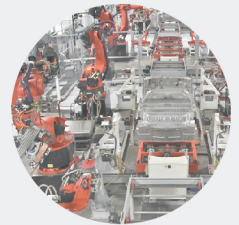
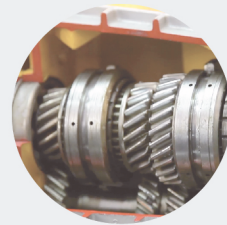




## **Implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 em Pequenas e Médias Empresas (PMEs)**

**CATARINA ISABEL SOUSA MAGALHÃES**

outubro de 2025



## **Implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 em Pequenas e Médias Empresas (PMEs)**

**CATARINA ISABEL SOUSA MAGALHÃES**

Setembro de 2025

# **IMPLEMENTAÇÃO DA INDÚSTRIA 5.0 E QUALIDADE 5.0 EM PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS (PMES)**

**Catarina Isabel Sousa Magalhães**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial**

**Orientador: Doutor José Carlos Vieira de Sá, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Politécnico do Porto**

**Coorientador: Doutora Vanda Marlene Monteiro Lima, Professora Coordenadora, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico do Porto**

**Júri:**

Presidente:

Doutora Susana Claudia Nicola de Araujo, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto, do Politécnico do Porto

Vogais:

Doutor José Machado, Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

Doutor José Carlos Vieira de Sá, Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto, do Politécnico do Porto

Porto, setembro 2025



# Resumo

Nas últimas décadas, o ambiente empresarial tem sido moldado por mudanças constantes devido ao avanço tecnológico e à inovação, exigindo que as organizações se adaptem rapidamente para manter a sua competitividade.

Este estudo foi orientado pela seguinte questão de investigação: Como é que a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho das Pequenas e Médias empresas (PMEs) em Portugal? Para responder a esta questão, foi desenvolvido um modelo concetual fundamentado na literatura, que relaciona estes construtos, e testou-se um conjunto de hipóteses através do Modelo de Equações Estruturais (SEM).

A análise empírica baseou-se num questionário a PMEs portuguesas de diversos setores industriais. Do total de 35.691 organizações, foram recolhidas 468 respostas, das quais 439 foram consideradas válidas. Os resultados finais obtidos sugerem que a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 não depende apenas da utilização de tecnologias emergentes, mas sobretudo da integração destas em práticas organizacionais centradas no ser humano e na sustentabilidade. Além disso, confirmou-se que a implementação da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 contribui positivamente para o desempenho operacional, financeiro, social e ambiental das PMEs.

Esta dissertação contribui para o discurso académico ao fornecer uma visão integrada de como a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0 podem ser operacionalizadas nas PMEs portuguesas, evidenciando os fatores críticos para a sua adoção e os impactos no desempenho organizacional, ao mesmo tempo que oferece diretrizes para as organizações que pretendem implementar estas abordagens de forma sustentável e centrada no ser humano.

**Palavras-chave:** Indústria 5.0, Qualidade 5.0, Qualidade, PME, Desempenho Organizacional



# Abstract

In recent decades, the business environment has been shaped by constant changes driven by technological advances and innovation, requiring organisations to adapt rapidly in order to remain competitive.

This study was guided by the following research question: How does Industry 5.0 influence the adoption of Quality 5.0 practices, and how do these, together, contribute to the performance of Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) in Portugal? To address this question, a conceptual model grounded in the literature was developed, linking these constructs, and a set of hypotheses was tested using Structural Equation Modelling (SEM).

The empirical analysis was based on a questionnaire of Portuguese SMEs across various industrial sectors. Out of a total of 35,691 organisations, 468 responses were collected, of which 439 were deemed valid. The results suggest that the adoption of Industry 5.0 and Quality 5.0 does not rely solely on the use of emerging technologies, but primarily on their integration into organisational practices centred on humans and sustainability. Moreover, it was confirmed that the implementation of Industry 5.0 and Quality 5.0 positively contributes to the operational, financial, social, and environmental performance of SMEs.

This dissertation contributes to the academic discourse by providing an integrated perspective on how Industry 5.0 and Quality 5.0 can be operationalised in Portuguese SMEs, highlighting the critical factors for their adoption and their impacts on organisational performance, while also offering guidance for organisations seeking to implement these approaches in a sustainable and human-centred manner.

**Keywords:** Industry 5.0, Quality 5.0, Quality, SME, Organisational Performance



# Agradecimentos

Com este trabalho concluo uma das etapas mais importantes da minha vida e não poderia deixar de agradecer a todas as pessoas que me acompanharam ao longo deste percurso.

Em primeiro lugar, expresso a minha gratidão ao Professor José Carlos Vieira de Sá e à Professora Vanda Lima, pelo acompanhamento e conhecimento transmitido ao longo da realização desta dissertação.

Ao Pedro, agradeço todo o carinho, compreensão e incentivo constante, que foram fundamentais para ultrapassar os momentos mais desafiantes deste percurso. A tua companhia tornou este e todos os caminhos mais leves e gratificantes.

À minha família, pela motivação e apoio incondicional, sem os quais nada teria sido possível.

À minha irmã, pela paciência, pelos melhores conselhos e por estar sempre presente em todas as etapas. *You're my muse.*

A todos, deixo o meu mais sincero Obrigada.



