentes para obter informações preliminares sobre a experiência de responder ao questionário elaborado. Posteriormente, foi necessário obter a concordância e respetiva aprovação do orientador deste projeto, tendo sido feitas pequenas alterações para simplificar algumas questões e facilitar o entendimento por parte dos participantes.

3.2. População e Amostra

O questionário final foi distribuído para várias empresas na região norte de Portugal, tanto através de contatos diretos estabelecidos pelo autor e orientador(es) deste projeto, quanto por meio da colaboração de professores do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Além disso,

uma estratégia adicional de partilha do questionário ocorreu via LinkedIn, visando alcançar o maior número possível de participantes. O período de coleta de dados abrangeu de janeiro a agosto de 2024, resultando em um total de 52 respostas válidas obtidas. É importante ressaltar que a participação neste questionário foi inteiramente voluntária e que as respostas foram tratadas com absoluto sigilo, garantindo total anonimato aos participantes. Os dados coletados foram estritamente utilizados para propósitos acadêmicos e de pesquisa, com a devida ética e cuidado. Este compromisso com a confidencialidade assegurou que os participantes pudessem expressar suas percepções de forma franca e sem receios, contribuindo assim para a qualidade e integridade dos resultados obtidos.

A "amostra por conveniência" foi o tipo de amostra adotada para esta investigação, uma vez que permite a seleção de participantes com base na sua acessibilidade e disponibilidade para participar, tornando a recolha de dados mais acessível e rápida. Este tipo de amostra é uma técnica de seleção não probabilística e não aleatória, o que significa que os participantes são escolhidos não por um processo de sorteio, mas sim pela fácil acessibilidade que podem apresentar para auxiliar o estudo em questão. No contexto da investigação, o termo "amostra" refere-se ao conjunto de respondentes que podem ser considerados representativos de um grupo maior, embora com algumas limitações, já que os participantes tendem a compartilhar características semelhantes que podem não refletir a diversidade completa da população-alvo. Assim, é importante reconhecer que as conclusões derivadas desta amostra podem não ser generalizáveis para toda a população [78].

Posto isto, a acessibilidade de participantes através de contacto direto e o tempo limitado para o desenvolvimento do estudo, justificam a escolha de uma "amostra por conveniência".

3.3. Metodologia Estatística Aplicada

Todas as análises estatísticas foram executadas com a linguagem *R*, versão 4.4.0, no *software* RStudio, estando o código desenvolvido presente no APÊNDICE A.

Numa vertente descritiva, inicialmente obtiveram-se gráficos de barras, gráficos circulares e tabelas de frequência para as diferentes variáveis e características, presentes no estudo (Idade, Sexo, Habilitações Literárias, Dimensão da Empresa, Área de Atuação, Nível de familiarização e conhecimento da I4.0, Tecnologias I4.0). Posteriormente, desenvolveu-se gráficos de distribuição percentual relativo a cada construto (Benefícios, Desafios, FCS), para medir as percepções referente a cada questão, sendo também dispostas algumas medidas descritivas como média e desvio padrão.

No estudo das percepções nos diferentes fatores em análise (Fator de Escolaridade, Fator Dimensão da Empresa, Fator Área de Atuação) foram criadas variáveis latentes para cada construto. Estas variáveis latentes consistem num valor médio calculado através do valor total das diferentes respostas dadas pelos participantes a cada pergunta em específico. A título de exemplo, o participante "X" avaliou cada questão presente no construto Benefícios através da escala de Likert, e o valor médio calculado através do valor total de todas as respostas,

representa o valor de uma variável latente referente ao construto Benefícios. O cálculo das variáveis latentes foi realizado no *software* estatístico utilizado.

Uma vez calculadas todas as variáveis latentes, desenvolveu-se gráficos *Boxplot* para tentar perceber e descrever variabilidade das variáveis latentes, assim como a média e a mediana apresentadas, entre os diferentes grupos presentes em cada fator, para cada construto.

Para a avaliação dos diferentes fatores, realizou-se testes de hipóteses. Primeiramente, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade das distribuições das variáveis latentes e concluir se as mesmas seguem uma distribuição normal ou não. Sempre que a hipótese de normalidade foi atendida, recorreu-se ao uso de um teste paramétrico, especificamente o teste t de Student para amostras independentes, para comparar as médias entre os grupos e avaliar se as diferenças observadas eram estatisticamente significativas. Por outro lado, quando a hipótese de normalidade não foi atendida, optou-se pelo uso de testes não-paramétricos. Neste contexto, o teste de Wilcoxon para duas amostras foi utilizado para verificar se existia diferenças na distribuição dos valores dos construtos em análise entre os diferentes grupos e avaliar se os diferentes fatores têm efeito estatisticamente significativo nos construtos ou não. Consideram-se significativos os testes cujo respetivo valor- p é inferior a 0,05.

4. Resultados e Discussão

O presente capítulo apresenta uma análise abrangente das percepções dos respondentes sobre os benefícios, desafios e FCS associados à I4.0. A análise começa com uma descrição dos dados demográficos dos participantes, incluindo o gênero e o nível de escolaridade. Em seguida, o capítulo caracteriza as empresas representadas pelos respondentes, classificando-as por dimensão e setor de atuação. A relação dos participantes com a I4.0 é também explorada, focando no grau de familiarização dos respondentes com este paradigma, no conhecimento sobre as tecnologias envolvidas e nas implementações dessas tecnologias nas suas empresas.

Por fim, o capítulo apresenta uma análise dos fatores que examina a influência da escolaridade, da dimensão da empresa e da área de atuação sobre as percepções dos benefícios, desafios e FCS da I4.0.

4.1. Dados demográficos

A recolha de dados demográficos nesta tese tem como objetivo auxiliar na construção de uma base sólida para compreender o contexto dos participantes e das organizações envolvidas que os mesmos representam no estudo da I4.0. Neste sentido, os principais parâmetros incluem gênero, nível de ensino, dimensão da empresa e setor de atuação da empresa.

4.1.1. Caracterização dos respondentes

A caracterização dos respondentes abrange as questões de gênero e nível de escolaridade que cada respondente conseguiu adquirir até ao momento.

Dentro da presente amostra, foi possível verificar que 36 respondentes identificaram-se como sendo do sexo masculino, enquanto os restantes 16 respondentes identificaram-se como sendo do sexo feminino, como é possível constatar no Gráfico 1.

Resultados e Discussão

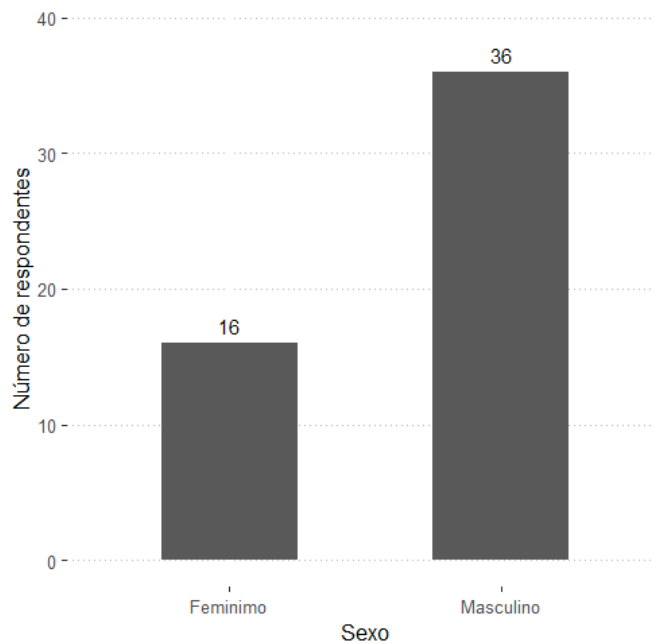


Gráfico 1 - Género dos respondentes.

A análise da distribuição de género na amostra revela uma clara tendência de predominância masculina, com uma representatividade significativa de 69,2%. Por outro lado, observa-se também uma representação considerável do género feminino, que compreende 30,8% da amostra.

Referente ao nível de escolaridade, foi constatado uma variedade de graus académicos por parte dos respondentes envolvidos. Os resultados indicam que apenas 5,8% (n=3) dos participantes têm um ensino secundário como nível mais alto de educação. Cerca de 1,9% (n=1) indicam ter Curso Técnico Superior Profissional. A mesma percentagem de 1,9% (n=1) possui uma Licenciatura em uma área não relacionada à engenharia. Notavelmente, a maioria dos participantes, representando 44,2% (n=23) da amostra, possuem uma Licenciatura em Engenharia. Uma parcela significativa, 28,8% (n=15), relataram ter um Mestrado em Engenharia. Adicionalmente, 13,5% (n=7) dos participantes têm um Mestrado em uma área não relacionada à Engenharia, incluindo mestrados em inovação, qualidade, gestão industrial e matemática. Uma minoria de 3,8% (n=2) possui um Doutoramento em Engenharia, enquanto

nenhum dos participantes indicou possuir um Doutoramento em uma área não relacionada à engenharia. O Gráfico 2 ilustra os resultados obtidos.

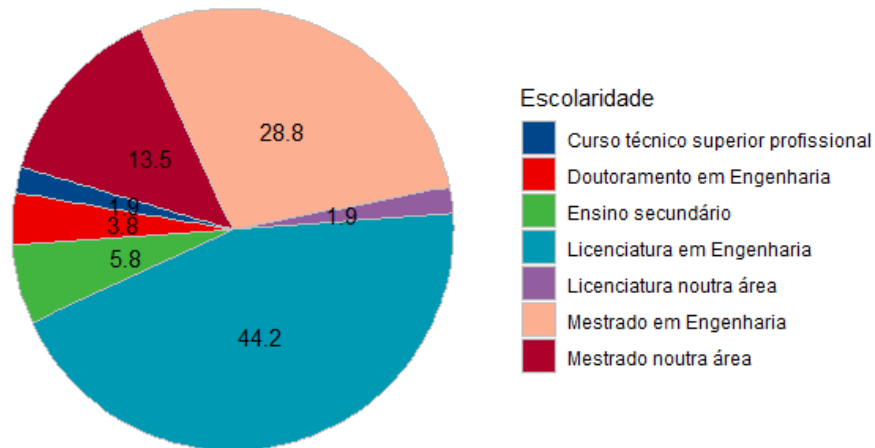


Gráfico 2 - Nível de escolaridade.

A predominância de participantes com Licenciatura em Engenharia sugere um forte interesse e envolvimento na área, que pode estar relacionado especificamente com a natureza do estudo em questão. Além disso, a presença de participantes com Mestrado e Doutoramento em Engenharia demonstra um nível avançado de especialização e experiência entre os respondentes. No entanto, é importante notar a escassez de participantes com níveis de educação mais baixos, como ensino secundário ou cursos técnicos, o que pode indicar uma exposição limitada à I4.0 e destaca a necessidade de educação continuada, sendo que a falta de representação nestas categorias pode também apontar para desafios na implementação da I4.0. Por último, destaca-se o reduzido número de participantes com formação académica em áreas não relacionadas à engenharia, que pode estar associado ao facto de estes não estarem tão envolvidos com temas ou questões centradas na I4.0.

4.1.2. Caracterização das empresas

As caracterizações das empresas foram divididas em duas questões. A primeira questão insere o foco no que diz respeito à dimensão de cada empresa, sendo classificada em três categorias à imagem do que diz na recomendação da EU [27]: pequena (até 50 funcionários), média (até 250 funcionários) e grande (>250 funcionários).

Das 52 respostas analisadas, 44,2% (n=23) correspondem a empresas classificadas como pequenas, 17,3% (n=9) como médias e 38,5% (n=20) como grandes. Esta distribuição indica uma presença significativa de empresas de pequeno e média dimensão entre os respondentes, representando coletivamente quase dois terços das respostas, como demonstrado na Tabela 6. Isto sugere um interesse generalizado na I4.0, não apenas entre grandes organizações, mas também entre empresas de menor porte.

Tabela 6 – Análise quanto à frequência absoluta e relativa da dimensão das empresas.

Dimensão	Frequência Absoluta	Frequência relativa %	Frequência relativa acumulada %
Pequena	23	44,2	47,6
Média	9	17,3	61,5
Grande	20	38,5	100
Total	52	100	-

A representatividade das PMEs pode ser um indicador de um crescente interesse em relação à I4.0, o que indica que a adoção e a adaptação às tecnologias deste conceito não estão limitadas apenas às organizações de grande escala, podendo-se refletir num aumento gradual da compreensão e importância da inovação e da digitalização em todos os setores da economia. A presença de participantes de empresas de diferentes tamanhos proporciona uma visão mais alargada sobre a I4.0, e como este paradigma pode beneficiar e afetar empresas em diferentes contextos organizacionais.

A segunda questão aborda a área de atuação em que cada empresa se insere, sendo que existem seis possibilidades de resposta diferente. As primeiras cinco opções remetem para as principais áreas de atuação empresariais em Portugal, nomeadamente, metalomecânica, automóvel, alimentar, moldes e plásticos e serviços. A última opção nomeada por “outros”, possibilita ao respondente designar a área de atuação que não se insira nas anteriores. O Gráfico 3 expressa os dados referentes à área de atuação empresarial.

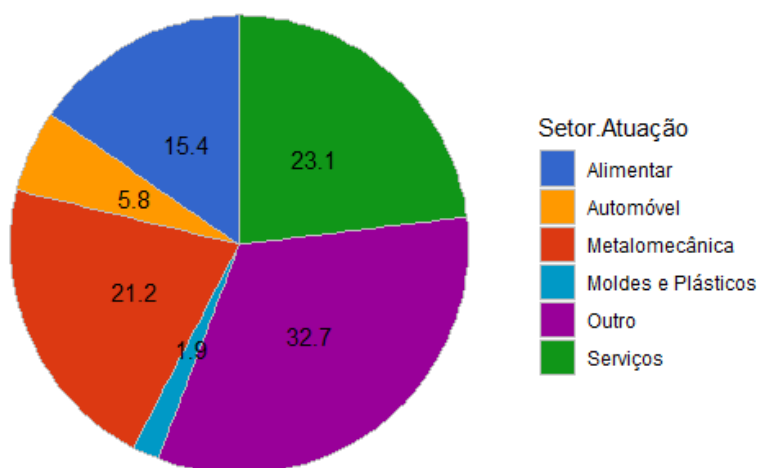


Gráfico 3 - Área de atuação da empresa.

Os dados obtidos revelam uma distribuição heterogénea em relação ao setor de atuação das empresas representadas na amostra, mostrando haver uma variedade de contextos empresariais abrangidos. Os resultados mostram que a metalomecânica e os serviços foram os setores mais representados, com uma participação de 21,2% (n=11) e 23,1% (n=12), respetivamente, na amostra. Seguem-se o setor de "outros" com 32,7% (n=17) das respostas,

o que sugere uma diversidade de áreas que foram apresentadas como possibilidade de resposta. O setor alimentar apresenta uma participação de 15,4% (n=8), enquanto o setor automóvel e os moldes de plástico apresentam uma representatividade menor com 5,8% (n=3) e 2,4% (n=1), respetivamente, das respostas.

Enquanto alguns setores, como metalomecânica e serviços, são representados por um número considerável de participantes, outros, como moldes de plástico e automóvel, têm uma presença mais limitada. A predominância de empresas em outros setores indica uma variedade de indústrias não abordadas nas categorias específicas da pesquisa, sendo elas setor corticeiro, aeronáutica, vestuário, jornalismo e informação, investigação, robótica e automação, fabrico de torneiras, projeto, vidro, construção civil e instalações elétricas, agrícola, tecnologia da informação, energia, energias renováveis (solar), equipamentos para bombeiros e proteção civil e química.

4.2. Caracterização da relação com I4.0

O foco desta secção é perceber o grau de relação que os participantes e as respetivas empresas que estes representam, têm com a I4.0. Para tal, foi questionado, o grau de familiarização com o paradigma da I4.0, se têm conhecimento sobre as tecnologias que a constituem e, por fim, quais as tecnologias da I4.0 que estão atualmente implementadas na empresa que cada participante representa.

A maioria dos participantes demonstrou um grau significativo de familiaridade com este paradigma (Gráfico 4). Do total da amostra, 23 pessoas (44,2%) demonstra um bom nível de entendimento e conhecimento sobre o paradigma da I4.0, 16 respondentes (30,8%) indicam um nível intermediário de familiaridade, sugerindo que possuem conhecimento básico, mas não completo e 9 respondentes (17,3%) estão muito familiarizados com o tema, possuindo, provavelmente, um entendimento profundo e detalhado. Apenas 4 respondentes (7,7%) não estão familiarizados com o conceito, sendo que não houve respostas indicando que nenhum dos participantes se considera apenas minimamente familiarizado com o tema.

Resultados e Discussão

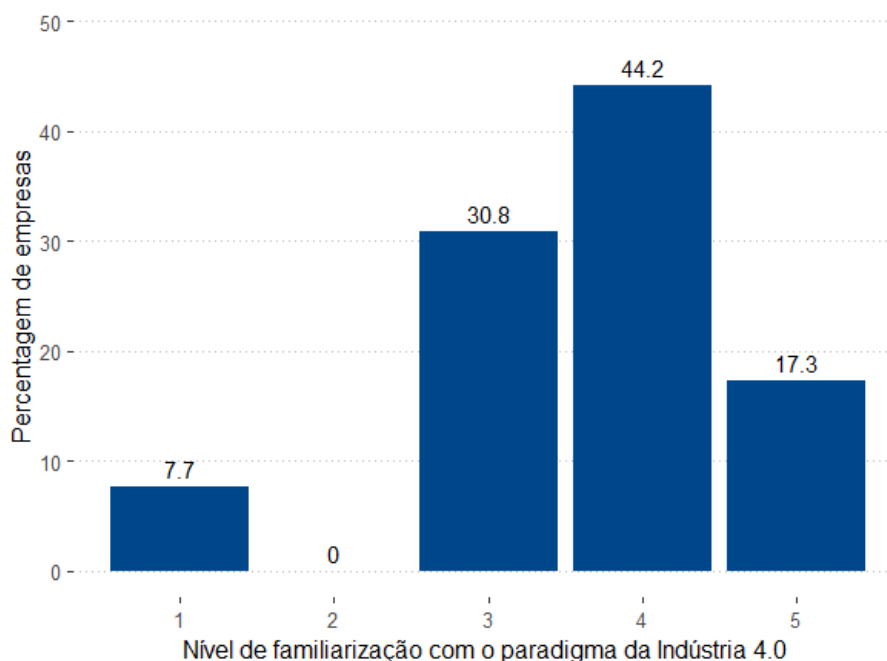


Gráfico 4 - Nível de familiarização com a I4.0.

Neste sentido, constata-se que a maioria dos participantes, cerca de 92,3%, possui um nível médio a alto de familiaridade com a quarta revolução industrial (níveis 3, 4 e 5). Isso sugere que a disseminação de informações sobre este paradigma tem sido eficaz entre os respondentes. Apenas uma pequena fração, não está familiarizada (nível 1), o que pode representar uma oportunidade para a implementação de iniciativas educativas voltadas para esse público. Estes indicativos permitem afirmar que a maior parte do público-alvo já possui um bom nível de entendimento sobre o tema, o que, por sua vez, facilita a adoção e implementação de tecnologias associadas a este paradigma.