# Índice

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Lista de Figuras</b> .....   | <b>xi</b>   |
| <b>Lista de Tabelas</b> .....   | <b>xiii</b> |
| <b>Acrónimos e Siglas</b> .....   | <b>xv</b>   |
| <b>1 Introdução</b> .....   | <b>1</b>    |
| 1.1 Problema de investigação, enquadramento e pertinência .....                           | 1           |
| 1.2 Questão e objetivos de investigação .....   | 2           |
| 1.3 Opções metodológicas .....  | 3           |
| 1.4 Estrutura do trabalho .....   | 4           |
| <b>2 Revisão Bibliográfica</b> .....  | <b>5</b>    |
| 2.1 Caracterização das publicações selecionadas nas bases de dados .....                  | 5           |
| 2.2 Pequenas e Médias Empresas (PMEs) .....   | 7           |
| 2.2.1 As Pequenas e Médias Empresas em Portugal .....                                     | 8           |
| 2.3 Indústria 4.0 e Qualidade 4.0: O Marco Evolutivo .....                                | 9           |
| 2.3.1 Evolução e Caracterização da Indústria 4.0 .....                                    | 9           |
| 2.3.2 Princípios da Indústria 4.0 .....   | 11          |
| 2.3.3 Principais Tecnologias da Indústria 4.0 .....                                       | 13          |
| 2.3.4 A Qualidade 4.0 .....   | 16          |
| 2.3.5 Evolução do Conceito e Eras da Qualidade .....                                      | 17          |
| 2.3.6 Práticas da Qualidade 4.0 .....   | 19          |
| 2.4 Transição para a Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 .....                                  | 20          |
| 2.4.1 Caracterização da Indústria 5.0 .....   | 20          |
| 2.4.2 Principais Valores da Indústria 5.0 .....   | 21          |
| 2.4.3 Tecnologias impulsionadoras da Indústria 5.0 .....                                  | 22          |
| 2.4.4 Qualidade 5.0: Uma nova abordagem para a Gestão da Qualidade .....                  | 25          |
| 2.4.5 Contributo das Tecnologias da Indústria 5.0 para as Práticas da Qualidade 5.0 ..... | 27          |
| 2.5 A Indústria 5.0 (I5.0) e a Qualidade 5.0 (Q5.0) nas PMEs .....                        | 28          |
| 2.5.1 Desafios e Barreiras da adoção da I5.0 e Q5.0 nas PMEs .....                        | 28          |
| 2.5.2 Benefícios da implementação da I5.0 e Q5.0 nas PMEs .....                           | 30          |
| 2.6 Análise Crítica da Revisão Bibliográfica .....  | 32          |
| <b>3 Modelo de Investigação</b> .....   | <b>35</b>   |
| 3.1 Relação entre Indústria 5.0, Tecnologias da I5.0 e Qualidade 5.0 .....                | 35          |
| 3.2 Características das PMEs .....  | 38          |
| 3.3 Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental .....                          | 39          |
| 3.4 Modelo Concetual .....  | 40          |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>Metodologia de Investigação</b>                                   | <b>43</b>  |
| 4.1      | Estrutura do questionário e validação                                | 43         |
| 4.2      | Descrição das Variáveis Operacionais                                 | 45         |
| 4.3      | Recolha de Dados e Caracterização da Amostra                         | 46         |
| <b>5</b> | <b>Análise dos Dados da Amostra</b>                                  | <b>49</b>  |
| 5.1      | Perfil demográfico e caracterização das organizações                 | 49         |
| 5.2      | Caracterização do inquirido  | 52         |
| 5.3      | Análise descritiva dos construtos                                    | 56         |
| 5.4      | Análise dos Dados  | 59         |
| 5.4.1    | Missing Data   | 59         |
| 5.4.2    | Outliers   | 62         |
| 5.4.3    | Avaliação da Normalidade   | 63         |
| 5.5      | Fiabilidade e unidimensionalidade das variáveis latentes             | 64         |
| <b>6</b> | <b>Modelo de Equações Estruturais</b>                                | <b>69</b>  |
| 6.1      | Modelo de Medida   | 69         |
| 6.2      | Modelo Estrutural  | 83         |
| <b>7</b> | <b>Discussão de Resultados</b>                                       | <b>87</b>  |
| <b>8</b> | <b>Conclusão</b>   | <b>91</b>  |
| 8.1      | Conclusões Finais  | 91         |
| 8.2      | Contributos do Estudo  | 92         |
| 8.3      | Limitações e Sugestões de Pesquisa Futura                            | 92         |
|          | <b>Referências</b>   | <b>95</b>  |
|          | <b>Apêndice I - Questionário</b>                                     | <b>114</b> |
|          | <b>Apêndice II - Tabela de Metodologia</b>                           | <b>123</b> |
|          | <b>Apêndice III - Avaliação da Normalidade (Kurtosis e Skewness)</b> | <b>124</b> |

# Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Evolução dos estudos (elaboração do autor) .....   | 7  |
| Figura 2 – Evolução do número de PME's em Portugal entre 2008 e 2023 (PORDATA, 2024) ....                               | 8  |
| Figura 3 – Os 9 pilares tecnológicos da I4.0, adaptado por Kumar et al. (2020), de acordo com Kerin & Pham (2019) ..... | 13 |
| Figura 4 – Tecnologias chave da Indústria 5.0. Adaptado de Maddikunta et al. (2022).....                                | 24 |
| Figura 5 – Modelo Conceitual .....  | 40 |
| Figura 6 – Perfil demográfico das organizações.....   | 50 |
| Figura 7 – Setor de atividade das organizações .....  | 51 |
| Figura 8 – Idade das organizações .....   | 52 |
| Figura 9 – Classificação das PME's .....  | 52 |
| Figura 10 – Posição ocupada pelo inquirido na organização .....   | 53 |
| Figura 11 – Habilitações académicas do inquirido.....   | 53 |
| Figura 12 – Tempo de trabalho dos inquiridos na organização .....   | 53 |
| Figura 13 – Grau de familiaridade dos valores da Indústria 5.0 .....  | 54 |
| Figura 14 – Grau de familiaridade das tecnologias da Indústria 5.0 (parte1).....  | 55 |
| Figura 15 – Grau de familiaridade das tecnologias da Indústria 5.0 (parte 2).....                                       | 55 |
| Figura 16 – Caracterização da variabilidade das médias da amostra em estudo .....                                       | 59 |
| Figura 17 – Modelo de medida (original).....  | 71 |
| Figura 18 – Reespecificação do modelo de medida.....  | 78 |
| Figura 19 – Modelo estrutural .....   | 84 |



# Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Critérios de inclusão para a seleção de publicações .....  | 6  |
| Tabela 2 – Características de uma PME, adaptado de European Commission (2003) .....   | 7  |
| Tabela 3 – Contributo das Tecnologias da Indústria 5.0 na adoção da Qualidade 5.0 .....   | 27 |
| Tabela 4 - Desafios e Barreiras da Implementação da I5.0 e Q5.0 nas PMEs .....  | 29 |
| Tabela 5 – Benefícios da Implementação da I5.0 E Q5.0 nas PMEs.....   | 30 |
| Tabela 6 – Barreiras à adoção da Indústria 5.0 nas PMEs .....   | 38 |
| Tabela 7 – Análise estatística das variáveis.....   | 56 |
| Tabela 8 – Estatística descritiva após imputação dos valores em falta .....   | 60 |
| Tabela 9 – Resultados do teste de KMO, teste de esfericidade de Bartlett e alfa de Cronbach .....                                 | 65 |
| Tabela 10 – Análise de Componentes Principais .....   | 66 |
| Tabela 11 – Estatísticas e Índices de qualidade de ajustamento, com respetivos valores de referência (Marôco, 2021a, p. 55) ..... | 72 |
| Tabela 12 – Qualidade global de ajustamento do modelo de medida original .....  | 73 |
| Tabela 13 – Fiabilidade das variáveis observadas e latentes do modelo de medida original ...                                      | 74 |
| Tabela 14 – Validade Discriminante – modelo de medida original .....  | 77 |
| Tabela 15 – Qualidade global de ajustamento após a reespecificação do modelo de medida.   | 79 |
| Tabela 16 – Fiabilidade das variáveis observadas e latentes – reespecificação do modelo de medida .....                           | 80 |
| Tabela 17 – Validade discriminante – reespecificação do modelo de medida.....   | 82 |
| Tabela 18 – Qualidade global de ajustamento do modelo estrutural .....  | 85 |
| Tabela 19 – Estimativas do modelo estrutural.....   | 85 |
| Tabela 20 – Resultados do teste de hipóteses.....   | 85 |