Comparando os resultados com o estudo realizado por Hamzeh, Zhong e Xu [66], que visa identificar o potencial da I4.0 na Nova Zelândia e o seu nível de preparação digital, observa-se semelhanças no que diz respeito aos participantes demonstrarem um nível de conhecimento sobre a I4.0 bom ou intermédio. Em contraste, o número de participantes que demonstram ter nenhum conhecimento deste paradigma é inferior em Portugal, com apenas 7,7% das empresas nacionais a atingirem este nível, enquanto na Nova Zelândia é atingido por 16%, o que representa um maior grau de preparação e conscientização das empresas portuguesas em relação às empresas neozelandesas, sobre os conceitos e tecnologias da I4.0.

No que diz respeito ao conhecimento sobre as tecnologias, o Gráfico 5 demonstra que a grande maioria, representado por 86,5% (45 respondentes), afirmou ter conhecimento sobre as tecnologias da I4.0, sendo que apenas 13,5% (7 respondentes) declararam não possuir esse conhecimento.

Conhecimento das tecnologias I4.0

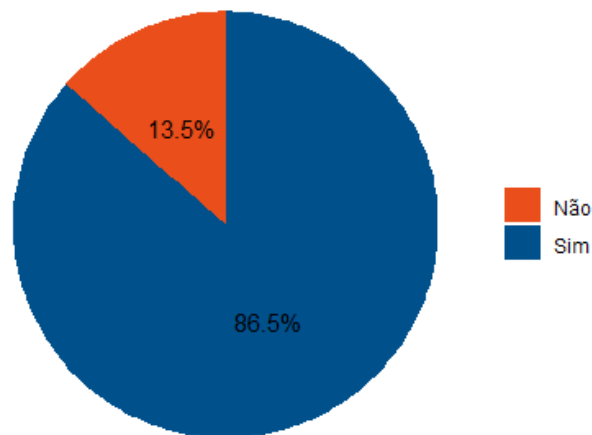


Gráfico 5 - Distribuição percentual de participantes que têm ou não conhecimento sobre as tecnologias da I4.0.

Estes dados sugerem que existe um nível elevado de compreensão e possível envolvimento com as tecnologias emergentes da I4.0 entre os respondentes. Isso pode ser atribuído a vários fatores, como:

- **Educação e Capacitação:** A presença de programas educativos e de capacitação que abordam a I4.0;
- **Ambiente Profissional:** Exposição às tecnologias e, portanto, maior conhecimento sobre as mesmas;
- **Acessibilidade da Informação:** O acesso fácil à informação por meio de conhecimento disponível *online*, conferências e publicações especializadas.

Por fim, relativamente à adoção das tecnologias nas empresas dos respondentes, foi estruturada uma questão com 10 opções de resposta para os participantes poderem selecionar. As primeiras nove opções remetem para os pilares da I4.0 como citado por Forcina e Falcone [79]. A última opção nomeada por “outros”, possibilita ao respondente designar outra tecnologia que não se insira nas anteriores. O Gráfico 6 apresenta uma visão abrangente dos dados obtidos.

Resultados e Discussão

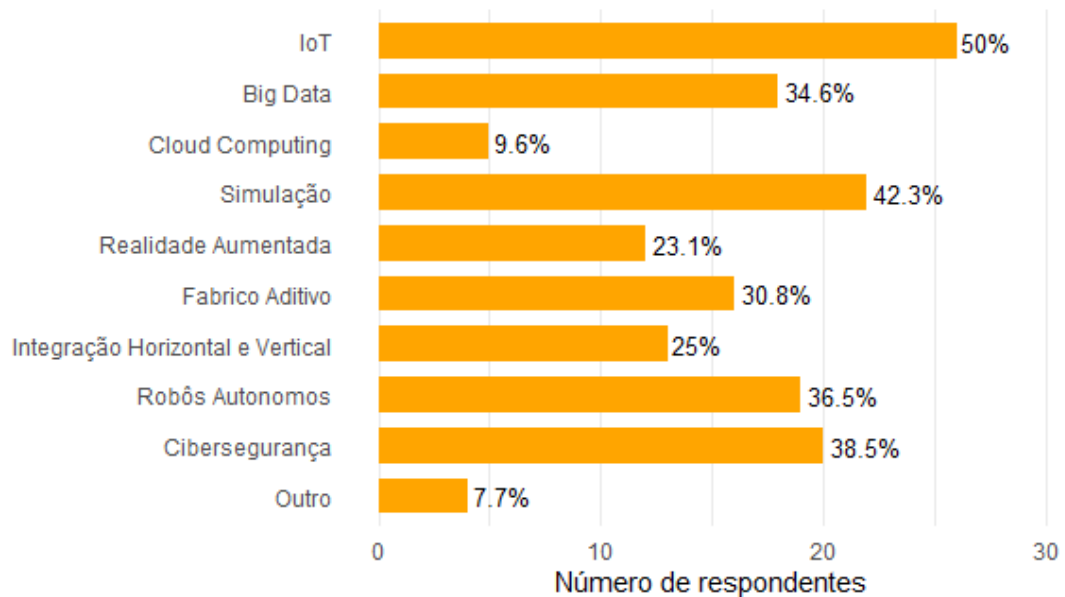


Gráfico 6 - Adoção das Tecnologias I4.0.

Fica evidente que a IoT é a tecnologia mais implementada entre as empresas, com 26 respostas, representando 50% do total, o que destaca a importância da IoT na modernização e otimização dos processos empresariais. A BD teve 18 respostas, correspondendo a 34,6% dos participantes, o que indica que a análise de grandes volumes de dados é fundamental para a tomada de decisões informadas e para a melhoria da eficiência operacional. A CC apresenta-se ser uma das tecnologias menos implementadas, com apenas 9,6% (n=5) das empresas a utilizar serviços em nuvem para armazenamento e processamento de dados. A simulação é amplamente adotada, com 42,3% (n=22) dos participantes a relatar o seu uso nas suas empresas, uma vez que é crucial para testar e otimizar processos antes da implementação real. A RA é utilizada por 23,1% (n=12) das empresas o que mostra uma adoção moderada, indicando que ainda há um potencial significativo para crescimento nesta área. O FA corresponde a 30,8% (n=16) da amostra, sendo que reflete o interesse por parte das empresas em inovar processos de produção. A Integração Horizontal e Vertical apresenta 25% (n=13) das respostas, o que também demonstra uma adoção moderada. Os Robôs Autônomos, selecionada por 19 respondentes, que representa 36,5% da amostra, indica que muitas empresas estão a direcionar o seu investimento em robôs para auxílio tarefas repetitivas e complexas, visando aumentar a produtividade e reduzir erro. A CS registou 20 respostas, ou seja, 38,5% das empresas implementaram medidas de CS, o que demonstra crescente preocupação com a proteção dos dados e sistemas contra ameaças cibernéticas à medida que a digitalização avança.

Os respondentes que escolheram a opção "Outros", representando 7,7% (4 respostas) do total, indicam que as suas empresas não implementaram nenhuma das tecnologias listadas, sendo que não foi também mencionado nenhum outro tipo de tecnologia. A representatividade deste pequeno grupo, pode refletir diversas situações, como a ausência de recursos financeiros, falta de conhecimento ou resistência à adoção de novas tecnologias. Também pode indicar que algumas empresas estão em setores ou situações onde a adoção de tecnologias avançadas

ainda não é viável ou necessária. O mesmo é encontrado em outros estudos, sendo o caso de Ciravegna Martins da Fonseca et al. [80], que revelam que certas empresas consideram que estas ferramentas não trariam impacto nas suas organizações, ao que os autores sugerem ser lacunas na conscientização ou na aplicação dessas tecnologias.

De um modo geral, os dados revelam uma adoção diversificada dos pilares da I4.0 entre as empresas representadas pelos participantes, retratando um cenário onde a busca pela digitalização e melhoria contínua dos seus processos produtivos é uma prioridade estratégica das empresas. O mesmo acontece no estudo desenvolvido por Ciravegna Martins da Fonseca et al. [80], que demonstram uma adoção diversificada das empresas portuguesas estudadas, dando destaque à IoT, CC e CS como tecnologias amplamente adotadas.

4.3. Perceção dos Benefícios associados à I4.0

Para avaliação das percepções dos benefícios associados à I4.0, primeiramente, através da revisão da literatura, foi identificado os principais benefícios e, posteriormente, elaborado uma série de questões referente aos mesmos. Os benefícios foram avaliados em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa "Discordo totalmente" e 5 representa "Concordo totalmente". Adicionalmente, foi possibilitado aos respondentes referenciar um outro benefício que os mesmos tenham identificado nas suas empresas e que não tenha sido listado anteriormente, através de questão de resposta aberta.

O Gráfico 7 apresenta os resultados obtidos através da amostra, onde estão inseridas as médias, e respetivo desvio padrão, das avaliações dos benefícios, bem como a distribuição percentual das respostas nas várias categorias de concordância.

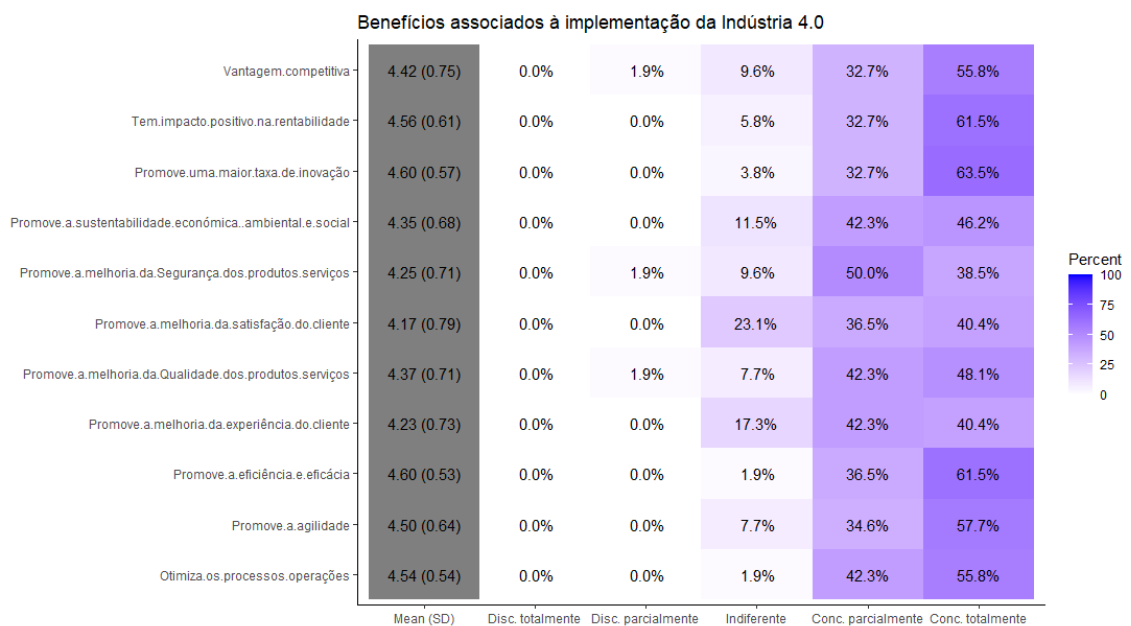


Gráfico 7 - Dados relativos às percepções dos benefícios da I4.0.

Resultados e Discussão

É possível constatar através do Gráfico 7 que as médias das avaliações para cada benefício variam entre 4,17 e 4,60 em uma escala de 1 a 5. O desvio padrão varia de 0,53 a 0,79, o que indica uma variação moderada nas respostas. Destas avaliações podemos destacar que:

- Maior taxa de inovação teve a média mais alta de 4,60 (SD = 0,57);
- Eficiência e eficácia também tiveram uma média alta de 4,60 (SD = 0,53), indicando forte concordância;
- Satisfação do cliente teve a média mais baixa de 4,17 (SD = 0,79), sugerindo uma concordância ligeiramente menor, mas ainda positiva.

Quanto à distribuição percentual é possível reter alguns pontos-chave:

- Vantagem competitiva: 88,5% dos respondentes concordaram totalmente ou parcialmente com este benefício, com 55,8% concordando totalmente;
- Impacto positivo na rentabilidade: 94,2% dos respondentes concordaram, com 61,5% concordando totalmente;
- Maior taxa de inovação: 96,2% dos respondentes concordaram, com 63,5% concordando totalmente;
- Sustentabilidade econômica, ambiental e social: 88,5% dos respondentes concordaram, com 46,2% concordando totalmente;
- Melhoria da segurança dos produtos/serviços: 88,5% dos respondentes concordaram, com 38,5% concordando totalmente;
- Satisfação do cliente: 76,9% dos respondentes concordaram, com 40,4% concordando totalmente;
- Melhoria da qualidade dos produtos/serviços: 90,4% dos respondentes concordaram, com 48,1% concordando totalmente;
- Melhoria da experiência do cliente: 82,7% dos respondentes concordaram, com 40,4% concordando totalmente;
- Eficiência e eficácia: 98,1% dos respondentes concordaram, com 61,5% concordando totalmente;
- Agilidade: 92,3% dos respondentes concordaram, com 57,7% concordando totalmente;
- Otimização dos processos/operações: 98,1% dos respondentes concordaram, com 55,8% concordando totalmente.

Outro ponto de destaque remete para as categorias com maior concordância total (Concordo totalmente), sendo elas a “Maior Taxa de Inovação” com 63,5%, “Eficiência e Eficácia” e “Impacto Positivo na Rentabilidade”, ambas com 61,5%. Em contrapartida, as categorias com maior percentual de indiferença são a “Satisfação do Cliente” com 23,1% e “Melhoria da Experiência do Cliente” com 17,3%.

De ressaltar que nenhuma das categorias teve respostas na opção “Discordo totalmente”, e apenas três categorias tiveram respostas na opção “Discordo parcialmente”, nomeadamente, “Vantagem competitiva”, “Melhoria da segurança dos produtos/serviços” e “Melhoria da qualidade dos produtos/serviços”, todas com 1,9%. Esta falta de respostas nos campos “Discordo totalmente” e “Discordo parcialmente”, indica uma forte tendência dos respondentes em reconhecer os benefícios da quarta revolução industrial.

Em suma, os dados indicam uma forte percepção positiva dos benefícios associados à implementação da I4.0 com ênfase na inovação, eficiência, rentabilidade, e otimização de processos. A maioria das médias das avaliações está acima de 4,2, com desvio padrão relativamente baixo, indicando concordância geral. A distribuição percentual das respostas reforça esta tendência, com uma alta percentagem de respondentes concordando parcial ou totalmente com os benefícios apresentados, o que sugere que as empresas e profissionais veem a I4.0 como uma abordagem estratégica importante para melhorar diversos aspetos organizacionais e competitivos.

Nenhum outro benefício foi identificado através da questão de resposta aberta.

4.4. Percepção dos Desafios associados à I4.0

Para avaliação das percepções dos desafios associados à I4.0, foram seguidos os mesmos passos utilizados no ponto 4.3, tanto no que diz respeito à identificação dos principais desafios como a avaliação dos mesmos.

Novamente foi elaborado o Gráfico 8 que apresenta os resultados obtidos através da amostra, onde estão inseridas as médias, e respetivo desvio padrão, das avaliações dos desafios, bem como a distribuição percentual das respostas em diferentes categorias de concordância.

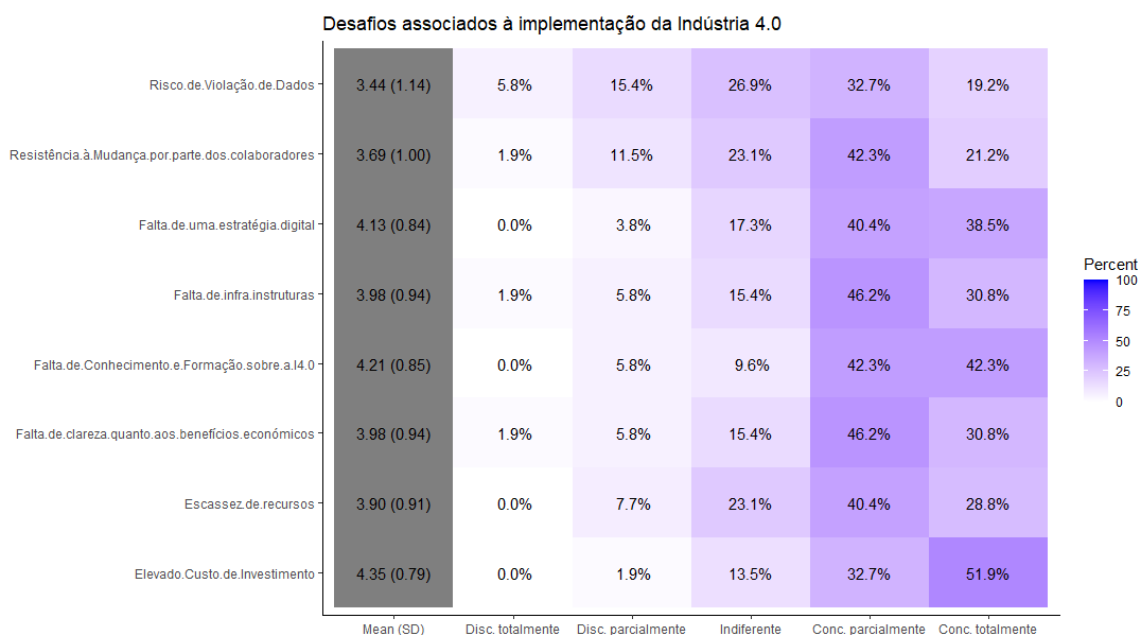


Gráfico 8 - Dados relativos às percepções dos desafios da I4.0.

Neste sentido, os dados revelam que o “Elevado Custo de Investimento” é percebido como o maior desafio, com a média mais alta (4,35) e a maior percentagem de respostas “Concordo totalmente” (51,9%). Este resultado sugere que os custos associados à implementação da I4.0 é um desafio que levanta maior preocupação para a maioria dos respondentes.

A “Falta de Conhecimento e Formação sobre a I4.0” também foi identificada como um desafio importante, com uma média de 4,21 e uma alta percentagem de concordância total (42,3%), o que destaca a necessidade de programas educacionais e de formação para a transição da I4.0 nas organizações.

De igual modo, a “Falta de uma Estratégia Digital” e a “Falta de Clareza Quanto aos Benefícios Económicos” também foram identificados como desafios significativos, ambos com médias próximas de 4,0 e uma alta percentagem de respostas indicando concordância parcial ou total. A insuficiência de infraestruturas adequadas é outro desafio importante, evidenciado pela alta percentagem de concordância parcial (46,2%).

Por outro lado, a “Escassez de Recursos”, o “Risco de Violação de Dados” e a “Resistência à Mudança por Parte dos Colaboradores” tiveram médias mais baixas (3,90, 3,44 e 3,69, respetivamente), sugerindo que, embora ainda sejam desafios, eles são percebidos como menos críticos em comparação com os custos e a falta de conhecimento.

A média das respostas varia de 3,44 a 4,35, indicando que os respondentes, em geral, tendem a concordar parcialmente ou totalmente com a existência dos desafios apresentados.

Quanto ao desvio padrão das respostas, o mesmo varia de 0,79 a 1,14, revelando uma dispersão das perceções entre os respondentes. O “Risco de Violação de Dados” apresenta o desvio padrão mais alto (1,14), o que indica uma maior variabilidade nas perceções sobre este desafio. Isto sugere que, enquanto alguns respondentes consideram o risco significativo, outros podem não o ver como uma grande preocupação. Contrariamente, o “Elevado Custo de Investimento” apresenta o desvio padrão mais baixo (0,79), sendo que há maior concordância entre os respondentes sobre este desafio, o que reforça a perceção geral de que os custos são interpretados como uma barreira crítica.