# Acrónimos e Siglas

## Lista de Acrónimos e Siglas

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>AM</b>            | <i>Additive Manufacturing</i>                          |
| <b>AI5.0</b>         | Adoção da Indústria 5.0                                |
| <b>AQ5.0</b>         | Adoção da Qualidade 5.0                                |
| <b>AVE</b>           | Variância Média Extraída                               |
| <b>CAE</b>           | Código de Atividade Económica                          |
| <b>CFA</b>           | Análise Fatorial Confirmatória                         |
| <b>CFI</b>           | <i>Comparative Fit Index</i>                           |
| <b>CLPs</b>          | Controladores Lógicos Programáveis                     |
| <b>CPME</b>          | Características das PMEs                               |
| <b>CPS</b>           | Sistemas Ciberfísicos                                  |
| <b>CR</b>            | <i>Construct Reliability</i>                           |
| <b>CSR</b>           | Responsabilidade Social Corporativa                    |
| <b>D<sup>2</sup></b> | Distância de <i>Mahalanobis</i>                        |
| <b>DESI</b>          | <i>Digital Economy and Society Index</i>               |
| <b>DESP</b>          | Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental |
| <b>DPO</b>           | <i>Data Protection Office</i>                          |
| <b>EC</b>            | <i>Edge Computing</i>                                  |
| <b>EFA</b>           | Análise Fatorial Exploratória                          |
| <b>ESG</b>           | Ambiente, Social e Governança                          |
| <b>GFI</b>           | <i>Goodness of Fit Index</i>                           |
| <b>gl</b>            | Graus de liberdade                                     |
| <b>I4.0</b>          | Indústria 4.0  |
| <b>I5.0</b>          | Indústria 5.0  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>IA</b>             | Inteligência Artificial                                   |
| <b>ICT</b>            | Tecnologias de Informação e Comunicação                   |
| <b>IM</b>             | Índices de Modificação                                    |
| <b>IoE</b>            | <i>Internet of Everthing</i>                              |
| <b>IoS</b>            | <i>Internet of Systems</i>                                |
| <b>IoT</b>            | <i>Internet of Things</i>                                 |
| <b>ISEP</b>           | Instituto Superior de Engenharia do Porto                 |
| <b>IT</b>             | Tecnologias de Informação                                 |
| <b>KMO</b>            | <i>Kaiser-Meyer-Olkin</i>                                 |
| <b>Ku</b>             | Curtose univariado  |
| <b>Ku<sub>M</sub></b> | Curtose multivariado                                      |
| <b>ML</b>             | Máxima Verossimilhança                                    |
| <b>MVN</b>            | Normalidade Multivariada                                  |
| <b>NFI</b>            | <i>Normed Fit Index</i>                                   |
| <b>ODS</b>            | Objetivos Desenvolvimento Sustentável                     |
| <b>P.Porto</b>        | Instituto Politécnico do Porto                            |
| <b>PCA</b>            | Análise de Componentes Principais                         |
| <b>PCFI</b>           | <i>Parsimony-adjusted CFI</i>                             |
| <b>PDCA</b>           | <i>Plan, Do, Check, Act</i>                               |
| <b>PDs</b>            | Princípios de Design                                      |
| <b>PGFI</b>           | <i>Parsimony-adjusted GFI</i>                             |
| <b>PIB</b>            | Produto Interno Bruto                                     |
| <b>PME</b>            | Micro, Pequena e Média Empresa ou Pequena e Média Empresa |
| <b>PPC</b>            | Planeamento e Controlo da Produção                        |
| <b>PSOC</b>           | Práticas Sociais  |
| <b>PTEC</b>           | Práticas Técnicas   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Q4.0</b>                | Qualidade 4.0  |
| <b>Q5.0</b>                | Qualidade 5.0  |
| <b>R<sup>2</sup></b>       | <i>Squared standardised loadings</i>                                   |
| <b>RA</b>                  | Realidade Aumentada  |
| <b>RGPD</b>                | Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados                            |
| <b>RMSA</b>                | <i>Root Mean Square Error of Approximation</i>                         |
| <b>ROI</b>                 | Retorno sobre o Investimento   |
| <b>RV</b>                  | Realidade Virtual  |
| <b>SEM</b>                 | <i>Structural Equation Modelling</i> ou Modelo de Equações Estruturais |
| <b>Sk</b>                  | Assimetria univariada  |
| <b>SQC</b>                 | Controlo Estatístico da Qualidade                                      |
| <b>SRW</b>                 | <i>Standardized Regression Weights</i>                                 |
| <b>STS</b>                 | Modelo Sociotécnico  |
| <b>TLI</b>                 | <i>Tucker-Lewis Index</i>  |
| <b>TQM</b>                 | <i>Total Quality Management</i>  |
| <b>UE</b>                  | União Europeia   |
| <b>UT5.0</b>               | Uso de Tecnologias da Indústria 5.0                                    |
| <b>VHCN</b>                | Redes de capacidade muito elevada                                      |
| <b><math>\chi^2</math></b> | <i>Chi-squared</i>   |



# 1 Introdução

A introdução a este trabalho estrutura-se em três secções principais. Em primeiro lugar, será apresentado o enquadramento e pertinência do tema, destacando a importância da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 no contexto empresarial atual, bem como a relevância deste estudo para Portugal. De seguida, será formulada a questão de investigação que orienta o presente trabalho, acompanhada do objetivo geral e dos objetivos específicos que se pretendem alcançar. Posteriormente, serão descritas as opções metodológicas, detalhando a abordagem adotada para conduzir a investigação e justificar as escolhas feitas ao longo do estudo. Por fim, será apresentada a estrutura do trabalho.

## 1.1 Problema de investigação, enquadramento e pertinência

Nas últimas décadas, o panorama empresarial tem sido moldado por mudanças constantes e transformações profundas, impulsionadas pelo rápido avanço tecnológico e pela inovação nos processos produtivos (Ingaldi & Ulewicz, 2020). Este cenário exige que as organizações se adaptem rapidamente para manterem a sua competitividade (Ingaldi & Ulewicz, 2020). A Indústria 4.0, associada à Quarta Revolução Industrial, destacou-se como um dos conceitos mais promissores para impulsionar a industrialização e fortalecer a competitividade, especialmente nos países da União Europeia (Prause & Atari, 2017). Contudo, a crescente necessidade de personalização em massa, sustentabilidade e valorização do fator humano levou ao surgimento de um novo paradigma industrial, a Indústria 5.0 (I5.0), que promove uma abordagem mais humanizada, resiliente e sustentável da produção (Breque et al., 2021; Maljugić et al., 2024; Masoomi et al., 2023).

Neste contexto, a Qualidade 5.0 surge como resposta à necessidade de alinhar os sistemas de gestão da qualidade com os valores da Indústria 5.0, promovendo a integração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial (IA), *machine learning* e *Internet of Things* (IoT), com práticas centradas no ser humano e na sustentabilidade (Ali & Johl, 2024; Frick & Grudowski, 2023). Esta nova abordagem da qualidade permite uma atuação mais proativa na deteção de

falhas e ineficiências, melhorando significativamente os processos e os resultados organizacionais (Frick & Grudowski, 2023).

Apesar das oportunidades significativas associadas à adoção da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0, como a redução de custos, diminuição de defeitos e aumento da eficiência operacional (Ben-Daya et al., 2017; Skare et al., 2023; Wan & Leirimo, 2023), a transição para este paradigma apresenta desafios significativos, sobretudo para as pequenas e médias empresas (PMEs).

No contexto europeu, a União Europeia (UE) tem promovido iniciativas e investimentos significativos para apoiar a digitalização industrial, fortalecer a competitividade global e apoiar a colaboração homem-máquina. Por exemplo, Portugal tem vindo a acompanhar a transição para a Indústria 5.0 através de iniciativas como o “Portugal Industrial 5.0”, que visam acelerar a transformação digital e preparar as empresas para a colaboração homem-máquina (AEP, 2020). No entanto, as PMEs continuam a enfrentar barreiras significativas na implementação destas metodologias. Estudos indicam que estas barreiras incluem a escassez de recursos financeiros e humanos, falta de conhecimento técnico e resistência à mudança organizacional, colocando as PMEs em desvantagem face às grandes empresas, que dispõem de estruturas mais bem preparadas para essa transformação (Bourdin et al., 2024; Frick & Grudowski, 2023; Laddha & Agrawal, 2024; Lazzaris et al., 2022; Mittal et al., 2018; Xu et al., 2021). A este respeito, as PMEs requerem suporte, conhecimento e formação para desenvolver essas habilidades de forma eficiente (Türkeş et al., 2019). Além disso, as barreiras à implementação variam substancialmente entre países, sendo moldadas por fatores culturais, económicos, tecnológicos e políticos (Orzes et al., 2018).

Em síntese, a relevância deste estudo reside na necessidade de compreender como é que a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho das PMEs portuguesas, um tema ainda pouco explorado na literatura académica.

## **1.2 Questão e objetivos de investigação**

Mediante a descrição do problema anteriormente enunciado, este estudo procura responder à seguinte questão de investigação: *Como é que a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho das PMEs em Portugal?*

Desta forma, procura-se analisar de que modo as Pequenas e Médias Empresas (PMEs), em Portugal, estão a integrar os princípios e tecnologias emergentes da Indústria 5.0 e como estas impactam a adoção de práticas no âmbito da Qualidade 5.0. Pretende-se ainda compreender de que forma a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0 contribuem para o desempenho organizacional, assim como identificar os fatores que influenciam mais fortemente a adoção destas abordagens. Nesse sentido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Explorar, através de uma revisão de literatura, os fundamentos teóricos da Indústria 5.0, Qualidade 5.0, e o seu impacto nas PMEs;
- Analisar de que forma os princípios e tecnologias da Indústria 5.0 influenciam a adoção de práticas associadas à Qualidade 5.0;
- Identificar as relações entre os princípios e tecnologias emergentes da Indústria 5.0, as práticas da Qualidade 5.0 e os fatores que influenciam a sua adoção nas PMEs;
- Analisar criticamente os fatores que moldam estas relações, de modo a compreender quais os elementos que mais influenciam a adoção destas práticas nas PMEs, permitindo refletir sobre a sua aplicabilidade e adaptação no contexto português;
- Desenvolver um modelo conceitual;
- Recolher os dados através de um questionário enviado às organizações portuguesas;
- Análise estatística dos dados e elaboração das respetivas conclusões relativamente ao modelo estrutural e testes de hipóteses.

### 1.3 Opções metodológicas

Para concretizar estes objetivos, a presente dissertação adotará uma abordagem metodológica de natureza quantitativa. Segundo Kahle & Malhotra (1994), a abordagem quantitativa permite quantificar fenómenos e generalizar os resultados da amostra para a população alvo, sendo essencial para a identificação de padrões e tendências relevantes do fenómeno em estudo.

De acordo com Freixo (2013), um inquérito é um instrumento valioso para confirmar hipóteses de investigação, permitindo uma análise estatística rigorosa e fundamentada. Assim, o instrumento principal de recolha de dados será um inquérito por questionário aplicado a uma amostra de PMEs portuguesas. A seleção das empresas será realizada através do método de amostragem casual por conveniência devido à acessibilidade e à viabilidade que este método proporciona. Este método permite aos investigadores utilizarem uma amostra prontamente disponível e de fácil acesso, sendo aplicável a praticamente qualquer investigação (Golzar & Tajik, 2022).

Posteriormente, os dados recolhidos serão analisados com recurso ao *Structural Equation Modelling* (SEM), uma técnica estatística sofisticada que permite compreender a estrutura e as interações entre variáveis observadas e fenómenos latentes, testando relações complexas entre os construtos definidos no modelo teórico (Tarka, 2018). Por fim, esta abordagem metodológica garante que os resultados obtidos são teoricamente fundamentados e empiricamente validados, oferecendo contributos valiosos para estudos académicos e recomendações práticas alinhadas às necessidades específicas das PMEs em estudo.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está organizada em oito capítulos. O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde são apresentados o contexto, a questão de investigação, os objetivos e a metodologia. O segundo capítulo, dedica-se à revisão bibliográfica, estruturada em seis subcapítulos: i) metodologia utilizada para a seleção das publicações consultadas; ii) revisão da literatura sobre as Pequenas e Médias Empresas; iii) análise da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0 como marco evolutivo; iv) transição para a Indústria 5.0 e Qualidade 5.0; v) abordagem da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 no contexto das Pequenas e Médias Empresas; e vi) principais conclusões retiradas da revisão bibliográfica.

O terceiro capítulo descreve o modelo concetual proposto, bem como o enquadramento teórico que sustenta as hipóteses formuladas. Posteriormente, o quarto capítulo detalha a metodologia de investigação, incluindo a estrutura e validação do inquérito por questionário, a descrição das variáveis operacionais do modelo, o processo de recolha de dados e a caracterização da amostra.

O quinto capítulo, intitulado Análise dos dados da amostra, apresenta os resultados relativos ao perfil demográfico e à caracterização das organizações e dos inquiridos. Segue-se a análise estatística das variáveis e construtos e a análise dos dados, que abordou os *missing data*, a identificação de *outliers* e a avaliação da normalidade.

O sexto capítulo apresenta as opções adotadas para avaliar o ajustamento do modelo de medida e do modelo estrutural, de forma a testar as hipóteses formuladas. De seguida, o sétimo capítulo discute os resultados obtidos.