Assim sendo, os resultados destacam que os principais desafios associados à implementação da I4.0 são o elevado custo de investimento, a falta de conhecimento e formação, a ausência de estratégias digitais claras, e a falta de transparência quanto aos seus benefícios económicos.

Nenhum outro desafio foi identificado através da questão de resposta aberta.

4.5. Perceção dos FCS associados à I4.0

Para avaliação das perceções dos FCS associados à I4.0, foram novamente adotados os procedimentos descritos no ponto 4.3, tanto no que diz respeito à identificação dos principais FCS como a avaliação dos mesmos.

À semelhança dos dois capítulos anteriores, novamente, foi criado o Gráfico 9 para mostrar os resultados da amostra, exibindo as médias e os desvios padrão das percepções referentes aos FCS, além da distribuição percentual das respostas em várias categorias de concordância.

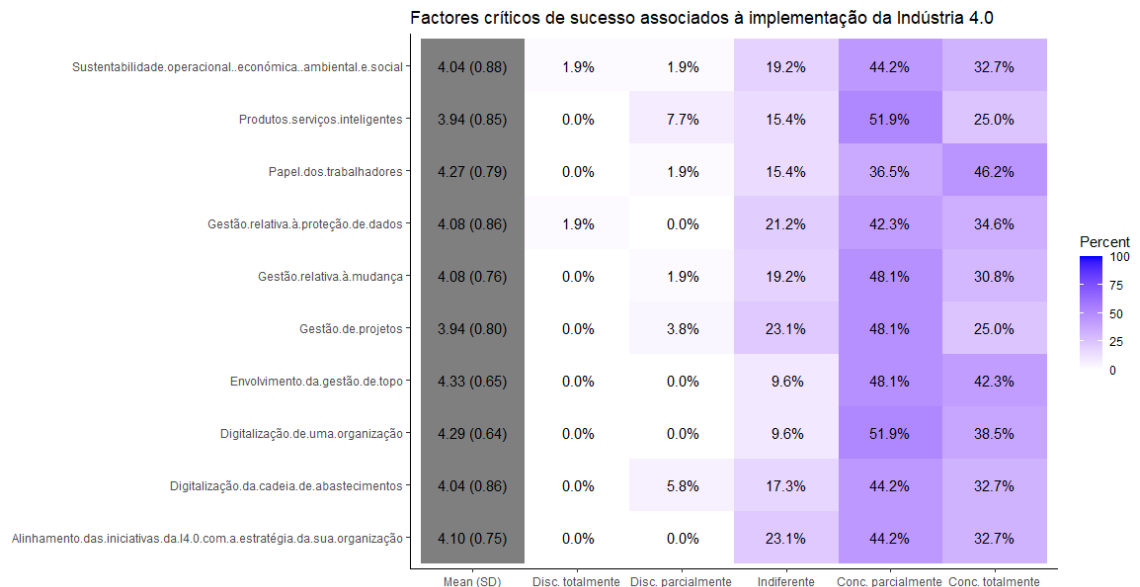


Gráfico 9 - Dados relativos às percepções dos FCS da I4.0.

De maneira geral, observa-se que há um forte consenso sobre a importância de todos os fatores listados, com médias de pontuação que variam de 3,94 a 4,33. Isto indica que, em média, os respondentes consideram todos estes fatores como significativamente importantes para o sucesso da I4.0 nas organizações. O mesmo é reforçado pela baixa variação do desvio padrão (de 0,64 a 0,88) que, embora haja uma variedade nas respostas, esta não demonstra ser extremamente ampla.

Posto isto, os resultados destacam particularmente a importância do “Envolvimento da gestão de topo” e o “Papel dos trabalhadores” como os fatores mais críticos, com médias de 4,33 e 4,27, respetivamente, o que demonstra que, para os respondentes, é crucial ter um forte apoio da liderança da organização e um comprometimento ativo dos trabalhadores, sendo dois fatores vistos como fundamentais para impulsionar mudanças e adotar novas tecnologias de maneira eficaz.

A digitalização, tanto a nível organizacional quanto na cadeia de abastecimento, apresenta ser um fator importante para os respondentes, fundamentalmente para a integração de novas tecnologias e a otimização dos processos industriais e organizacionais. A digitalização é reconhecida como um fator essencial para as organizações, com uma média de 4,29 (SD = 0,64), por mais de 90% dos respondentes. Além disso, a digitalização da cadeia de abastecimentos também é considerada importante, com uma média de 4,04 (SD = 0,86) e aproximadamente 77% dos respondentes a concordar totalmente ou parcialmente.

Os fatores como “Gestão de dados”, “Gestão relativa à mudança”, e “Gestão relativa à proteção de dados” são igualmente valorizados pelos respondentes. A “Gestão relativa à proteção de

dados” é considerada relevante, com uma média de 4,08 (SD = 0,86). Mais de 76% dos respondentes concordam totalmente ou parcialmente com a importância da proteção de dados, o que reforça a necessidade de segurança e gestão eficaz dos dados nas organizações cada vez mais digitalizadas, o que por sua vez, promove uma preocupação significativa com a cibersegurança e a integridade das informações. De forma similar, a “Gestão relativa à mudança” apresenta uma média de 4,08 (SD = 0,76), com mais de 78% dos respondentes a concordar totalmente ou parcialmente, o que sugere a importância de haver habilidade de gerir mudanças para a adaptação às novas tecnologias e processos, introduzidos pela I4.0. A “Gestão de projetos”, com uma média de 3,94 (SD = 0,80), é igualmente considerada importante, com cerca de 73% dos respondentes a concordar totalmente ou parcialmente, evidenciando que há necessidade de uma abordagem estruturada e eficiente da I4.0

A sustentabilidade em suas várias dimensões (operacional, econômica, ambiental e social) é outra área chave, com uma média de 4,04 e um desvio padrão de 0,88. Aproximadamente 77% dos respondentes concordam total ou parcialmente com a importância da sustentabilidade, refletindo uma crescente conscientização sobre práticas sustentáveis nas organizações.

Além disso, os produtos e serviços inteligentes são outro ponto destacado, com uma média de 3,94 (SD = 0,85), sendo valorizados por 76,9% dos respondentes. Isto sugere que há um reconhecimento por parte dos respondentes da importância de inovar e adaptar-se às novas demandas do mercado por produtos mais inteligentes e conectados.

Finalmente, o “Alinhamento das iniciativas da I4.0 com a estratégia organizacional” apresenta uma média de 4,10 (SD = 0,75). Mais de 76% dos respondentes concordam total ou parcialmente com a importância deste alinhamento estratégico, dando a entender que a coerência entre as iniciativas de I4.0 e a estratégia organizacional é vista como essencial para o sucesso a longo prazo.

Em conclusão, os dados indicam uma forte concordância entre os respondentes sobre a importância dos FCS para a implementação da I4.0. Fatores como o “Papel dos trabalhadores”, o “Envolvimento da gestão de topo” e a “Digitalização de uma organização” receberam altas pontuações médias, destacando-se como prioritários. Além disso, a sustentabilidade e a proteção de dados são amplamente reconhecidas como essenciais para o sucesso dessa transição. A visão coletiva dos respondentes aponta para a necessidade de uma abordagem que inclua tanto a tecnologia quanto os processos de gestão e o capital humano. A liderança e o alinhamento estratégico também são vistos como pilares fundamentais para a implementação eficaz da I4.0.

Nenhum outro FCS foi identificado através da questão de resposta aberta.

4.6. Testes de Hipóteses

4.6.1. Fator de Escolaridade

No contexto da análise dos dados sobre os fatores que influenciam a percepção dos profissionais em diferentes áreas, o nível de escolaridade emerge como um aspeto relevante a ser

investigado. A escolaridade é frequentemente vista como um indicador de conhecimento, competências e potencial de empregabilidade, influenciando não apenas o desempenho individual, mas também a percepção sobre o ambiente de trabalho e as oportunidades de desenvolvimento [81].

Esta análise visa explorar as percepções dos respondentes sobre os benefícios, desafios e FCS da I4.0, segmentando os dados com base no fator de escolaridade. O objetivo é identificar se existem diferenças estatisticamente significativas nas percepções entre indivíduos com diferentes formações. A análise considera a hipótese de que o nível de escolaridade pode influenciar a visão dos respondentes sobre as oportunidades e barreiras da I4.0, bem como os elementos considerados cruciais para o sucesso na implementação dessas tecnologias.

Para tal, os respondentes foram categorizados com base no seu nível de escolaridade mais alto, divididos entre aqueles com "Formação em Engenharia" e "Formação em outra área", sendo posteriormente avaliado em relação aos três principais tópicos presentes neste estudo.

No que diz respeito à percepção dos benefícios o Gráfico 10 exhibe que, para o grupo com "Formação em outra área", a mediana dos benefícios está ligeiramente acima de 4,0, enquanto a média é aproximadamente 4,5. A maioria dos dados neste grupo está concentrada entre 4,0 e 5,0, com um *outlier* presente abaixo de 3,0, o que indica um valor atípico, onde a percepção dos benefícios foi menor. Já para o grupo com "Formação em Engenharia", tanto a mediana quanto a média situam-se em torno de 4,5. A dispersão dos dados é menor em comparação com o grupo "Formação em outra área", e não foram identificados *outliers*.

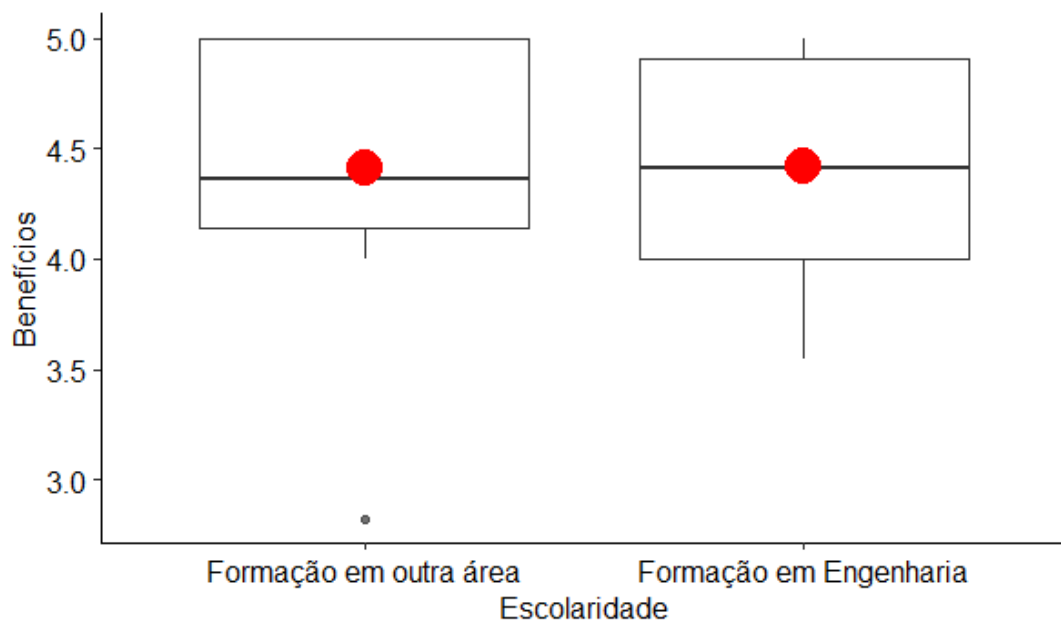


Gráfico 10 – *Boxplot* do construto benefícios para o Fator de Escolaridade.

Comparando ambas as categorias presentes no Gráfico 10, observa-se que a média das variáveis latentes é similar, assumindo valores próximos de 4,5. No entanto, a variabilidade é ligeiramente maior para a "Formação em outra área", devido à presença de *outliers*. A mediana dos benefícios para ambas as formações são quase idênticas.

Resultados e Discussão

Os resultados dos testes de Shapiro-Wilk indicam que, para ambas as categorias de escolaridade analisadas, os dados não seguem uma distribuição normal, uma vez que $\text{valor-}p < 0,05$. Para a categoria "Formação em Engenharia", o valor de W foi 0,908, com $\text{valor-}p$ obtido de 0,003, e para a categoria "Formação em outra área", o valor de W foi 0,831, como $\text{valor-}p$ obtido de 0,022, confirmando que a hipótese nula de normalidade deve ser rejeitada em ambas. Assim sendo, com base nestes resultados, conclui-se que os dados de ambas as categorias não seguem uma distribuição normal, sendo necessário efetuar um teste não paramétrico para comparar os valores do construto "Benefícios".

Utilizando o teste de Wilcoxon comprova-se que as duas amostras indicam que a distribuição dos valores do construto "Benefícios" entre os grupos de escolaridade não apresenta uma diferença estatisticamente significativa. O $\text{valor-}p$ obtido foi 0,615, que é maior que o nível de significância convencional de 0,05. Isso significa que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que a distribuição dos valores do construto "Benefícios" é igual nos dois grupos de escolaridade. O valor de W foi 263,5. Assim, com base nos resultados, não é possível concluir que o fator escolaridade tem influência nas percepções dos benefícios da I4.0 de cada respondente.

Analisando o construto dos desafios o Gráfico 11 demonstra que o grupo com "Formação em outra área" apresenta uma mediana ligeiramente acima de 4. O intervalo interquartil (IQR), varia pouco mais de 3,7 até valores próximos de 5. Os *whiskers* estendem-se de aproximadamente 3,5 até 5, com um *outlier* próximo de 2. A média está próxima de 4.

No caso dos indivíduos com "Formação em Engenharia", a mediana também está em torno de 4. O IQR varia de pouco abaixo de 4 até um pouco acima desse valor. Os *whiskers* vão de aproximadamente 2,7 até aproximadamente 4,5, com um *outlier* com valor próximo de 5. A média, indicada pelo ponto vermelho, está próxima da mediana.

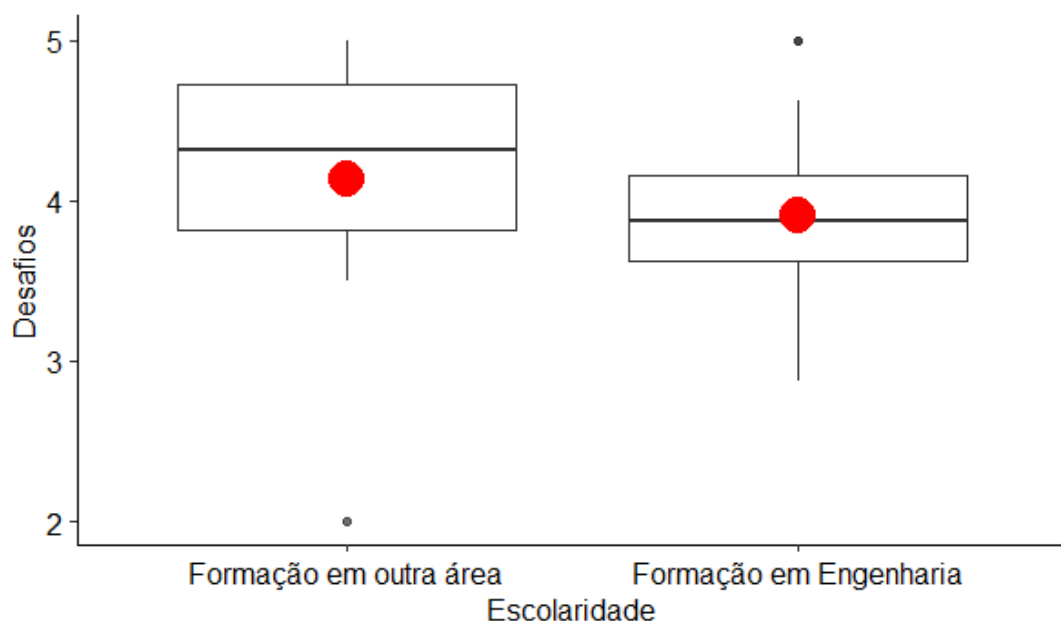


Gráfico 11 - *Boxplot* do construto desafios para o Fator de Escolaridade.

Em termos de variabilidade, o grupo com "Formação em outra área" apresenta uma distribuição ligeiramente maior, evidenciada pelos *whiskers* mais longos e pela presença de um *outlier* inferior. Já o grupo de "Formação em Engenharia" possui uma distribuição mais concentrada em torno da mediana, apesar de também apresentar um *outlier*, neste caso superior. Neste sentido, os dois grupos apresentam medianas e médias muito próximas, o que por sua vez indica uma percepção similar dos desafios.

O teste de Shapiro-Wilk, referente ao construto "Desafios", mostra que, para o grupo com "Formação em outra área", foi obtido um valor- p de 0,061 e um valor W de 0,868. Como o valor- p é maior que o nível de significância comum de 0,05, não rejeitamos a hipótese nula de normalidade. No caso dos dados relativos à "Formação em Engenharia", foi obtido um valor- p de 0,488 e um valor de W de 0,974. Novamente, o valor- p superior a 0,05 indica que não se rejeita a hipótese nula de normalidade, sugerindo que os dados de ambas as categorias seguem uma distribuição normal. Desta forma, utiliza-se o teste paramétrico para investigar se o fator escolaridade tem um efeito na percepção que os respondentes têm sobre os desafios da I4.0.

Utilizando o teste t , obteve-se os seguintes resultados: uma estatística t de -0,874, com 13,613 graus de liberdade, e um valor- p de 0,397. O intervalo de confiança de 95% para a diferença de médias variou entre -0,782 e 0,330. As médias estimadas foram 3,909 para "Formação em Engenharia" e 4,135 para "Formação em outra área". Dado que o valor- p é superior ao nível de significância comum de 0,05, não se rejeita a hipótese nula, que remete para a hipótese de a médias dos dois grupos são iguais. Embora a média para "Formação em outra área" seja ligeiramente maior em comparação com a média para "Formação em Engenharia", essa diferença não é significativa. Assim, não há evidências estatisticamente significativas para afirmar que as percepções dos desafios são influenciadas pelo fator escolaridade. Por outras palavras, não é possível afirmar que o fator de escolaridade tem efeito sobre as percepções relativas aos desafios da I4.0.

Por último, analisando o construto FCS, o Gráfico 12, para a categoria "Formação em outra área", a mediana está em torno de 4,2, com um intervalo IQR de aproximadamente 1,1, variando desde o primeiro quartil (Q1) com valor de 3,7, até ao terceiro quartil (Q3) de valor 4,8, aproximadamente. Os *whiskers* nesta categoria variam de 3,0 a 5,0, indicando uma dispersão considerável dos dados. A média, está ligeiramente abaixo da mediana, em torno de 4,2.

Por outro lado, a categoria "Formação em Engenharia" também apresenta uma mediana de 4,0, mas com uma IQR ligeiramente menor, de aproximadamente 0,5, indo de Q1 em 3,8 a Q3 em 4,3. Os *whiskers* variam de 3,2 a 5, indicando uma menor dispersão em comparação com a categoria anterior. A média para este grupo é aproximadamente 4,0.