Por fim, a dissertação termina com o oitavo capítulo, reunindo as conclusões, contribuições, limitações do estudo e sugestões para futuras investigações.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo, será apresentada a revisão da literatura relevante para o tema da investigação, com base em estudos e publicações científicas selecionadas pela sua pertinência e contributo teórico. Inicialmente, procede-se à contextualização das Micro, Pequenas e Médias Empresas (PMEs), com uma breve análise da realidade empresarial portuguesa. De seguida, são explorados os conceitos de Indústria 4.0 e Qualidade 4.0, enquanto base evolutiva que sustenta o paradigma atual. Posteriormente, analisa-se a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0, com foco nos seus princípios, ferramentas e implicações práticas. Por fim, discute-se a aplicação destas abordagens no contexto das PMEs, destacando os principais desafios e benefícios associados à sua implementação.

### 2.1 Caracterização das publicações selecionadas nas bases de dados

Com o objetivo de compreender a evolução do conhecimento científico sobre a Indústria 5.0, a Qualidade 5.0 e a sua aplicação em Pequenas e Médias Empresas, foi realizada uma pesquisa bibliográfica estruturada na base de dados científica *Web of Science*. As publicações foram pesquisadas por tópico, isto é, os termos foram procurados no título, resumo, palavras-chave do autor e “keywords plus” das publicações.

Devido à escassez de publicações que relacionem diretamente os três conceitos (Indústria 5.0, Qualidade 5.0 e PMEs), optou-se por pesquisar essas palavras-chave de forma individual: “Industry 5.0”, “Quality 5.0” e “SMEs” (incluindo também os termos “Small and Medium Enterprises”, “Portugal”) e considerou-se o período entre 2010 e 2025.

Após a leitura dos resumos, verificou-se que grande parte dos estudos que abordam a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0 estabelecem uma ligação com aos fundamentos da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0, evidenciando a importância destes paradigmas como base evolutiva. Assim, a revisão de literatura foi organizada em quatro secções temáticas: (i) caracterização das PMEs,

em particular no contexto português; (ii) evolução e caracterização da Indústria 4.0 e Qualidade 4.0; (iii) transição para a Indústria 5.0 e Qualidade 5.0; (iv) desafios, barreiras e benefícios da sua adoção nas PMEs.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos critérios aplicados na seleção das publicações.

Tabela 1 – Critérios de inclusão para a seleção de publicações

| TEMA  | PALAVRAS-CHAVE  | PERÍODO   | TIPO DE DOCUMENTO  | LÍNGUA             |
|-------|---|-----------|--|--------------------|
| (I)   | "SMEs", "Small and Medium Enterprises", "Portugal"  | -         | Artigos, relatórios, publicações e documentos institucionais | Português e Inglês |
| (II)  | "Industry 4.0" OR "Quality 4.0" OR "digital transformation"   | 2010–2025 | Artigos e <i>Proceeding Paper</i>                            | Inglês             |
| (III) | "Industry 5.0" OR "Quality 5.0" OR "Human-centric"  | 2010–2025 | Artigos e <i>Proceeding Paper</i>                            | Inglês             |
| (IV)  | ("Industry 5.0" OR "Quality 5.0) AND "SMEs" AND ("barriers" OR "benefits" OR "drivers" OR "adoption") | 2010-2025 | Artigos e <i>Proceeding Paper</i>                            | Inglês             |

A seleção final dos documentos não se baseou num número fixo de resultados retornados pela base de dados, mas sim numa análise qualitativa dos resumos dos artigos, a partir da qual foram escolhidas as publicações mais adequadas aos objetivos do estudo. Complementarmente, e sempre que necessário, recorreu-se a pesquisas adicionais, como relatórios técnicos, documentos institucionais, páginas web de organizações e a documentos obtidos através da pesquisa por citação e consulta direta a autores. Neste sentido, a *Web of Science* e o *Google Scholar* foram ainda utilizados para complementar tópicos específicos ao longo da revisão de literatura.

Em síntese, a revisão identificou um número significativo de publicações sobre a Indústria 4.0 e Qualidade 4.0, refletindo o crescente interesse académico por estas temáticas. Como se observa na Figura 1, a evolução das publicações ao longo do período analisado demonstra um aumento significativo a partir de 2021, nas áreas da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0. Por outro lado, a literatura existente sobre estes paradigmas, sobretudo no contexto das PMEs, revela-se ainda incipiente, o que sustenta a atualidade e a relevância do presente estudo.