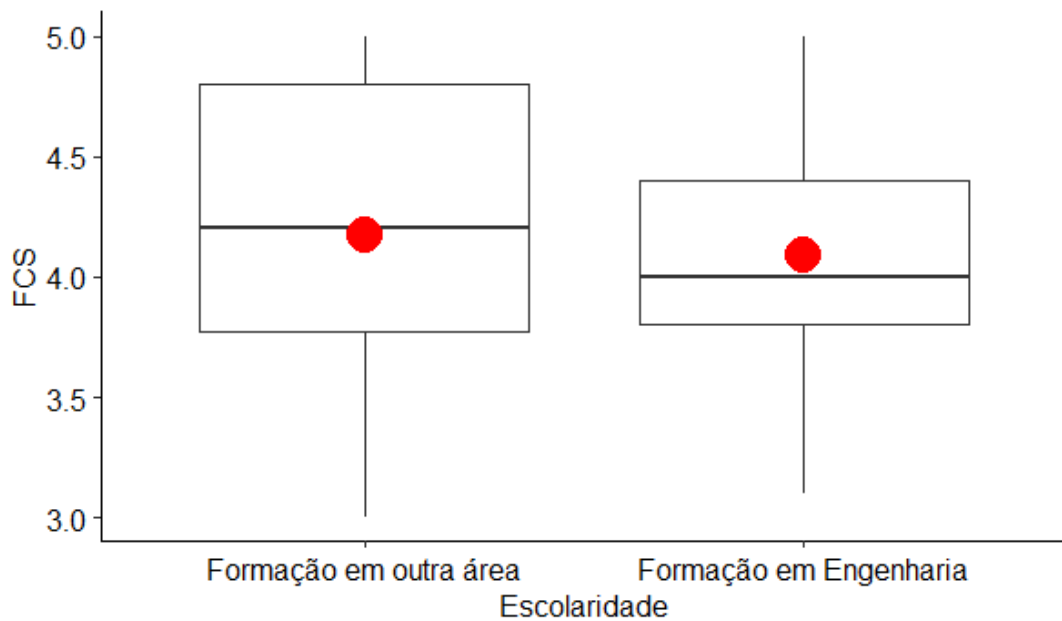


Gráfico 12 - Boxplot do construto FCS para o Fator de Escolaridade.

Em suma, enquanto ambas as categorias compartilham uma mediana similar, a "Formação em outra área" exibe uma maior variabilidade nos valores, com uma amplitude de *whiskers* que varia de 3,0 a 5,0, em contraste com a "Formação em Engenharia", que apresenta uma distribuição mais concentrada e consistente com valores que variam de 3,5 a 5. A média da "Formação em outra área" é ligeiramente superior à da "Formação em Engenharia", refletindo uma possível tendência de valores mais altos nas percepções dos FCS neste grupo.

Os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk para os dois grupos de dados referente ao construto FCS são os seguintes: para o grupo com "Formação em Engenharia", o valor W foi de 0,957 com um valor- p de 0,128. Para o grupo com "Formação em outra área", o valor W foi de 0,917 com um valor- p de 0,262. Ambos os valor- p são maiores que 0,05, o que indica que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade. Portanto, podemos assumir que os dados seguem uma distribuição normal em ambos os grupos. Como a suposição de normalidade foi atendida, utiliza-se o teste paramétrico para investigar se a escolaridade tem um efeito significativo nos valores do construto analisado.

Utilizando o teste t para as duas variáveis revelam que o valor de t é -0,409 com 14,552 graus de liberdade e um valor- p de 0,689. Dado que o valor- p é maior que o nível de significância de 0,05, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, que afirma que as médias dos dois grupos são iguais. Portanto, com base nestes resultados, não se pode concluir que o fator de escolaridade tem um efeito estatisticamente significativo no que diz respeito às percepções dos FCS. Por outras palavras, não é possível afirmar que o fator de escolaridade tem influência sobre as percepções relativas aos FCS da I4.0.

4.6.2. Fator Dimensão da Empresa

À imagem do capítulo anterior, é agora analisado o fator “Dimensão da Empresa”. O tamanho da empresa é um fator que pode desempenhar um papel diferenciador na forma como os benefícios, desafios e fatores críticos de sucesso FCS da I4.0 são percebidos e vivenciados. Enquanto grandes empresas e PME enfrentam contextos distintos, com diferentes recursos e estruturas operacionais, a forma como estas organizações experienciam a transformação digital pode variar [82].

Neste capítulo, o foco é em explorar se a dimensão da empresa influencia as percepções dos respondentes sobre a I4.0. A análise visa em determinar se existem diferenças estatisticamente significativas nas percepções dos benefícios, desafios e FCS entre empresas de diferentes dimensões. Para tal, os dados foram divididos de acordo com a dimensão da empresa, permitindo uma análise comparativa entre as percepções de PMEs e grandes empresas.

Começando pelo construto “Benefícios”, o Gráfico 13 mostra que, para as PMEs, a mediana dos benefícios é aproximadamente 4,4. O IQR varia entre valores próximos de 4,0 a 4,8. O *whiskers* apresenta valores de mínimo e máximo que varia aproximadamente entre 2,6 e 5,0, respetivamente, o que demonstra uma dispersão nos dados. A média dos dados está próxima da mediana, sugerindo uma distribuição simétrica dos dados em torno da mediana.

Para as grandes empresas, a mediana é aproximadamente 4,8. O IQR alterna entre 4,2 e 5,0, indicando uma menor variabilidade das variáveis em comparação com as variáveis das PMEs. O *whiskers* apresenta um valor mínimo de 3,6 e um máximo de 5,0, demonstrando de igual modo, uma menor dispersão dos dados. A média das variáveis assume um valor perto de 4,5.

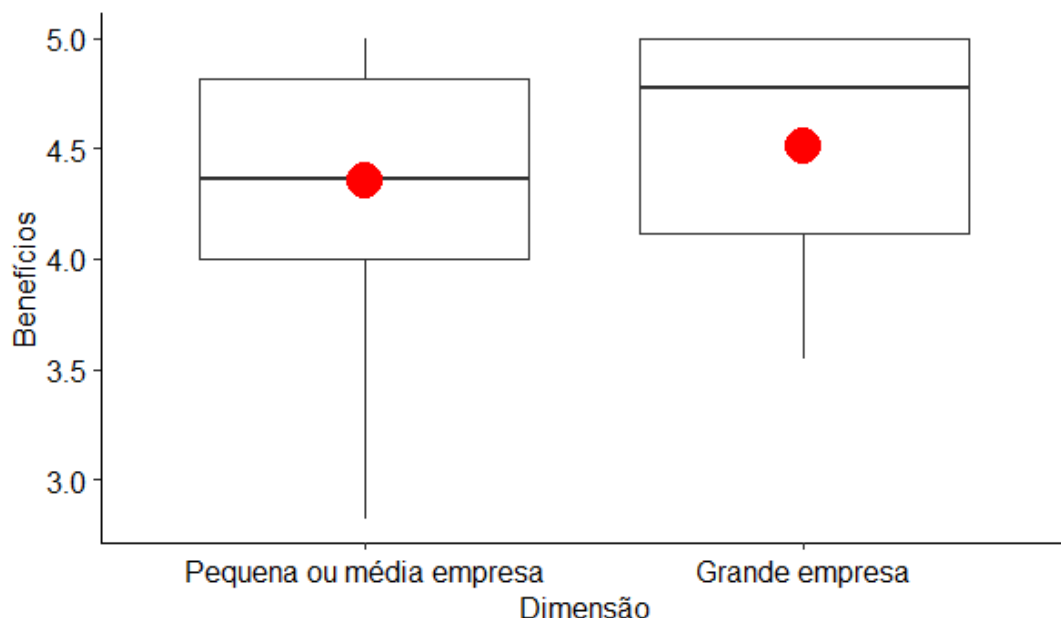


Gráfico 13 - *Boxplot* do construto benefícios para o Fator de Dimensão da Empresa.

Comparando os dois grupos do Gráfico 13, percebemos que a mediana das variáveis latentes referente aos benefícios é ligeiramente maior nas grandes empresas (4,8) em comparação com as PMEs (4,4). A variabilidade dos dados é maior nas PMEs, derivado de um maior intervalo IQR

e uma maior extensão dos *whiskers*. As grandes empresas têm uma distribuição dos dados mais concentrada, com menor variabilidade e dispersão. As médias de ambas as categorias estão próximas da mediana, indicando distribuições simétricas em torno da mediana.

Os resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk demonstram que, para as empresas classificadas como "PMEs", o valor obtido de W foi 0,917 com valor- p de 0,017. Para as empresas classificadas como "Grande empresa", o resultado de W foi de 0,807 com um valor- p de 0,001. Em ambos os casos, o valor- p é menor que 0,05, o que nos leva a rejeitar a hipótese nula de que as variáveis de ambos os grupos seguem uma distribuição normal. Portanto, a suposição de normalidade é violada.

Dado que a distribuição normal não pode ser assumida para ambas as categorias de dimensões de empresas, utilizamos o teste de Wilcoxon para avaliar se a dimensão da empresa tem influência na percepção que os respondentes têm sobre os benefícios da I4.0. Os resultados do teste indicam um valor de W igual a 244,5 e um valor- p de 0,156. Como o valor- p é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Portanto, com base neste teste, não é possível concluir que há uma diferença estatisticamente significativa nos valores do construto "Benefícios" entre os dois grupos comparados. Em outras palavras, a análise não encontra suporte para afirmar que a dimensão da empresa tem influência na percepção dos respondentes referente aos benefícios da I4.0 estudados.

Passando para o construto "Desafios", o Gráfico 14 apresenta uma mediana em torno de 4 para a categoria "PMEs". O IQR mostra que a maioria dos valores das variáveis latentes referente ao construto desafios, para a categoria "PMEs" está concentrada entre 3,8 e 4,4, o que indica uma dispersão relativamente baixa. A média está ligeiramente acima da mediana, com valores igualmente próximos a 4.

Para a categoria "Grandes empresas", a mediana também está próxima de 4, indicando que, de forma geral, os dois grupos demonstram percepções similares no que diz respeito aos desafios da I4.0. No entanto, o IQR para as "Grandes empresas" é um pouco menor, entre 3,8 e 4,2, sugerindo uma menor variabilidade nas variáveis latentes, em comparação com as "PMEs". A média está ligeiramente abaixo da mediana, com valores igualmente próximos a 4. Adicionalmente, registra-se a presença de um *outlier* no grupo das "Grandes empresas", de valor 2.

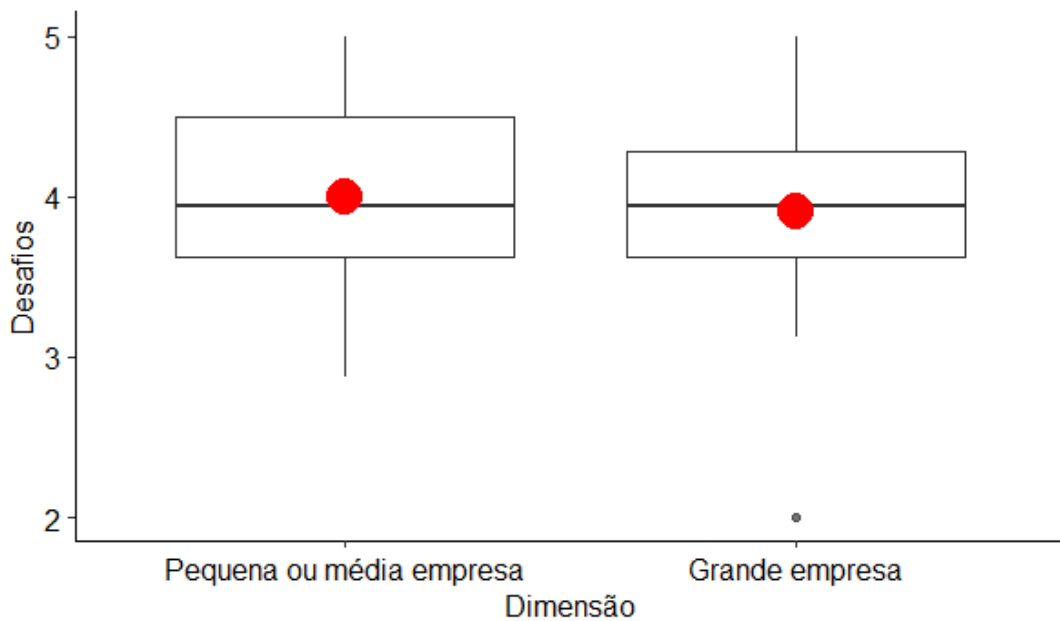


Gráfico 14 - *Boxplot* do construto desafios para o Fator de Dimensão da Empresa.

Em resumo, a análise do Gráfico 14 sugere que tanto as “PMEs” quanto as “Grandes empresas” percebem os desafios da I4.0 de maneira semelhante, com medianas próximas de 4. A variabilidade dos dados é ligeiramente maior nas PMEs, e a presença de um *outlier* nas grandes empresas indica que, em alguns casos, esses desafios podem não ser tão significativos ou valorizados.

Com base nos resultados do teste de Shapiro-Wilk, para o grupo "PMEs", o valor da estatística W foi de 0,957 e valor- p foi de 0,227. Já para o grupo "Grande empresa", a estatística W foi de 0,922 e o valor- p foi de 0,108. Ambos os valor- p são maiores que 0,05, o que indica que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal para ambos os grupos.

Dado que não se rejeita a hipótese de normalidade, podemos prosseguir com teste paramétrico (teste t) para analisar se a dimensão da empresa tem um efeito da maneira de como os respondentes percebem os desafios da I4.0. Neste contexto, os resultados mostram que, o valor da estatística t é 0,499 com 37,372 graus de liberdade, e um valor- p de 0,621. Como o valor- p é maior que o nível de significância comum de 0,05, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula. Isso significa que, com base nos dados disponíveis, não se pode concluir que a dimensão da empresa tem um efeito estatisticamente significativo sobre os valores do construto "Desafios". Por outras palavras, não é possível afirmar que a dimensão de uma empresa tem influência na percepção dos desafios da I4.0 nos colaboradores que nela trabalham.

Por fim, para o construto FCS o Gráfico 15 demonstra que para ambas as categorias a mediana das variáveis latentes está em torno de 4,0, indicando que, as percepções dos FCS são bastante semelhantes entre os dois tipos de dimensões. O IQR também é similar, com os valores a variar de 3,7 a 4,4 para pequenas ou médias empresas, e de 3,65 a 4,5 para grandes empresas, o que sugere uma variabilidade comparável nos dados.

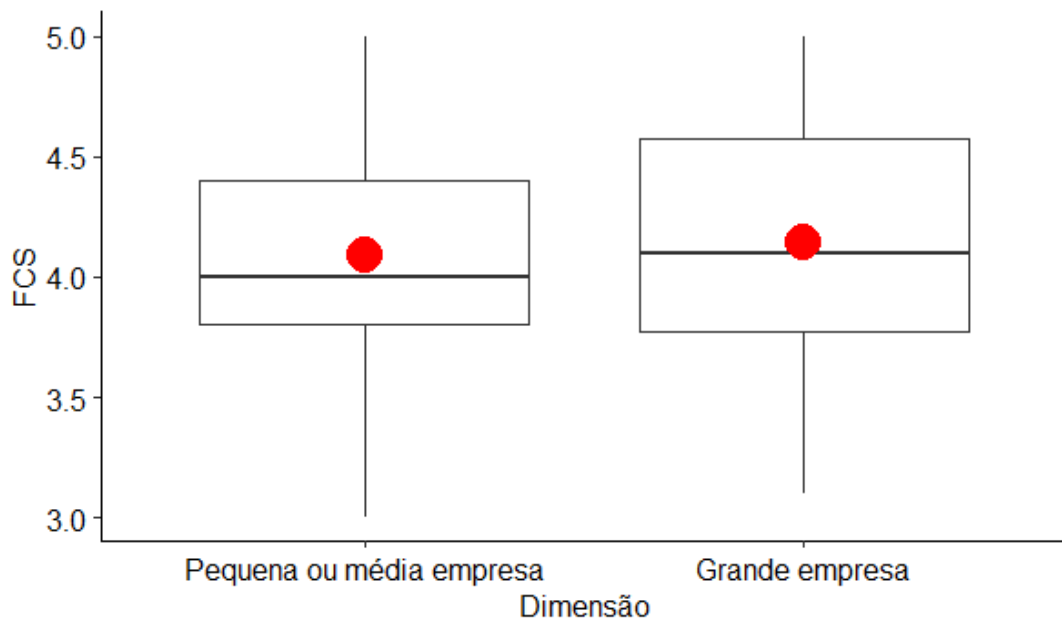


Gráfico 15 - Boxplot do construto FCS para o Fator de Dimensão da Empresa.

Além disso os valores da média estão ligeiramente acima da mediana em ambos os casos. Não há presença de *outliers*, o que indica que os dados são relativamente homogêneos. Em suma, as percepções dos FCS relativos à I4.0 não parece variar muito entre pequenas, médias e grandes empresas.

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk indicam que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese de normalidade para os dados de ambas as dimensões de empresa. Para a dimensão "PMEs", o valor de W foi 0,960 com um valor- p de 0,281, e para a dimensão "Grande empresa", o valor de W foi 0,960 com um valor- p de 0,535. Como ambos os valor- p são maiores que 0,05, pode-se concluir que os dados seguem uma distribuição normal.

Os resultados do teste t para as categorias avaliadas mostram que o valor de t é -0,317 e o valor- p é 0,753. Dado que o valor- p é maior que o nível de significância de 0,05, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais. Portanto, não se pode concluir que a dimensão da empresa tem um efeito estatisticamente significativo nos valores do construto FCS. A análise revelou que a diferença entre as médias dos dois grupos é pequena, com a média da dimensão "PMEs" a ser 4,091 e a média da dimensão "Grande empresa" a ser 4,140. O intervalo de confiança de 95% para a diferença das médias é de -0,365 a 0,266, o que inclui o valor zero, reforçando a conclusão de que não há uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

Assim, com base neste teste, não é possível comprovar se a dimensão da empresa tem um impacto na percepção dos respondentes relativo aos FCS da I4.0.

4.6.3. Fator Área de Atuação

Por último, é avaliado o fator "Áreas de atuação", de modo a tentar perceber, se o mesmo também, tem ou não influenciam na percepção em relação aos construtos de benefícios, desafios

e FCS da I4.0 Para tal, foram analisados dados de diferentes áreas de atuação, comparando os resultados obtidos para os setores de "Serviços" e "Indústria", tendo como objetivo identificar se existem diferenças estatisticamente significativas nas percepções entre os profissionais dos dois setores.

Estes dois setores são frequentemente tratados como distintos, devido às suas características operacionais e contextuais, que pode impactar significativamente a forma de como os profissionais experienciam e avaliam o ambiente de trabalho, as interações sociais e a eficácia das práticas organizacionais [83].

Começando a análise pelo construto "Benefícios", o Gráfico 16 representa um IQR que está localizada entre os valores de 4,0 e 5,0 para ambas as áreas, com a mediana situada em torno de 4,5. No entanto, o grupo "Indústria" apresenta uma maior variabilidade nos valores inferiores, com o *whiskers* inferior prolongando-se até valores menores que 3,0, o que reflete uma maior variabilidade dos dados, apontando para uma possível desigualdade na percepção dos benefícios.

Ambos os setores têm os valores das médias das suas variáveis latentes concentrados em torno de 4,5.

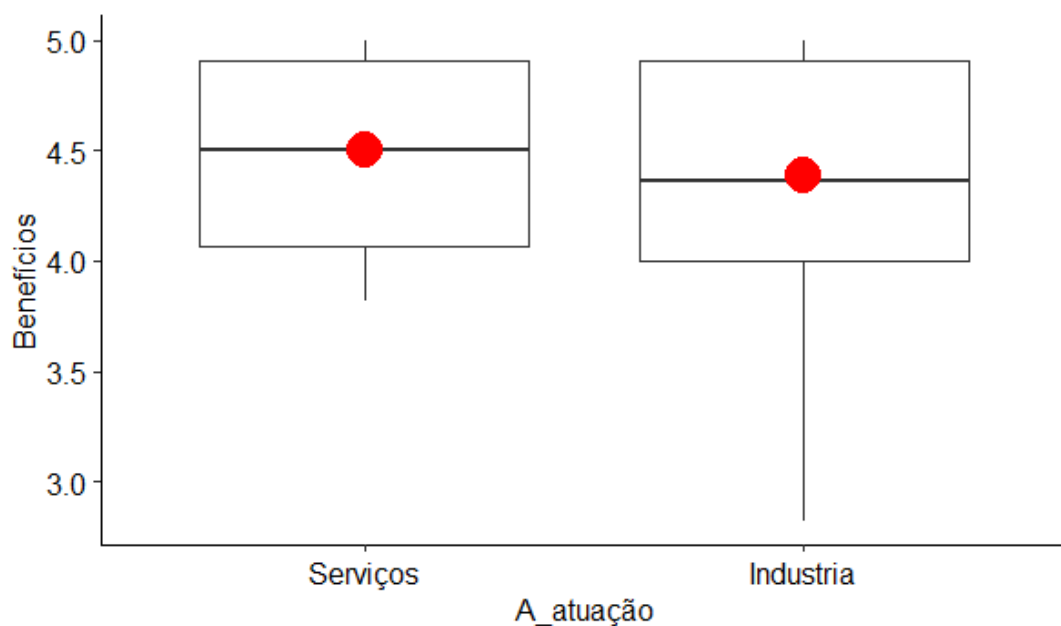


Gráfico 16 - *Boxplot* do construto benefícios para o Fator Área de Atuação.

Os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk indicam que, para o grupo "Industria", o valor de W foi 0,911, com um valor- p de 0,004. Como o valor- p é inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula, o que significa que os dados deste grupo não seguem uma distribuição normal. Por outro lado, para o grupo "Serviços", o valor de W foi 0,878, com um valor- p de 0,082. Neste caso, como o valor- p é superior a 0,05, não se rejeita a hipótese nula, indicando que os dados deste grupo seguem uma distribuição normal.

Resultados e Discussão

Assim sendo, como apenas um grupo apresenta dados que seguem uma distribuição normal, é utilizado o teste não paramétrico para analisar o construto benefícios em relação à área de atuação.

O teste de Wilcoxon realizado indicou que não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula, que postula que as médias dos dois grupos analisados, "Indústria" e "Serviços", são iguais. O valor da estatística W de 261,5 e um valor- p de 0,646, que é maior do que o nível de significância de 0,05. Com base nesses resultados, não podemos concluir que há uma diferença estatisticamente significativa entre as médias do construto "Benefícios" entre os dois grupos. Portanto, os resultados sugerem que as médias desses dois grupos são estatisticamente equivalentes, não sendo possível afirmar que a área de atuação tem influência na percepção do construto analisado.

Analisando o construto "Desafios", o Gráfico 17 revela que as distribuições dos dados para as categorias "Serviços" e "Indústria" são bastante semelhantes, com medianas próximas de 4, o que indica que, em ambas as áreas, os desafios são avaliados de forma similar. No entanto, a dispersão dos dados parece ser ligeiramente maior no setor de "Serviços" do que no de "Indústria", como evidenciado pela maior extensão dos *whiskers* no grupo dos "Serviços". Além disso, o gráfico aponta a presença de um *outlier* no grupo "Indústria", o que sugere que, em pelo menos um caso, os desafios foram avaliados significativamente mais baixos, em torno de 2. A média das variáveis latentes está muito próxima da mediana em ambas as categorias, sugerindo uma distribuição simétrica dos dados.

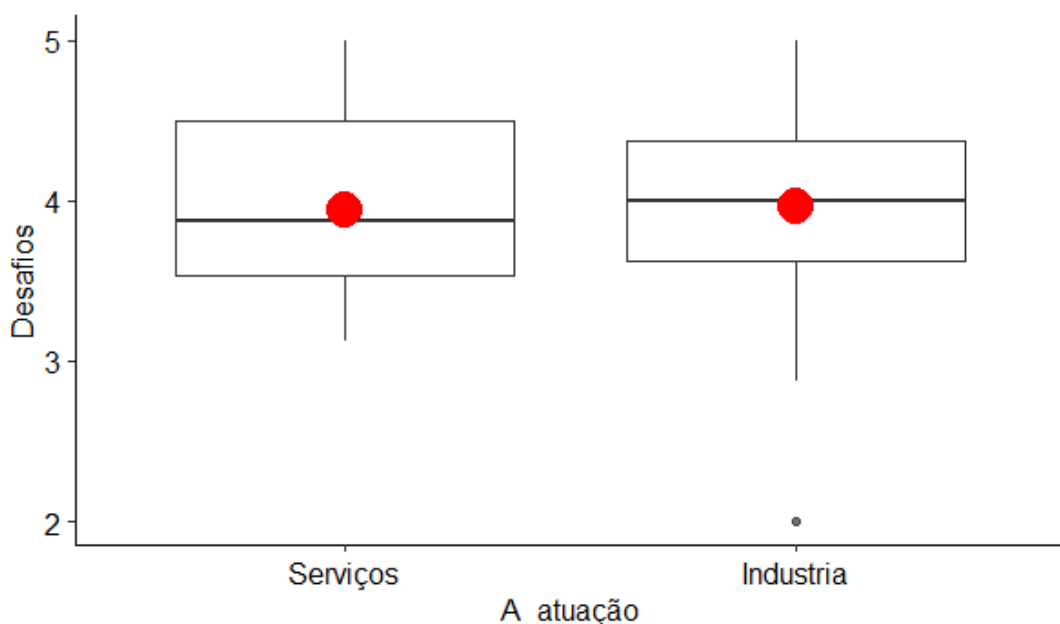


Gráfico 17 - *Boxplot* do construto desafios para o Fator Área de Atuação.

Em resumo, é percebido que tanto no setor de "Serviços" quanto no de "Indústria", a percepção dos desafios é bastante semelhante. Contudo, o setor de "Serviços" apresenta uma maior variabilidade, enquanto o setor de "Indústria" contém um caso atípico de avaliação significativamente menor dos desafios.

Os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk para o construto "Desafios" mostram que, para o grupo "Indústria", o valor de W é 0,956, com um valor- p de 0,120. Como o valor- p é superior a 0,05, não se rejeita a hipótese nula, o que indica que os dados deste grupo seguem uma distribuição normal. Da mesma forma, para o grupo "Serviços", o valor de W foi 0,940, com um valor- p de 0,500. Novamente, como o valor- p é superior a 0,05, não se rejeita a hipótese nula, indicando que os dados deste grupo também seguem uma distribuição normal.

Portanto, como em ambos os casos os dados seguem uma distribuição normal, pode-se utilizar um teste paramétrico para analisar se a área de atuação tem um efeito significativo na percepção dos desafios.

Recorrendo ao uso do teste t , os resultados apontaram para um valor de t de 0,156, com um grau de liberdade de 18,498 e um valor- p de 0,878. Como o valor- p é significativamente maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$, não se rejeita a hipótese nula de que as médias dos grupos "Indústria" e "Serviços" são iguais. O intervalo de confiança de 95% para a diferença das médias varia de -0,390 a 0,452, e como este intervalo inclui o zero, reforça a conclusão de que não há uma diferença significativa entre as médias dos dois grupos.

Assim, os resultados sugerem que a área de atuação não tem um efeito estatisticamente significativo no que diz respeito à percepção dos desafios estudados da I4.0. Por outras palavras, não é possível afirmar que a área de atuação tem influência sobre as percepções relativas aos desafios da I4.0.

Por último, analisando o construto FCS, o Gráfico 18 revela que as distribuições das variáveis latentes para as categorias "Serviços" e "Indústria" são bastante semelhantes, com medianas próximas de 4,0. A dispersão dos dados é ligeiramente maior no setor de "Serviços" do que no setor de "Indústria", conforme evidenciado pela maior extensão dos *whiskers* no grupo dos "Serviços". No entanto, não há presença de *outliers* em nenhuma das categorias, o que sugere uma distribuição mais homogênea dos dados. A média dos valores, está ligeiramente acima da mediana em ambas as categorias, apontado para valores próximos de 4,0.

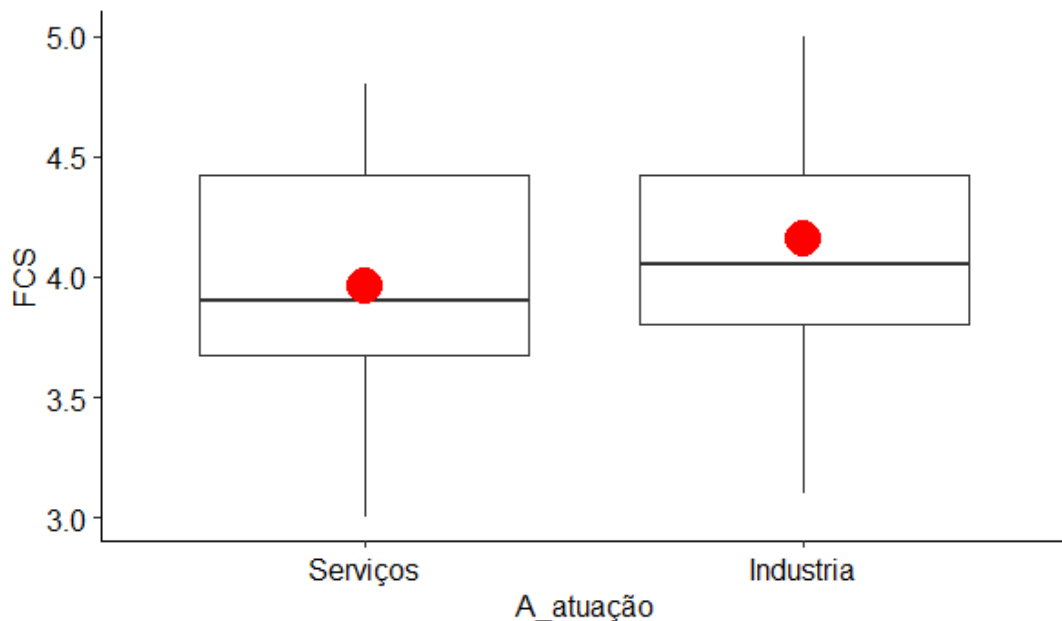


Gráfico 18 - *Boxplot* do construto FCS para o Fator Área de Atuação.

Em resumo, tanto no setor de "Serviços" quanto no de "Indústria", o construto FCS tem uma distribuição semelhante, com medianas em torno de 4,0 e uma ligeira variabilidade maior no setor de "Serviços". Ambos os setores apresentam uma distribuição dos dados que é quase simétrica e não há valores atípicos significativos em nenhuma das categorias.

Utilizando o teste de Shapiro-Wilk para verificar se as distribuições das variáveis latentes seguem uma distribuição normal, constata-se que, para o grupo "Indústria", o valor de W foi 0,955 com um valor- p de 0,116. Como o valor- p é maior que 0,05, não se rejeita a hipótese nula de normalidade. Da mesma forma, para o grupo "Serviços", o valor de W foi 0,945 com um valor- p de 0,570. Novamente, como o valor- p é maior que 0,05, não se rejeita a hipótese nula de normalidade. Assim sendo, pode-se afirmar que ambos os grupos seguem uma distribuição normal

Diante disto, utiliza-se um teste paramétrico para examinar se a área de atuação tem um efeito significativo nas percepções dos FCS.

Aplicando o teste t verifica-se uma estatística t de 1,049, com 16,117 graus de liberdade, e um valor- p de 0,310. O intervalo de confiança de 95% para a diferença entre as médias variam de -0,201 a 0,594. As médias observadas foram 4,155 para o grupo "Indústria" e 3,958 para o grupo "Serviços". Como o valor- p é 0,310, superior ao nível de significância $\alpha = 0,05$, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que a média dos dois grupos são iguais. Portanto, não é possível concluir que a área de atuação tenha um efeito estatisticamente significativo sobre os valores do construto FCS. Por outras palavras, não é possível afirmar que a área de atuação tem influência sobre as percepções relativas aos FCS da I4.0.

4.7. Discussão de resultados

O presente estudo permite analisar a influência de três fatores - escolaridade, dimensão da empresa e área de atuação - nas percepções dos respondentes sobre os benefícios, desafios e FCS da I4.0. A análise foi realizada utilizando testes estatísticos apropriados, como o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados e testes não paramétricos e paramétricos para avaliar a existência de diferenças significativas entre os grupos.

De acordo com Mirza et al. [84], a formação acadêmica é essencial para a digitalização das empresas, especialmente nas equipas de gestão de topo. Profissionais com formação acadêmica trazem conhecimentos e experiência, além de serem mais criativos e confiantes. O autor mostra também que, ter de 6 a 18 pessoas com formação acadêmica nas equipas de gestão pode acelerar a digitalização, com a formação estando positivamente associada ao sucesso da transformação digital.

Isto sugere que, a formação acadêmica não só promove uma compreensão mais robusta da I4.0, como também melhora a eficácia da implementação e a liderança na transformação digital, refletindo uma influência positiva do fator escolaridade nas percepções e adoção da I4.0.

Neste sentido, os resultados demonstraram que a grande maioria dos respondentes, reconhece e concorda com os benefícios, desafios e FCS da I4.0 apresentados pela literatura, refletindo de igual modo uma influência positiva sobre as percepções. Adicionalmente, a análise sobre o fator escolaridade revela que as percepções são semelhantes independentemente do nível e área de formação. Tanto os profissionais com formação em engenharia quanto aqueles com formação em outras áreas, apresentam percepções idênticas em relação às oportunidades e obstáculos relacionados à I4.0, conforme indicado pelas análises estatísticas, incluindo o teste de Wilcoxon e o teste t, que mostraram valores-*p* superiores ao nível de significância de 0,05. Mesmo com pequenas variações nas medianas e nas distribuições dos dados entre os dois grupos, essas diferenças não foram suficientemente significativas para alterar a conclusão geral, não sendo possível afirmar que o fator de escolaridade exerce uma influência estatisticamente significativa nas percepções acerca dos benefícios, desafios e FCS da I4.0.

No que toca à dimensão da empresa, a literatura oferece uma visão detalhada sobre os desafios e benefícios enfrentados por empresas de diferentes tamanhos na implementação de práticas sustentáveis e tecnologias da I4.0. Estudos como o de Seidel et al. [85] destacam que as PMEs enfrentam dificuldades específicas devido à escassez de capital e recursos qualificados, o que limita sua capacidade de adotar práticas ambientais e tecnologias inovadoras. Este estudo indica que as PMEs tendem a focar-se em soluções de curto prazo e a evitar investimentos que não tragam retornos financeiros imediatos. Além disso, as PMEs operam em um ambiente onde a sustentabilidade ainda está a emergir como um paradigma empresarial, o que agrava os seus desafios.

Zheng et al. [86] mostram que, nas grandes empresas, a adoção de tecnologias I4.0 é significativamente mais ampla, com mais de 70% dessas empresas a utilizar pelo menos uma tecnologia e mais de 30% adotaram duas ou mais. Isso coloca as grandes empresas em uma posição competitiva superior, permitindo-lhes colher benefícios substanciais, como redução de

custos e melhorias na qualidade e no tempo de colocação no mercado. As grandes empresas também enfrentam desafios relacionados à falta de competências e ao alto investimento necessário para a adoção dessas tecnologias, mas, à medida que aumentam o número de tecnologias adotadas, a intensidade desses obstáculos tende a diminuir, sugerindo uma curva de aprendizado e adaptação.

Adicionalmente, estudos direcionados a PMEs revelam diferenças nas percepções dos benefícios da I4.0 com base no tamanho da empresa [87]. Horváth & Szabó [88] observam que as grandes empresas têm uma motivação mais forte e enfrentam menos barreiras em comparação com as PMEs. Inquéritos de Jimeno-Morenilla et al. [89] e Kamble et al. [90] centrados em setores específicos mostram intensidades variáveis nos requisitos de adoção de tecnologia. Muller et al. [87] concluem que as percepções das oportunidades e desafios da I4.0 diferem em função da dimensão e do setor da empresa, distinguindo entre setores com maior ou menor intensidade tecnológica.

Entretanto, a análise apresentada neste estudo desafia algumas dessas suposições ao revelar que não há diferenças estatisticamente significativas nas percepções sobre os benefícios, desafios e FCS da I4.0 entre PMEs e grandes empresas. Através de testes estatísticos, como Wilcoxon e teste t, foi identificado que as médias das percepções são estatisticamente equivalentes entre os dois grupos, indicando que os desafios estruturais e culturais impostos pela I4.0 são amplamente compartilhados, independentemente da dimensão da empresa. Essa semelhança nas percepções pode indicar uma disseminação mais uniforme das iniciativas da digitalização entre empresas de diferentes tamanhos do que a literatura sugere, ou pode refletir que, embora as grandes empresas possam estar mais avançadas na implementação dessas tecnologias, as PMEs não estão tão distantes em termos de percepção dos desafios e benefícios. Isso também pode sugerir que as barreiras enfrentadas pelas PMEs são mais de natureza preceptiva do que práticas, e que, com o suporte adequado, essas empresas poderiam superar os desafios de forma mais eficaz.

Por último, a análise referente à área de atuação, comparando os setores de serviços e indústria, revelou que também não há diferenças significativas nas percepções dos profissionais destes dois setores sobre os construtos estudados. Os testes realizados confirmaram que as percepções são bastante identificadas entre os dois grupos, e as pequenas variações observadas nas medianas e nos IQR não foram suficientes para indicar uma influência estatisticamente significativa da área de atuação sobre as percepções da I4.0.

Em contraste, outras áreas de estudo revelam diferenças de adoção nas certificações e metodologias, entre os dois setores. De acordo com Pekovic [91], a indústria transformadora e o setor de serviços diferem significativamente na maneira como adotam e utilizam certificações de qualidade, como a ISO 9000. O estudo revela que a indústria transformadora, com sua experiência mais longa com a norma, demonstra um maior nível de compreensão e integração da ISO 9000 em suas estratégias internas. As empresas industriais tendem a focar mais na melhoria da qualidade, redução de custos e inovação, ao contrário das empresas de serviços, que frequentemente percebem a qualidade como um reflexo das expectativas externas dos clientes, priorizando a garantia da qualidade percebida em detrimento das melhorias internas. Fonseca e Domingues [92], comprovam essa visão ao indicar que metodologias de melhoria

contínua, como Lean e Six Sigma, são mais predominantes na indústria do que no setor de serviços.