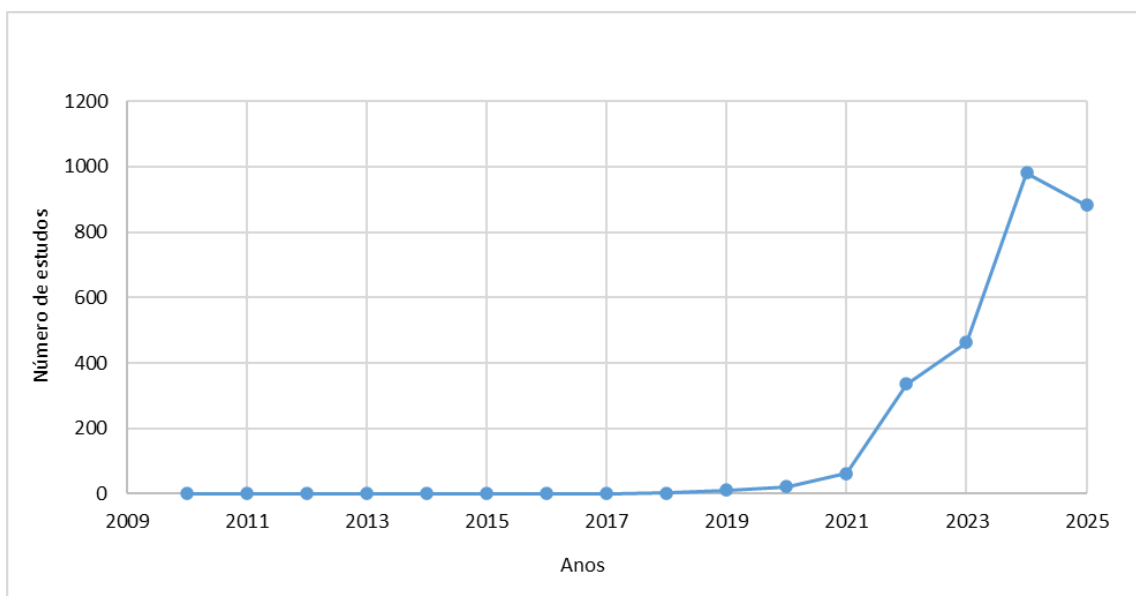


Figura 1 – Evolução dos estudos (elaboração do autor)

## 2.2 Pequenas e Médias Empresas (PMEs)

Na União Europeia (UE), as empresas são classificadas como micro, pequenas e médias empresas com base no número de colaboradores e indicadores financeiros como o volume de negócios anual e o balanço total anual, tal como ilustrado na Tabela 2 (European Commission, 2003).

Tabela 2 – Características de uma PME, adaptado de European Commission (2003)

| Categoria da Empresa | Nº de Funcionários | Volume de Negócios Anual | Balanço Total Anual   |
|----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Micro</b>         | <10                | ≤ 2 milhões de euros     | ≤ 2 milhões de euros  |
| <b>Pequena</b>       | <50                | ≤ 10 milhões de euros    | ≤ 10 milhões de euros |
| <b>Média</b>         | <250               | ≤ 50 milhões de euros    | ≤ 43 milhões de euros |

As PMEs representam 99 % das empresas na União Europeia, sendo a espinha dorsal da economia europeia e as principais contribuintes para o crescimento industrial nas economias em desenvolvimento em todo o mundo (Dannreuther, 2007; European Union, 2022; Kumar et al., 2020). Estas empresas empregam mais de 100 milhões de pessoas, fornecendo dois em cada três empregos e contribuem significativamente para mais de metade do produto interno bruto (PIB) europeu (European Union, 2022).

Em 2023, segundo Almeida (2024), as 246 mil médias empresas da UE empregavam 24,5 milhões de pessoas (15% do total da força de trabalho) e geravam aproximadamente 6,5 mil milhões de euros em volume de negócios, correspondendo a um quinto do volume total

Europeu. Segundo o mesmo estudo, ao todo, a UE contava com 32,4 milhões de PME, que empregavam 80,1 milhões de pessoas (50% do total da força de trabalho) e geravam um volume de negócios de 12,2 mil milhões de euros, representando um terço do total europeu.

### 2.2.1 As Pequenas e Médias Empresas em Portugal

As PME representam o pilar da economia portuguesa. Segundo os dados do PORDATA (2024), em 2023 existiam 1.508.724 PME em Portugal (+5,1% face a 2021), correspondendo a 99,9% do tecido empresarial nacional. Destas, 96% correspondem a microempresas, 3,3% a pequenas empresas e apenas 0,6% a médias empresas. Em 2022, estas empresas geraram um volume de negócios total de aproximadamente 308 mil milhões de euros, registando um acréscimo de 17,4% em relação a 2021, demonstrando a recuperação económica e o fortalecimento das PME no período pós-pandemia (PORDATA, 2023b).

A Figura 2 ilustra a evolução do número de PME em Portugal entre 2008 e 2023. Durante este período, verificou-se uma redução no número de empresas, em grande parte devido aos efeitos da crise financeira e da dívida pública. No entanto, a partir de 2013, ocorreu uma recuperação progressiva, com um crescimento contínuo até 2023, revelando a resiliência das PME face às adversidades económicas (Caldas, 2012; Martins & Santos, 2012).

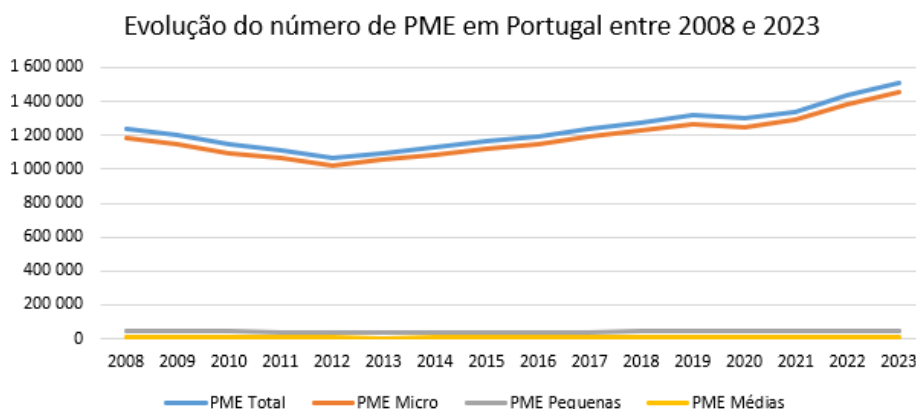


Figura 2 – Evolução do número de PME em Portugal entre 2008 e 2023 (PORDATA, 2024)

Em termos setoriais, os setores com maior representação entre as PME em 2022 foram o setor de Comércio por grosso e a retalho, com 216.898 empresas, representando 36% do total, o setor de Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca, com 123.325 empresas e o setor de turismo com 118.562 empresas (PORDATA, 2023a). Por outro lado, setores como as Indústrias extrativas (1.005 empresas) e Eletricidade, gás e água (7.445 empresas) são os com o menor número de PME (PORDATA, 2023a).