Embora existam diferenças marcantes na adoção de certificações de qualidade e metodologias de melhoria entre os setores, essas diferenças não se estendem às percepções sobre I4.0 segundo o presente estudo. A indústria transformadora, com uma abordagem mais intensa e estruturada para a melhoria contínua, parece ter uma vantagem em termos de adoção de práticas de qualidade e inovação. No entanto, a crescente importância da I4.0 parece nivelar as percepções entre setores, indicando que as tendências tecnológicas estão a promover uma maior convergência nas expectativas e estratégias de adaptação. Este fenômeno pode sugerir que, à medida que a I4.0 se torna mais relevante, as diferenças setoriais tradicionais na adoção de práticas e metodologias podem ser menos acentuadas em termos de percepções e preparações para o futuro tecnológico. O alinhamento nas percepções pode ser um indicativo da necessidade de uma abordagem mais integrada e uniforme para a adaptação às novas tecnologias, independentemente do setor. A Tabela 7 resume os resultados obtidos segundo os fatores em análise.

Tabela 7 – Resultados obtidos dos fatores analisados.

Fator	Teste de Hipóteses	Grupos	Resultados do teste de Shapiro-Wilk	Resultados do teste t de Student	Resultados do teste de Wilcoxon	Conclusão
Escolaridade	H1a	Formação em Engenharia	Rejeita-se a hipótese de normalidade	-	valor-p = 0,615 >0,05	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Formação em outra área	Rejeita-se a hipótese de normalidade	-		
Dimensão da Empresa	H2a	Grandes empresas	Rejeita-se a hipótese de normalidade	-	valor-p = 0,156 >0,05	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		PMEs	Rejeita-se a hipótese de normalidade	-		
Área de Atuação	H3a	Serviços	Hipótese de normalidade válida	-	valor-p = 0,646 >0,05	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Indústria	Rejeita-se a hipótese de normalidade	-		
Escolaridade	H1b	Formação em Engenharia	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,061 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Formação em outra área	Hipótese de normalidade válida			

Tabela 7 – Resultados obtidos dos fatores analisados. (Continuação)

Fator	Teste de Hipóteses	Grupos	Resultados do teste de Shapiro-Wilk	Resultados do teste t de Student	Resultados do teste de Wilcoxon	Conclusão
Dimensão da Empresa	H2b	Grandes empresas	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,621 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		PMEs	Hipótese de normalidade válida			
Área de Atuação	H3b	Serviços	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,874 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Indústria	Hipótese de normalidade válida			
Escolaridade	H1c	Formação em Engenharia	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,689 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Formação em outra área	Hipótese de normalidade válida			
Dimensão da Empresa	H2c	Grandes empresas	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,753 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		PMEs	Hipótese de normalidade válida			
Área de Atuação	H3c	Serviços	Hipótese de normalidade válida	valor-p = 0,310 >0,05	-	Não é possível comprovar diferenças estatisticamente significativas
		Indústria	Hipótese de normalidade válida			

5. Conclusão

O presente estudo reafirma que a I4.0 representa uma transformação significativa no cenário industrial, impulsionada por tecnologias como IoT, BD e robôs autônomos. Estas tecnologias prometem aumentar a eficiência operacional, promover a inovação e melhorar a competitividade global, permitindo uma melhor tomada de decisões e a criação de novos modelos de negócio. No entanto, apesar dos potenciais benefícios, os resultados empíricos destacam vários obstáculos à adoção da I4.0, particularmente nas PMEs. Os elevados custos de investimento, a falta de conhecimentos especializados e as estratégias digitais pouco claras são desafios importantes, que são agravados nas PMEs, que muitas vezes não dispõem dos recursos financeiros e humanos necessários para uma transição suave para a I4.0.

Os dados também mostram um forte consenso sobre a importância dos FCS para a implementação da I4.0, particularmente funções de liderança, envolvimento dos colaboradores, digitalização e alinhamento estratégico. A sustentabilidade e a proteção de dados também foram amplamente reconhecidas como essenciais, apontando para a necessidade de uma abordagem equilibrada que integre tecnologia, processos de gestão e capital humano. Esta abordagem equilibrada envolve não só o investimento nas tecnologias mais recentes, mas também na formação e capacitação dos colaboradores, e a garantia de que a proteção de dados e a sustentabilidade são parte integrante da estratégia de transformação digital.

O estudo discute a influência de três fatores – educação, tamanho da empresa e área de atividade – na percepção dos benefícios, desafios e FCS associados à I4.0. As principais conclusões são as seguintes:

Formação:

- A formação acadêmica, particularmente em gestão, é crucial para a transformação digital, com líderes educados a fomentar a criatividade e a confiança na adoção da I4.0.
- O estudo não mostra diferenças estatisticamente significativas nas percepções entre profissionais com diferentes formações acadêmicas. Tanto engenheiros como não engenheiros têm visões semelhantes sobre as oportunidades e desafios da I4.0.

Dimensão da Empresa:

- A literatura sugere que as PMEs enfrentam mais desafios na adoção da I4.0 devido ao capital e recursos limitados, enquanto as empresas maiores se beneficiam de uma adoção mais ampla e vantagens de escala.

Conclusão

- No entanto, este estudo não encontrou diferenças significativas entre as PME e as grandes empresas no que diz respeito à percepção dos benefícios, desafios e FCS da I4.0. Isto sugere que os desafios da digitalização são partilhados entre as dimensões das empresas e que as PME podem não ficar tão para trás como se pensava anteriormente.

Área de Atividade (Serviços vs. Indústria):

- Embora os estudos destaquem diferenças setoriais na adoção de certificações de qualidade e metodologias de melhoria, como *Lean* e *Six Sigma*, não foram encontradas diferenças significativas entre os setores de serviços e industrial em relação às percepções do I4.0.
- Apesar do maior foco do setor manufatureiro na qualidade e na inovação, a I4.0 parece estar a nivelar as percepções entre setores, sugerindo que tanto as empresas de serviços quanto as industriais estão a convergir as suas visões sobre a importância de se adaptar às tendências tecnológicas.

Em suma, conclui-se que as percepções sobre a I4.0 são amplamente consistentes em todos os níveis de educação, tamanhos de empresas e setores. Embora pesquisas anteriores indiquem disparidades, particularmente para PME e indústrias de serviços, este estudo sugere que a digitalização e a I4.0 são percebidas como cruciais em todos os setores. Os resultados implicam que, à medida que a I4.0 se torna mais relevante, as diferenças tradicionais na adoção de tecnologia podem se tornar menos pronunciadas, levando a uma abordagem mais uniforme para a implementação entre setores. Isso pode ter implicações significativas para o futuro da I4.0, potencialmente levando a um processo de adoção mais simplificado e eficiente.

Em termos de contribuição, este trabalho oferece uma visão abrangente que pode servir como referência tanto para o setor empresarial quanto para o meio académico, incentivando a adoção da I4.0 nas empresas portuguesas. As implicações práticas sugerem que, para maximizar os benefícios da I4.0, as empresas devem investir em formação, desenvolver competências adequadas e implementar medidas de segurança robustas.

5.1. Limitações e trabalhos futuros

É espectável que este estudo esteja sujeito a algumas limitações que impactam a interpretação dos resultados, inerentes à metodologia de *survey* e às contingências da amostra. O enviesamento do questionário e a representatividade limitada da amostra, como o reduzido número de respostas, restrição geográfica e a dificuldade de abranger todos os setores industriais são fatores que podem dificultar o desenvolvimento e análise da investigação.

Embora o estudo identifique os elevados custos de investimento e as lacunas de conhecimento como desafios significativos, a compreensão dos aspetos específicos do investimento e das necessidades de formação poderia fornecer perspetivas mais acionáveis. Pesquisas futuras podem explorar como diferentes empresas lidam com esses desafios. Além disso, apesar de o estudo identificar FCS, o mesmo não fornece estratégias pormenorizadas para enfrentar os desafios identificados ou alcançar os FCS, sendo outro campo de estudo possível de ser explorado. Adicionalmente, a pesquisa é apoiada por uma predominância de altos níveis de

Conclusão

educação entre os entrevistados, com destaque para a área de engenharia, o que pode não representar totalmente a força de trabalho mais ampla envolvida na I4.0. A inclusão de uma formação acadêmica mais diversificada poderia proporcionar uma visão mais abrangente. Finalmente, estudos futuros poderão abordar a implementação da I4.0 em áreas específicas tais como a Gestão da Qualidade (Qualidade 4.0) e a adoção da Indústria 5.0 (transformação digital com enfoque nas pessoas, na sustentabilidade e na resiliência).

Em conclusão, embora o estudo ofereça informações valiosas sobre as percepções da I4.0, ele também exige mais pesquisas para abordar as suas limitações e fornecer estratégias mais detalhadas para uma implementação bem-sucedida.

Conclusão

Referências

- [1] P. Vasyuchenko, L. Liubokhynets, O. Stelmashenko, S. Grytsenko, and N. Filipova, "Revista de la Universidad del Zulia Ciencias Sociales y Arte Año 14 N° 41 Septiembre-Diciembre 2023 Tercera Época Maracaibo-Venezuela Strategic Development of Enterprises in the Conditions of Digitalization According to the Principles of Industry 4.0," 2023, doi: <https://doi.org/10.46925//rdluz.41.36>.
- [2] E. A. Alaref and S. A. Khan, "Industry 4.0 and its Technologies: A Systematic Literature Review," in *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 1004–1009. doi: 10.1109/IEEM50564.2021.9672847.
- [3] G. Teixeira, "TRANSFORMAÇÃO DIGITAL DE PMEs INDUSTRIAIS NO NORTE DE PORTUGAL," ISEP, Porto, 2023.
- [4] S. Saniuk and A. Saniuk, "Challenges of Industry 4.0 for Production Enterprises Functioning Within Cyber Industry Networks," *Management Systems in Production Engineering*, vol. 26, no. 4, pp. 212–216, Dec. 2018, doi: 10.1515/mspe-2018-0034.
- [5] B. Oberer and A. Erkollar, "Leadership 4.0: Digital Leaders in the Age of Industry 4.0," *International Journal of Organizational Leadership*, vol. 7, no. 4, pp. 404–412, Oct. 2018, doi: 10.33844/ijol.2018.60332.
- [6] Groves *et al.*, *International Handbook of Survey Methodology*, vol. 561. Routledge, 2012. doi: 10.4324/9780203843123.
- [7] H. L. Ball, "Conducting Online Surveys," *Journal of Human Lactation*, vol. 35, no. 3, pp. 413–417, Aug. 2019, doi: 10.1177/0890334419848734.
- [8] M. N. K. Saunders, P. Lewis, and Adrian. Thornhill, *Research methods for business students*, Fourth Edition. Financial Times/Prentice Hall, 2007.
- [9] M. N. K. Saunders, P. Lewis, and A. Thornhill, *Research methods for business students*, EIGHTH EDITION. Pearson Education, 2018.
- [10] M. Mohamed, "Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview," *International Journal of Supply and Operations Management*, vol. 5, no. 3, pp. 256–265, 2018, [Online]. Available: www.ijсом.com
- [11] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios," in *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, IEEE, Jan. 2016, pp. 3928–3937. doi: 10.1109/HICSS.2016.488.
- [12] T. Masood and P. Sonntag, "Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs," *Comput Ind*, vol. 121, p. 103261, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103261.
- [13] N. T. Ching, M. Ghobakhloo, M. Iranmanesh, P. Maroufkhani, and S. Asadi, "Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development," *J Clean Prod*, vol. 334, p. 130133, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130133.

Referências

- [14] J. Oláh, N. Aburumman, J. Popp, M. A. Khan, H. Haddad, and N. Kitukutha, "Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability," *Sustainability*, vol. 12, no. 11, p. 4674, Jun. 2020, doi: 10.3390/su12114674.
- [15] M. Sony, J. Antony, O. Mc Dermott, and J. A. Garza-Reyes, "An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector," *Technol Soc*, vol. 67, p. 101754, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101754.
- [16] G. Aceto, V. Persico, and A. Pescapé, "A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 4, pp. 3467–3501, Oct. 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2938259.
- [17] M. A. M. S. Lemstra and M. A. de Mesquita, "Industry 4.0: a tertiary literature review," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 186, p. 122204, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2022.122204.
- [18] B. W. Shaheen and I. Németh, "Integration of Maintenance Management System Functions with Industry 4.0 Technologies and Features—A Review," *Processes*, vol. 10, no. 11, p. 2173, Oct. 2022, doi: 10.3390/pr10112173.
- [19] L. Fonseca, A. Amaral, and J. Oliveira, "Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications," *Sustainability*, vol. 13, no. 6, p. 3107, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13063107.
- [20] D. G. S. Pivoto, L. F. F. de Almeida, R. da Rosa Righi, J. J. P. C. Rodrigues, A. B. Lugli, and A. M. Alberti, "Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review," *J Manuf Syst*, vol. 58, pp. 176–192, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2020.11.017.
- [21] M. Moghaddam, M. N. Cadavid, C. R. Kenley, and A. V. Deshmukh, "Reference architectures for smart manufacturing: A critical review," *J Manuf Syst*, vol. 49, pp. 215–225, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.jmsy.2018.10.006.
- [22] M. K. Habib and C. Chimsom, "Industry 4.0: Sustainability and Design Principles," in *2019 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, IEEE, May 2019, pp. 1–8. doi: 10.1109/REM.2019.8744120.
- [23] S. I. Shafiq, C. Sanin, C. Toro, and E. Szczerbicki, "Virtual engineering object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for industry 4.0," *Cybern Syst*, vol. 46, pp. 35–50, Feb. 2015, doi: 10.1080/01969722.2015.1007734.
- [24] S. I. Shafiq, C. Sanin, E. Szczerbicki, and C. Toro, "Virtual Engineering Factory: Creating Experience Base for Industry 4.0," *Cybern Syst*, vol. 47, no. 1–2, pp. 32–47, Jan. 2016, doi: 10.1080/01969722.2016.1128762.
- [25] M. Sony, "Pros and cons of implementing Industry 4.0 for the organizations: a review and synthesis of evidence," *Prod Manuf Res*, vol. 8, no. 1, pp. 244–272, Jan. 2020, doi: 10.1080/21693277.2020.1781705.
- [26] M. Piccarozzi, C. Silvestri, B. Aquilani, and L. Silvestri, "Is this a new story of the 'Two Giants'? A systematic literature review of the relationship between industry 4.0, sustainability and its pillars," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 177, p. 121511, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121511.
- [27] COMISSÃO EUROPEIA, "RECOMENDAÇÃO DA COMISSÃO de 6 de Maio de 2003 relativa à definição de micro, pequenas e médias empresas," May 2003. Accessed: Dec. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.iapmei.pt/getattachment/PRODUTOS-E-SERVICOS/Qualificacao-Certificacao/Certificacao-PME/Recomendacao-da-Comissao-2003-361-CE.pdf.aspx>
- [28] UNIÃO EUROPEIA, "Guia do utilizador relativo à definição de PME," Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo, Sep. 2020. doi: doi/10.2873/246665.

Referências

- [29] A. Sevinç, Ş. Gür, and T. Eren, "Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process," *Processes*, vol. 6, no. 12, p. 264, Dec. 2018, doi: 10.3390/pr6120264.
- [30] A. Moeuf, S. Lamouri, R. Pellerin, S. Tamayo-Giraldo, E. Tobon-Valencia, and R. Eburdy, "Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs," *Int J Prod Res*, vol. 58, no. 5, pp. 1384–1400, Mar. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1636323.
- [31] M. Sony and S. Naik, "Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction," *Production Planning & Control*, vol. 31, no. 10, pp. 799–815, Jul. 2020, doi: 10.1080/09537287.2019.1691278.
- [32] A. Sartal, R. Bellas, A. M. Mejías, and A. García-Collado, "The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 12, no. 5, p. 168781402092523, May 2020, doi: 10.1177/1687814020925232.
- [33] S. H. Bonilla, H. R. O. Silva, M. Terra da Silva, R. Franco Gonçalves, and J. B. Sacomano, "Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges," *Sustainability*, vol. 10, no. 10, p. 3740, Oct. 2018, doi: 10.3390/su10103740.
- [34] L. Varela, A. Araújo, P. Ávila, H. Castro, and G. Putnik, "Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability," *Sustainability*, vol. 11, no. 5, p. 1439, Mar. 2019, doi: 10.3390/su11051439.
- [35] S. Bag, G. Yadav, P. Dhamija, and K. K. Kataria, "Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study," *J Clean Prod*, vol. 281, p. 125233, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125233.
- [36] V. Alcácer and V. Cruz-Machado, "Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 899–919, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- [37] M. Achouch *et al.*, "On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 16, p. 8081, Aug. 2022, doi: 10.3390/app12168081.
- [38] A. G. Frank, L. S. Dalenogare, and N. F. Ayala, "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies," *Int J Prod Econ*, vol. 210, pp. 15–26, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.
- [39] M. Younas, "Research challenges of big data," *Service Oriented Computing and Applications*, vol. 13, no. 2, pp. 105–107, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11761-019-00265-x.
- [40] V. Keskar*, Dr. J. Y. Yadav, and Dr. A. H. Kumar, "5V's of Big Data Attributes and their Relevance and Importance across Domains," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 11, pp. 154–163, Sep. 2020, doi: 10.35940/ijitee.K7709.0991120.
- [41] A. Gandomi and M. Haider, "Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics," *Int J Inf Manage*, vol. 35, no. 2, pp. 137–144, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007.
- [42] D. Cemernek, H. Gursch, and R. Kern, "Big data as a promoter of industry 4.0: Lessons of the semiconductor industry," in *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, IEEE, Jul. 2017, pp. 239–244. doi: 10.1109/INDIN.2017.8104778.
- [43] M. Agarwal, S. Ajemian, G. Tim, B. Microstrategy, R. Campbell, and S. Coggeshall, "Demystifying Big Data: A Practical Guide To Transforming The Business of Government Listing of Leadership and Commissioners," 2012.

Referências

- [44] J. F. Lachenmaier, H. Lasi, and H.-G. Kemper, "Simulation of Production Processes Involving Cyber-physical Systems," *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 577–582, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.06.074.
- [45] D. Mourtzis, M. Doukas, and D. Bernidaki, "Simulation in Manufacturing: Review and Challenges," *Procedia CIRP*, vol. 25, no. C, pp. 213–229, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.10.032.
- [46] P. Fraga-Lamas, T. M. Fernandez-Carames, O. Blanco-Novoa, and M. A. Vilar-Montesinos, "A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13358–13375, Feb. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2808326.
- [47] M. Calış Duman and B. Akdemir, "A study to determine the effects of industry 4.0 technology components on organizational performance," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 167, p. 120615, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2021.120615.
- [48] V. S. Patyal, P. R. S. Sarma, S. Modgil, T. Nag, and D. Dennehy, "Mapping the links between Industry 4.0, circular economy and sustainability: a systematic literature review," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 35, no. 1, pp. 1–35, Feb. 2022, doi: 10.1108/JEIM-05-2021-0197.
- [49] O. Abdulhameed, A. Al-Ahmari, W. Ameen, and S. H. Mian, "Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 2, p. 168781401882288, Feb. 2019, doi: 10.1177/1687814018822880.
- [50] R. Jiang, R. Kleer, and F. T. Piller, "Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 117, pp. 84–97, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.techfore.2017.01.006.
- [51] S. Ali and Y. Xie, "The impact of Industry 4.0 on organizational performance: the case of Pakistan's retail industry," *European Journal of Management Studies*, vol. 26, no. 2/3, pp. 63–86, Dec. 2021, doi: 10.1108/EJMS-01-2021-0009.
- [52] Royal Academy of Engineering (Great Britain), *Additive manufacturing : opportunities and constraints : a summary of a roundtable forum held on 23 May 2013 hosted by the Royal Academy of Engineering*. 2013.
- [53] V. Alcácer, C. Rodrigues, H. Carvalho, and V. Cruz-Machado, "Tracking the maturity of industry 4.0: the perspective of a real scenario," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 116, no. 7–8, pp. 2161–2181, Oct. 2021, doi: 10.1007/s00170-021-07550-0.
- [54] Y. Liao, F. Deschamps, E. de F. R. Loures, and L. F. P. Ramos, "Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal," *Int J Prod Res*, vol. 55, no. 12, pp. 3609–3629, Jun. 2017, doi: 10.1080/00207543.2017.1308576.
- [55] M. Sony and S. Naik, "Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model," *Technol Soc*, vol. 61, p. 101248, May 2020, doi: 10.1016/j.techsoc.2020.101248.
- [56] M. Ben-Ari and F. Mondada, *Elements of Robotics*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-62533-1.
- [57] M. Hassan and D. Liu, "Simultaneous area partitioning and allocation for complete coverage by multiple autonomous industrial robots," *Auton Robots*, vol. 41, no. 8, pp. 1609–1628, Dec. 2017, doi: 10.1007/s10514-017-9631-3.
- [58] M. Abdel-Basset, V. Chang, and N. A. Nabeeh, "An intelligent framework using disruptive technologies for COVID-19 analysis," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 163, p. 120431, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2020.120431.

Referências

- [59] A. Hassoun *et al.*, “The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 63, no. 23, pp. 6547–6563, Sep. 2023, doi: 10.1080/10408398.2022.2034735.
- [60] J. Leng *et al.*, “Blockchain-Secured Smart Manufacturing in Industry 4.0: A Survey,” *IEEE Trans Syst Man Cybern Syst*, vol. 51, no. 1, pp. 237–252, Jan. 2021, doi: 10.1109/TSMC.2020.3040789.
- [61] M. Lezzi, M. Lazoi, and A. Corallo, “Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework,” *Comput Ind*, vol. 103, pp. 97–110, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.09.004.
- [62] A. Corallo, M. Lazoi, M. Lezzi, and A. Luperto, “Cybersecurity awareness in the context of the Industrial Internet of Things: A systematic literature review,” *Comput Ind*, vol. 137, p. 103614, May 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103614.
- [63] H. Aldawood and G. Skinner, “Analysis and Findings of Social Engineering Industry Experts Explorative Interviews: Perspectives on Measures, Tools, and Solutions,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 67321–67329, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983280.
- [64] R. L. Wichmann, B. Eisenbart, and K. Gericke, “The Direction of Industry 4.0,” *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, vol. 1, no. 1, pp. 2129–2138, Jul. 2019, doi: 10.1017/dsi.2019.219.
- [65] R. Pozzi, T. Rossi, and R. Secchi, “Industry 4.0 technologies: critical success factors for implementation and improvements in manufacturing companies,” *Production Planning & Control*, vol. 34, no. 2, pp. 139–158, Jan. 2023, doi: 10.1080/09537287.2021.1891481.
- [66] R. Hamzeh, R. Zhong, and X. W. Xu, “A Survey Study on Industry 4.0 for New Zealand Manufacturing,” *Procedia Manuf*, vol. 26, pp. 49–57, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.007.
- [67] M. Pech and D. Vaněček, “Exploration of Differences in Managers’ Perception of the Industry 4.0 Advantages for Manufacturing Enterprises in the Czech Republic,” *Management and Production Engineering Review*, vol. 13, no. 1, pp. 9–18, Mar. 2022, doi: 10.24425/mper.2022.140872.
- [68] M. Jasiulewicz-Kaczmarek, S. Legutko, and P. Kluk, “Maintenance 4.0 technologies – new opportunities for sustainability driven maintenance,” *Management and Production Engineering Review*, vol. 11, no. 2, pp. 74–87, Jun. 2020, doi: 10.24425/mper.2020.133730.
- [69] F. Psarommatis, G. May, and V. Azamfirei, “Envisioning maintenance 5.0: Insights from a systematic literature review of Industry 4.0 and a proposed framework,” *J Manuf Syst*, vol. 68, pp. 376–399, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2023.04.009.
- [70] W. Tiddens, J. Braaksma, and T. Tinga, “Exploring predictive maintenance applications in industry,” *J Qual Maint Eng*, vol. 28, no. 1, pp. 68–85, Feb. 2022, doi: 10.1108/JQME-05-2020-0029.
- [71] M. Jasiulewicz - Kaczmarek and A. Gola, “Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 10, pp. 91–96, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.10.005.
- [72] Y. Ran, X. Zhou, P. Lin, Y. Wen, and R. Deng, “A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches,” Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.07383>.
- [73] C. Franciosi, A. Voisin, S. Miranda, and B. Lung, “Integration of I4.0 technologies with maintenance processes: what are the effects on sustainable manufacturing?,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 3, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.11.001.

Referências

- [74] A. Raj, G. Dwivedi, A. Sharma, A. B. Lopes de Sousa Jabbour, and S. Rajak, "Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective," *Int J Prod Econ*, vol. 224, p. 107546, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107546.
- [75] J. Antony *et al.*, "Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0 – A qualitative global study," *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 34, no. 7–8, pp. 827–846, May 2023, doi: 10.1080/14783363.2022.2113737.
- [76] A. Pereira, R. L. d, a Costa, R. Gonçalves, L. Pereira, and Á. Dias, "Industry 4.0 in Portugal - the state of the art," *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, vol. 9, no. 1, p. 44, 2023, doi: 10.1504/IJIMS.2023.129286.
- [77] R. Ferreira, L. Fonseca, T. Pereira, and F. A. Ferreira, "Mapping Industry 4.0 in the Portuguese Industry," in *Proceedings of the International Conference on Economics and Social Sciences*, Sciendo, 2022, pp. 520–529. doi: 10.2478/9788367405072-047.
- [78] I. Etikan, "Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling," *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2016, doi: 10.11648/j.ajtas.20160501.11.
- [79] A. Forcina and D. Falcone, "The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: A systematic literature review," *Procedia Comput Sci*, vol. 180, pp. 436–445, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.260.
- [80] L. M. Ciravegna Martins da Fonseca, T. Pereira, M. Oliveira, F. Ferreira, and M. Busu, "Manufacturing Companies Industry 4.0 maturity level: A multivariate analysis," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 17, no. 1, p. 196, Feb. 2024, doi: 10.3926/jiem.6333.
- [81] W. F. Cascio and J. W. Boudreau, *Investing in People: Financial Impact of Human Resource Initiatives*, Second. New Jersey: Pearson Education, Inc, 2011. Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780137070923/samplepages/9780137070923.pdf>
- [82] S. Mittal, M. A. Khan, D. Romero, and T. Wuest, "A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)," *J Manuf Syst*, vol. 49, pp. 194–214, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.jmsy.2018.10.005.
- [83] M. Ketokivi and M. Jokinen, "Strategy, uncertainty and the focused factory in international process manufacturing," *Journal of Operations Management*, vol. 24, no. 3, pp. 250–270, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.jom.2004.07.011.
- [84] S. S. Mirza, Y. Miao, S. Corbet, F. Scrimgeour, and J. W. Goodell, "Benefits of Top Management Team Education for Corporate Digital Transformation: A Critical Mass Perspective from China," *Financ Res Lett*, vol. 61, p. 104976, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.frl.2024.104976.
- [85] M. Seidel, R. Seidel, D. Tedford, R. Cross, L. Wait, and E. Hämmerle, "Overcoming barriers to implementing environmentally benign manufacturing practices: Strategic tools for SMEs," *Environmental Quality Management*, vol. 18, no. 3, pp. 37–55, Mar. 2009, doi: 10.1002/tqem.20214.
- [86] T. Zheng, M. Ardolino, A. Bacchetti, and M. Perona, "The road towards industry 4.0: a comparative study of the state-of-the-art in the Italian manufacturing industry," *Benchmarking: An International Journal*, vol. 30, no. 1, pp. 307–332, Jan. 2023, doi: 10.1108/BIJ-01-2021-0056.
- [87] J. M. Müller, D. Kiel, and K.-I. Voigt, "What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability," *Sustainability*, vol. 10, no. 1, p. 247, Jan. 2018, doi: 10.3390/su10010247.

Referências

- [88] D. Horváth and R. Zs. Szabó, "Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 146, pp. 119–132, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.techfore.2019.05.021.
- [89] A. Jimeno-Morenilla, P. Azariadis, R. Molina-Carmona, S. Kyratzi, and V. Moulitanitis, "Technology enablers for the implementation of Industry 4.0 to traditional manufacturing sectors: A review," *Comput Ind*, vol. 125, p. 103390, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.compind.2020.103390.
- [90] S. S. Kamble, A. Gunasekaran, and R. Sharma, "Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry," *Comput Ind*, vol. 101, pp. 107–119, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.06.004.
- [91] S. Pekovic, "The Determinants of ISO 9000 Certification: A Comparison of the Manufacturing and Service Sectors," *J Econ Issues*, vol. 44, no. 4, pp. 895–914, Dec. 2010, doi: 10.2753/JEI0021-3624440403.
- [92] L. M. Fonseca and J. P. Domingues, "The best of both worlds? Use of Kaizen and other continuous improvement methodologies within Portuguese ISO 9001 certified organizations," *The TQM Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 321–334, Jul. 2018, doi: 10.1108/TQM-12-2017-0173.

Referências

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

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

NOME: Nuno Miguel Antunes Machado

ISEP, Porto, 13 de setembro de 2024

Apêndice A

```
# carregar as bibliotecas
library(readxl)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(ggpubr)
library(gcookbook) # Load gcookbook for the pg_mean data set
theme_set(theme_pubr()) # TEMA DOS GRÁFICOS

# Carregar os dados
dados<- read_excel("C:/Users/Machado/Desktop/Faculdade/Mestrado/Ano
2/Dissertação/Parte prática/Survey relativo às percepções da I4.0 (Respostas).xlsx")
View(dados) # ver os dados
names(dados) # nomes das variáveis

#####
##### Análise exploratória/ descritiva #####
#####
##### Análise da variável género #####

dados$Género<-factor(dados$Género)
df <- dados %>%
  group_by(Género) %>%
  summarise(counts = n())
df
```

Anexo A

Gráfico de barras

```
ggplot(df, aes(x = Género, y = counts)) +  
  geom_bar(fill = "#595959", stat = "identity", width = 0.5) +  
  labs(y = "Número de respondentes", x = "Sexo")+  
  geom_text(aes(label = counts), vjust = -0.6) +  
  # geom_col(width = 0.5)+  
  theme_pubclean() +  
  ylim(0, 40)
```

ou gráfico circular

```
df <- df %>%  
  arrange(desc(Género)) %>%  
  mutate(prop = round(counts*100/sum(counts), 1),  
         lab.ypos = cumsum(prop) - 0.5*prop)  
head(df, 4)  
ggplot(df, aes(x = "", y = prop, fill = Género)) +  
  geom_bar(width = 1, stat = "identity", color = "white") +  
  geom_text(aes(y = lab.ypos, label = prop), color = "white")+  
  coord_polar("y", start = 0)+  
  ggpubr::fill_palette("lancet")+  
  theme_void()
```

Análise da variável Escolaridade

```
names(dados)[names(dados) == "Qual é o seu nível de ensino mais alto concluído?"] <-  
"Escolaridade"  
dados$Escolaridade<-factor(dados$Escolaridade)  
df <- dados %>%  
  group_by(Escolaridade) %>%  
  summarise(counts = n())  
ggplot(df, aes(x = Escolaridade, y = counts)) +  
  geom_bar(fill = "#00468BFF", stat = "identity") +
```

Anexo A

```
labs(y = "Número de respondentes", x = "Escolaridade")+  
geom_text(aes(label = counts), vjust = -0.3) +  
# geom_col(width = 0.7)+  
theme_pubclean()
```

ou gráfico circular

```
df <- df %>%  
  arrange(desc(Escolaridade)) %>%  
  mutate(prop = round(counts*100/sum(counts), 1),  
         lab.ypos = cumsum(prop) - 0.5*prop)  
head(df, 4)  
ggplot(df, aes(x = "", y = prop, fill = Escolaridade)) +  
  geom_bar(width = 1, stat = "identity", color = "gray") +  
  geom_text(aes(y = lab.ypos, label = prop), color = "black")+  
  coord_polar("y", start = 5)+  
  ggpubr::fill_palette("lancet")+  
  theme_void()
```

Análise da variável "Qual a dimensão da sua empresa?"

```
names(dados)[names(dados) == "Qual a dimensão da sua empresa"] <- "Dimensão.Empresa"  
dados$Dimensão.Empresa<-factor(dados$Dimensão.Empresa)  
df <- dados %>%  
  group_by(Dimensão.Empresa) %>%  
  summarise(counts = n())  
df  
ggplot(df, aes(x = Dimensão.Empresa, y = counts)) +  
  geom_bar(fill = "#595959", stat = "identity") +  
  labs(y = "Número de empresas", x = "Dimensão da empresa")+  
  geom_text(aes(label = counts), vjust = -0.3) +
```

Anexo A

```
# geom_col(width = 0.7)+
theme_pubclean() +
ylim(0, 20)

# ou gráfico circular

df <- df %>%
  arrange(desc(Dimensão.Empresa)) %>%
  mutate(prop = round(counts*100/sum(counts), 1),
         lab.ypos = cumsum(prop) - 0.5*prop)
head(df, 4)
cores <- c("#3366CC", "#FF9900", "#DC3912")
ggplot(df, aes(x = "", y = prop, fill = Dimensão.Empresa)) +
  geom_bar(width = 1, stat = "identity", color = "gray") +
  geom_text(aes(y = lab.ypos, label = prop), color = "black")+
  coord_polar("y", start = 0)+
  scale_fill_manual(values = cores) +
  theme_void()

##### Análise da variável "Qual o setor de atuação da sua empresa?"
#####
names(dados)[names(dados) == "Qual o setor de atuação da sua empresa?"] <- "Setor.Atuação"
dados$Setor.Atuação<-factor(dados$Setor.Atuação)
df <- dados %>%
  group_by(Setor.Atuação) %>%
  summarise(counts = n())
df
ggplot(df, aes(x = Setor.Atuação, y = counts)) +
  geom_bar(fill = "#00468BFF", stat = "identity") +
  labs(y = "Número de empresas", x = "Sector de Atuação")+
  geom_text(aes(label = counts), vjust = -0.5) +
```

Anexo A

```
# geom_col(width = 0.9)+
theme_pubclean()

# ou gráfico circular
df <- df %>%
  arrange(desc(Setor.Atuação)) %>%
  mutate(prop = round(counts*100/sum(counts), 1),
         lab.ypos = cumsum(prop) - 0.5*prop)
head(df, 4)
cores <- c("#3366CC", "#FF9900", "#DC3912", "#0099C6", "#990099", "#109618")
ggplot(df, aes(x = "", y = prop, fill = Setor.Atuação)) +
  geom_bar(width = 1, stat = "identity", color = "gray") +
  geom_text(aes(y = lab.ypos, label = prop), color = "black")+
  coord_polar("y", start = 0)+
  scale_fill_manual(values = cores) +
  theme_void()

##### "Está familiarizado com o paradigma da Indústria 4.0?"#####
names(dados)[names(dados) == "Está familiarizado com o paradigma da Indústria 4.0?"] <-
"Familiarização.I4.0"
dados$Familiarização.I4.0<-factor(dados$Familiarização.I4.0,levels = c(1:5) )
tab<-table(dados$Familiarização.I4.0)
df<-data.frame(Familiarização.I4.0=c(1,2,3,4,5), counts=as.numeric(tab))
df
ggplot(df, aes(x = Familiarização.I4.0, y = counts)) +
  geom_bar(fill = "#00468BFF", stat = "identity") +
  labs(y = "Número de empresas", x = "Nível de familiarização com o paradigma da Indústria 4.0
")+
  geom_text(aes(label = counts), vjust = -0.5) +
  # geom_col(width = 0.9)+
  theme_pubclean()
```

Anexo A

```
# ou gráfico barras em %
df <- df %>%
  arrange(desc(Familiarização.I4.0)) %>%
  mutate(prop = round(counts*100/sum(counts), 1),
         lab.ypos = cumsum(prop) - 0.5*prop)
head(df, 5)
ggplot(df, aes(x = Familiarização.I4.0, y = prop)) +
  geom_bar(fill = "#00468BFF", stat = "identity") +
  labs(y = "Porcentagem de empresas", x = "Nível de familiarização com o paradigma da Indústria
4.0")+
  geom_text(aes(label = prop), vjust = -0.5) +
  # geom_col(width = 0.9)+
  theme_pubclean()+
  ylim(0, 50)
```

```
##### Análise da variável "Tem conhecimento sobre as tecnologias que constituem
a Indústria 4.0?" #####
```

```
dados <- data.frame(
  resposta = c("Sim", "Não"),
  porcentagem = c(86.5, 13.5)
)
```

```
#gráfico circular
ggplot(dados, aes(x = "", y = porcentagem, fill = resposta)) +
  geom_bar(width = 1, stat = "identity") +
  coord_polar("y", start = 0) +
  theme_void() +
  labs(
    title = "Conhecimento das tecnologias I4.0",
    fill = NULL
  ) +
  geom_text(aes(label = paste0(porcentagem, "%")), position = position_stack(vjust = 0.5)) +
```

```
scale_fill_manual(values = c("#E94E1B", "#00508C"))
```

```
##### Análise da variável "Quais das seguintes tecnologias da Indústria 4.0 estão  
atualmente implementadas na sua empresa? Por favor, selecione todas as opções aplicáveis."  
#####
```

```
names(dados)[names(dados) == "Quais das seguintes tecnologias da Indústria 4.0 estão  
atualmente implementadas na sua empresa? Por favor, selecione todas as opções aplicáveis.  
(Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Fonseca et al., 2021)"] <- "Tecnologias_I4.0"
```

```
dados$Tecnologias_I4.0<-factor(dados$Tecnologias_I4.0)
```

```
dados <- data.frame(
```

```
  Categoria = c("IoT", "Big Data", "Cloud Computing", "Simulação",  
               "Realidade Aumentada", "Fabrico Aditivo",  
               "Integração Horizontal e Vertical", "Robôs Autonomos",  
               "Cibersegurança", "Outro"),
```

```
  Quantidade = c(26, 18, 5, 22, 12, 16, 13, 19, 20, 4),
```

```
  Percentual = c(50, 34.6, 9.6, 42.3, 23.1, 30.8, 25, 36.5, 38.5, 7.7)
```

```
)
```

```
ggplot(dados, aes(x = Categoria, y = Quantidade)) +
```

```
  geom_bar(stat = "identity", fill = "orange", width = 0.7) +
```

```
  geom_text(aes(label = paste(Percentual, "%", sep = "")),
```

```
    vjust = 0.5, hjust = -0.1, size = 3.5, color = "black") +
```

```
  coord_flip() +
```

```
  labs(title = "", x = "", y = "Número de respondentes") +
```

```
  theme_minimal() +
```

```
  scale_x_discrete(limits = rev(dados$Categoria)) +
```

```
  scale_y_continuous(breaks = seq(0, 30, by = 10), limits = c(0, 30)) +
```

```
  theme(panel.grid.major.y = element_blank())
```

```
#####
```

```
##### Escala likert #####
```

```
library("devtools")
```

Anexo A

```
install_github("m-dev-/likert")
library("likert")

# 1.º conjunto de questões
title1 <- "Benefícios associados à implementação da Indústria 4.0"
itens1 <- dados[,11:21] # colunas 11 a 21 da excel
str(itens1)
n<-dim(itens1)[2]

etiquetas=      c("Disc.      totalmente", "Disc.      parcialmente", "Indiferente", "Conc.
parcialmente", "Conc. totalmente")

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a Vantagem Competitiva na sua
organização?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a Vantagem Competitiva na
sua organização?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 ajuda as organizações a melhorar a sua
Eficiência e Eficácia Organizacional?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 ajuda as organizações a melhorar a sua
Eficiência e Eficácia Organizacional?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a Agilidade nas Organizações?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a Agilidade nas
Organizações?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove uma maior taxa de inovação nas
organizações?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove uma maior taxa de inovação
nas organizações?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 tem impacto positivo na Rentabilidade da sua
empresas?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 tem impacto positivo na Rentabilidade
da sua empresas?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Segurança dos
produtos/serviços das organizações?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Segurança dos
produtos/serviços das organizações?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Qualidade dos
produtos/serviços das organizações?`<-
```

```
factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Qualidade dos produtos/serviços das organizações?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Satisfação do cliente?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Satisfação do cliente?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Experiência do cliente?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a melhoria da Experiência do cliente?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 Otimiza os processos/operações dentro das organizações?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 Otimiza os processos/operações dentro das organizações?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a sustentabilidade económica, ambiental e social na sua organização?`<-
  factor(itens1$`Concorda que a implementação da I4.0 promove a sustentabilidade económica, ambiental e social na sua organização?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
names(itens1) = c("Vantagem competitiva", "Promove a eficiência e eficácia",
  "Promove a agilidade",
  "Promove uma maior taxa de inovação",
  "Tem impacto positivo na rentabilidade",
  "Promove a melhoria da Segurança dos produtos/serviços",
  "Promove a melhoria da Qualidade dos produtos/serviços",
  "Promove a melhoria da satisfação do cliente",
  "Promove a melhoria da experiência do cliente",
  "Otimiza os processos/operações",
  "Promove a sustentabilidade económica, ambiental e social")
itens1<-data.frame(itens1)
itens1_likert<- likert(itens1,nlevels=5)

# tabela e gráfico
plot(itens1_likert, type = 'heat') + ggtitle(title1) +
  theme(legend.position = 'none')+
```

Anexo A

```
theme(text = element_text(size = rel(3)),axis.text.y = element_text(size = rel(3))) +
theme_update(legend.text = element_text(size = rel(0.7))) +
theme_classic()+ ggtitle(title1)

# gráfico
plot(itens1_likert, col=c("#E94E1B", "#F7AA4E", "#BEBEBE", "#6193CE", "#00508C")) +
#theme(text = element_text(size = rel(3)),axis.text.y = element_text(size = rel(3))) +
theme_update(legend.text = element_text(size = rel(0.7))) +
theme(legend.position = 'bottom')+
labs(x = "", y = "Percentagem")+ ggtitle(title1)+guides(fill=guide_legend(title=NULL))

# gráfico por gênero
dados<-data.frame(dados)
itens1_likertg <- likert(itens1, grouping=dados$Gênero)
itens1_likertgs <- likert(summary = itens1_likertg$results, grouping = itens1_likertg$results[,1])
plot(itens1_likertg, col=c("#E94E1B", "#F7AA4E", "#BEBEBE", "#6193CE", "#00508C")) +
theme(text = element_text(size = rel(2)),axis.text.y = element_text(size = rel(1))) +
theme_update(legend.text = element_text(size = rel(0.8))) +
theme(legend.position = 'bottom')+
labs(x = "", y = "Percentagem")+ ggtitle(title1)+guides(fill=guide_legend(title=NULL))

# 2.º conjunto de questões
library("devtools")
install_github("m-dev-/likert")
library("likert")
title2 <- "Desafios associados à implementação da Indústria 4.0"
itens2 <- dados[,23:30] # colunas 23 a 30 da excel
str(itens2)
n<-dim(itens2)[2]
etiquetas= c("Disc. totalmente","Disc. parcialmente","Indiferente","Conc.
parcialmente","Conc. totalmente")
```

itens2\$`Concorda que o elevado Custo de Investimento Elevado é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que o elevado Custo de Investimento Elevado é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que a Resistência à Mudança por parte dos colaboradores é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que a Resistência à Mudança por parte dos colaboradores é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que o Risco de Violação de Dados é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que o Risco de Violação de Dados é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Considera que a falta de Conhecimento e Formação sobre a I4.0 é uma barreira à adoção da mesma?`<-

factor(itens2\$`Considera que a falta de Conhecimento e Formação sobre a I4.0 é uma barreira à adoção da mesma?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que a falta de clareza quanto aos benefícios económicos associados à I4.0 é uma barreira à adoção da mesma?`<-

factor(itens2\$`Concorda que a falta de clareza quanto aos benefícios económicos associados à I4.0 é uma barreira à adoção da mesma?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que a falta de uma estratégia digital é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que a falta de uma estratégia digital é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que a escassez de recursos é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que a escassez de recursos é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens2\$`Concorda que a falta de infra-instruturas é uma barreira à adoção da I4.0?`<-

factor(itens2\$`Concorda que a falta de infra-instruturas é uma barreira à adoção da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

names(itens2) = c("Elevado Custo de Investimento", "Resistência à Mudança por parte dos colaboradores",

"Risco de Violação de Dados",

"Falta de Conhecimento e Formação sobre a I4.0",

"Falta de clareza quanto aos benefícios económicos",

"Falta de uma estratégia digital",

"Escassez de recursos",

Anexo A

```
"Falta de infra-instruturas")

itens2<-data.frame(itens2)

itens2_likert<- likert(itens2,nlevels=5)

# tabela e gráfico

plot(itens2_likert, type = 'heat') + ggtitle(title2) +
  theme(legend.position = 'none')+
  theme(text = element_text(size = rel(3)),axis.text.y = element_text(size = rel(3))) +
  theme_update(legend.text = element_text(size = rel(0.7))) +
  theme_classic()+ ggtitle(title2)

# 3.º conjunto de questões

library("devtools")

install_github("m-dev-/likert")

library("likert")

title3 <- "Factores críticos de sucesso associados à implementação da Indústria 4.0"

itens3 <- dados[,32:41] # colunas 32 a 41 da excel

str(itens3)

n<-dim(itens3)[2]

etiquetas=      c("Disc.      totalmente","Disc.      parcialmente","Indiferente","Conc.
parcialmente","Conc. totalmente")

itens3$`Concorda que o alinhamento das iniciativas da I4.0 com a estratégia da sua organização
é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

  factor(itens3$`Concorda que o alinhamento das iniciativas da I4.0 com a estratégia da sua
organização é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3$`Concorda que o envolvimento da gestão de topo para apoiar as iniciativas da I4.0 é um
FCS para a implementação da I4.0?`<-

  factor(itens3$`Concorda que o envolvimento da gestão de topo para apoiar as iniciativas da
I4.0 é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3$`Concorda que o papel dos trabalhadores é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

  factor(itens3$`Concorda que o papel dos trabalhadores é um FCS para a implementação da
I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)
```

itens3\$`Concorda que tornar os produtos/serviços inteligentes é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que tornar os produtos/serviços inteligentes é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que a digitalização da cadeia de abastecimentos é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que a digitalização da cadeia de abastecimentos é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que a digitalização de uma organização é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que a digitalização de uma organização é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que a gestão relativa à mudança é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que a gestão relativa à mudança é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que a gestão de projetos é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que a gestão de projetos é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que a gestão relativa à proteção de dados (cibersegurança) é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que a gestão relativa à proteção de dados (cibersegurança) é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

itens3\$`Concorda que sustentabilidade operacional, económica, ambiental e social é um FCS para a implementação da I4.0?`<-

factor(itens3\$`Concorda que sustentabilidade operacional, económica, ambiental e social é um FCS para a implementação da I4.0?`,levels = 1:5, labels=etiquetas)

names(itens3) = c("Alinhamento das iniciativas da I4.0 com a estratégia da sua organização",
"Envolvimento da gestão de topo",

"Papel dos trabalhadores",

"Produtos/serviços inteligentes",

"Digitalização da cadeia de abastecimentos",

"Digitalização de uma organização",

"Gestão relativa à mudança",

"Gestão de projetos",

"Gestão relativa à proteção de dados",

Anexo A

```
geom_boxplot(alpha=0.7) +  
stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +  
theme(legend.position="none") +  
scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

2.º - Testar normalidade

#Shapiro-Wilk test

#H0 : the variable follow a normal distribution

#H1 : the variable NOT follow a normal distribution

```
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$Escolaridade=="Formação em Engenharia"])
```

```
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$Escolaridade=="Formação em outra área"])
```

para os dois casos, o p-value<0,05 logo rejeita-se H0 (hipótese de normalidade)

logo vai usar-se um teste não paramétrico para ver se a escolaridade tem efeito

significativo nos valores do construto Benefícios.

Two-samples Wilcoxon test

#H0 : a distribuição dos valores do construto benefícios é igual nos dois grupos de escolaridade

#H1 : a distribuição dos valores do construto benefícios é diferente nos dois grupos de escolaridade

```
res <- wilcox.test(Benefícios ~ Escolaridade, data =dados2,exact = FALSE)
```

res

O p-value do teste é 0.6152, que é maior que o nível de significância alfa = 0,05.

Logo não é possível concluir que a escolaridade tem um efeito

estatisticamente significativo nos valores do construto Benefícios.

#####

PARA OS DESAFIOS

```
ggplot(dados2, aes(x=Escolaridade, y=Desafios, fill==Escolaridade)) +
```

```
geom_boxplot(alpha=0.7) +
stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
theme(legend.position="none") +
scale_fill_brewer(palette="Set1")
#### 2.º - Testar normalidade
#Shapiro-Wilk test
#H0 : the variable follow a normal distribution
#H1 : the variable NOT follow a normal distribution
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$Escolaridade=="Formação em Engenharia"])
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$Escolaridade=="Formação em outra área"])
# para os dois casos, o p-value>0,05 logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)
# logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a escolaridade tem efeito
# significativo nos valores do construto Desafios.
# Two-samples t-test
#H0 : médias iguais
#H1 : médias diferentes
res <- t.test(dados2$Desafios[dados2$Escolaridade=="Formação em Engenharia"],
             dados2$Desafios[dados2$Escolaridade=="Formação em outra área"])
res
# O p-value do teste é 0.3972, que é maior que o nível de significância alfa = 0,05.
# Logo não é possível concluir que a escolaridade tem um efeito
# estatisticamente significativo nos valores do construto Desafios.

#####
# PARA FCS
library(ggplot2)
ggplot(dados2, aes(x=Escolaridade, y=FCS, fill==Escolaridade)) +
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
  theme(legend.position="none") +
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

Anexo A

2.º - Testar normalidade

#Shapiro-Wilk test

#H0 : the variable follow a normal distribution

#H1 : the variable NOT follow a normal distribution

```
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$Escolaridade=="Formação em Engenharia"])
```

```
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$Escolaridade=="Formação em outra área"])
```

para os dois casos, o p-value>0,05 logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)

logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a escolaridade tem efeito

significativo nos valores do construto FCS.

Two-samples t-test

#H0 : médias iguais

#H1 : médias diferentes

```
res <- t.test(dados2$FCS[dados2$Escolaridade=="Formação em Engenharia"],
```

```
          dados2$FCS[dados2$Escolaridade=="Formação em outra área"])
```

res

O p-value do teste é 0.6886, que é maior que o nível de significância alfa = 0,05.

Logo não é possível concluir que a escolaridade tem um efeito

estatisticamente significativo nos valores do construto FCS.

#####

Análise para o fator Dimensão da Empresa

#####

#PARA OS BENEFÍCIOS

1.º - Obter gráficos

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados2, aes(x=Dimensão, y=Benefícios, fill==Dimensão)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
```

```
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
```

```
  theme(legend.position="none") +
```

```
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

```
#### 2.º - Testar normalidade
#Shapiro-Wilk test
#H0 : the variable follow a normal distribution
#H1 : the variable NOT follow a normal distribution
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$Dimensão=="Pequena ou média empresa"])
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$Dimensão=="Grande empresa"])
# para os dois casos, o p-value<0,05 logo rejeita-se H0 (hipótese de normalidade)
# logo vai usar-se um teste não paramétrico para ver se a dimensão da empresa tem efeito
# significativo nos valores do construto Benefícios.
# Two-samples Wilcoxon test
#H0 : a distribuição dos valores do construto benefícios é igual nos dois grupos de escolaridade
#H1 : a distribuição dos valores do construto benefícios é diferente nos dois grupos de
escolaridade
res <- wilcox.test(Benefícios ~ Dimensão, data =dados2,exact = FALSE)
res
# O p-value do teste é 0.1557, que é maior que o nível de significância alfa = 0,05.
# Logo não é possível concluir que a dimensão da empresa tem um efeito
# estatisticamente significativo nos valores do construto Benefícios.

#####
# PARA OS DESAFIOS
ggplot(dados2, aes(x=Dimensão, y=Desafios, fill==Dimensão)) +
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
  theme(legend.position="none") +
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
#### 2.º - Testar normalidade
#Shapiro-Wilk test
#H0 : the variable follow a normal distribution
#H1 : the variable NOT follow a normal distribution
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$Dimensão=="Pequena ou média empresa"])
```

Anexo A

```
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$Dimensão=="Grande empresa"])
# para os dois casos, o p-value>0,05 logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)
# logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a dimensão da empresa tem efeito
# significativo nos valores do construto Desafios.
# Two-samples t-test
#H0 : médias iguais
#H1 : médias diferentes
res <- t.test(dados2$Desafios[dados2$Dimensão=="Pequena ou média empresa"],
             dados2$Desafios[dados2$Dimensão=="Grande empresa"])
res
# O p-value do teste é 0.6206, que é maior que o nível de significância alfa = 0,05.
# Logo não é possível concluir que a dimensão da empresa tem um efeito
# estatisticamente significativo nos valores do construto Desafios.

#####
# PARA FCS
ggplot(dados2, aes(x=Dimensão, y=FCS, fill=Dimensão)) +
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
  theme(legend.position="none") +
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
#### 2.º - Testar normalidade
#Shapiro-Wilk test
#H0 : the variable follow a normal distribution
#H1 : the variable NOT follow a normal distribution
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$Dimensão=="Pequena ou média empresa"])
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$Dimensão=="Grande empresa"])
# para os dois casos, o p-value>0,05 logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)
# logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a dimensão da empresa tem efeito
# significativo nos valores do construto FCS
# Two-samples t-test
```

Anexo A

#H0 : médias iguais

#H1 : médias diferentes

```
res <- t.test(dados2$FCS[dados2$Dimensão=="Pequena ou média empresa"],
             dados2$FCS[dados2$Dimensão=="Grande empresa"])
```

res

O p-value do teste é 0.7528, que é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Logo não é possível concluir que a dimensão da empresa tem um efeito

estatisticamente significativo nos valores do contrato FCS.

#####

Análise para o fator Área de atuação
#####

#PARA OS BENEFÍCIOS

1.º - Obter gráficos

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados2, aes(x=A_atuação, y=Benefícios, fill==A_atuação)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
```

```
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
```

```
  theme(legend.position="none") +
```

```
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

2.º - Testar normalidade

#Shapiro-Wilk test

#H0 : the variable follow a normal distribution

#H1 : the variable NOT follow a normal distribution

```
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$A_atuação=="Industria"])
```

```
shapiro.test(dados2$Benefícios[dados2$A_atuação=="Serviços"])
```

#para a indústria, o p-value < 0,05 logo rejeita-se H0 (hipótese de normalidade)

#para o serviço, o p-value > 0,05 logo não rejeita-se H0 (hipótese de normalidade)

#Como apenas um dos grupos segue uma distribuição normal, utiliza-se um teste não paramétrico

Two-samples Wilcoxon test

Anexo A

#H0 : a distribuição dos valores do construto benefícios é igual nos dois grupos de escolaridade

#H1 : a distribuição dos valores do construto benefícios é diferente nos dois grupos de escolaridade

```
res <- wilcox.test(Benefícios ~ A_atuação, data = dados2, exact = FALSE)
```

```
res
```

O p-value do teste é 0.6462, que é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Logo não é possível concluir que a dimensão da empresa tem um efeito

estatisticamente significativo nos valores do construto Benefícios.

```
#####
```

```
# PARA OS DESAFIOS
```

```
ggplot(dados2, aes(x=A_atuação, y=Desafios, fill==A_atuação)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
```

```
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
```

```
  theme(legend.position="none") +
```

```
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

```
#### 2.º - Testar normalidade
```

```
#Shapiro-Wilk test
```

#H0 : the variable follow a normal distribution

#H1 : the variable NOT follow a normal distribution

```
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$A_atuação=="Industria"])
```

```
shapiro.test(dados2$Desafios[dados2$A_atuação=="Serviços"])
```

para os dois casos, o $p\text{-value} > 0,05$ logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)

logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a área de atuação tem efeito

significativo nos valores do construto Desafios.

```
# Two-samples t-test
```

#H0 : médias iguais

#H1 : médias diferentes

```
res <- t.test(dados2$Desafios[dados2$A_atuação=="Industria"],
```

```
             dados2$Desafios[dados2$A_atuação=="Serviços"])
```

```
res
```

Anexo A

O p-value do teste é 0.878, que é maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$.

Logo não é possível concluir que a área de atuação tem um efeito

estatisticamente significativo nos valores do construto Desafios.

```
#####
```

```
# PARA FCS
```

```
library(ggplot2)
```

```
ggplot(dados2, aes(x=A_atuação, y=FCS, fill==A_atuação)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha=0.7) +
```

```
  stat_summary(fun.y=mean, geom="point", shape=20, size=10, color="red", fill="red") +
```

```
  theme(legend.position="none") +
```

```
  scale_fill_brewer(palette="Set1")
```

```
#### 2.º - Testar normalidade
```

```
#Shapiro-Wilk test
```

```
#H0 : the variable follow a normal distribution
```

```
#H1 : the variable NOT follow a normal distribution
```

```
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$A_atuação=="Industria"])
```

```
shapiro.test(dados2$FCS[dados2$A_atuação=="Serviços"])
```

```
# para os dois casos, o p-value > 0,05 logo não se rejeita H0 (hipótese de normalidade)
```

```
# logo vai usar-se um teste paramétrico para ver se a área de atuação tem efeito
```

```
# significativo nos valores do construto das FCS.
```

```
# Two-samples t-test
```

```
#H0 : médias iguais
```

```
#H1 : médias diferentes
```

```
res <- t.test(dados2$FCS[dados2$A_atuação=="Industria"],
```

```
             dados2$FCS[dados2$A_atuação=="Serviços"])
```

```
res
```

```
# O p-value do teste é 0.3098, que é maior que o nível de significância  $\alpha = 0,05$ .
```

```
# Logo não é possível concluir que a área de atuação tem um efeito
```

```
# estatisticamente significativo nos valores do construto FCS.
```

```
#####
```