Com o significativo apoio de fundos europeus, Portugal tem vindo a reforçar o seu investimento na digitalização como forma de aumentar a produtividade, a competitividade e a resiliência da sua economia (European Commission, 2024, p. 8). No entanto, persistem desafios. Segundo o *Digital Decade Country Report – Portugal* (European Commission, 2024), em 2023, apenas

53,6% das PME's portuguesas apresentavam um nível básico de digitalização, abaixo da média da União Europeia (57,7%). No que respeita à adoção de tecnologias específicas, 32,3% das empresas utilizavam soluções de *cloud computing*, 38,6% recorriam a ferramentas de análise de dados e apenas 7,9% aplicavam inteligência artificial, ligeiramente abaixo da média europeia de 8% (European Commission, 2024, pp. 13–14).

Apesar dos progressos registados, Portugal continua aquém da meta de 90% estabelecida para 2030 no que diz respeito à digitalização das PME's. Embora o país disponha de infraestruturas digitais sólidas – com 98,1% de cobertura de rede 5G e 94,2% de cobertura por redes de capacidade muito elevada (VHCN) – o nível de adoção de tecnologias digitais por parte das empresas mantém-se reduzido (European Commission, 2024, pp. 8–9, 12). O relatório aponta para a necessidade de intensificar as medidas de apoio à digitalização empresarial e recomenda o reforço de iniciativas que promovam a utilização de tecnologias emergentes, bem como a definição de trajetórias claras e metas intermediárias para garantir a sua implementação até 2030 (European Commission, 2024, pp. 5–6, 12).

De notar que, Portugal está a acompanhar a transição para a Indústria 5.0, embora ainda enfrente desafios significativos ao nível do investimento, da qualificação da força de trabalho e da colaboração entre empresas e instituições (Marvão, 2025). Ainda assim, em setores como a mobilidade, a saúde e o agroalimentar, algumas PME's portuguesas já estão a dar os primeiros passos nesta nova revolução industrial, integrando tecnologias emergentes com o apoio de parceiros científicos e tecnológicos (Je Lab & Santander Empresas, 2025).

## **2.3 Indústria 4.0 e Qualidade 4.0: O Marco Evolutivo**

A Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, representou uma nova era no setor industrial, marcada por transformações drásticas nas formas de produção e nos modelos de negócios, afetando empresas de todos os setores no século XXI (Masood & Sonntag, 2020). Este conceito caracteriza-se pela utilização de tecnologias digitais e físicas que permitem a interação autónoma entre máquinas e sistemas, reduzindo significativamente a necessidade de intervenção direta do ser humano (Rodrigues et al., 2016).

Baseada na digitalização e automação, a Indústria 4.0 promove a interconexão entre diferentes parceiros ao longo das cadeias produtivas, criando ecossistemas industriais mais eficientes (Echegaray et al., 2022). Segundo Hermann et al. (2016), esta revolução tecnológica tem gerado transformações significativas no panorama organizacional, sendo amplamente discutida tanto nas organizações como no meio académico.

### **2.3.1 Evolução e Caracterização da Indústria 4.0**

A evolução das tecnologias industriais ao longo dos séculos resultou numa série de transformações conhecidas como revoluções industriais. A primeira revolução industrial foi

impulsionada pela invenção da máquina a vapor no século XVIII, permitindo a mecanização da produção e revolucionando os métodos industriais (Rodrigues et al., 2016; Schwab, 2016). Posteriormente, no final do século XIX, a segunda revolução industrial trouxe a produção em massa, com o desenvolvimento das linhas de montagem e o uso intensivo da eletricidade (Fonseca et al., 2021). Este período viu o crescimento exponencial da indústria, impulsionado pelo aço, pelo petróleo e pelo surgimento das ferramentas e as máquinas elétricas (Mokhtar et al., 2022). No final do século XX, a terceira revolução industrial trouxe consigo a automação dos processos produtivos, com o uso de eletrônica e tecnologias computacionais, como os controladores lógicos programáveis (CLPs) e os primeiros sistemas de gestão industrial (Fonseca et al., 2021; Rodrigues et al., 2016; Schwab, 2016). Este período marcou o início da era digital, com a disseminação da informática, dos computadores pessoais e da internet, fatores que transformaram significativamente a forma como as empresas operam (Mokhtar et al., 2022).

De acordo com Dikhanbayeva et al. (2020), estas três fases da evolução industrial podem ser resumidas em três grandes marcos: *mechanical manufacturing*, a introdução da produção em massa e, por fim, a revolução digital.

A quarta revolução industrial (ou I4.0) surgiu no início do século XXI como uma resposta às crescentes exigências do mercado e à necessidade de inovação nos processos produtivos. O conceito foi introduzido pela primeira vez em 2011, durante a Feira de Hannover na Alemanha, como uma iniciativa estratégica para manter a competitividade industrial no cenário global cada vez mais exigente (Kagermann et al., 2011).

Esta nova fase da indústria caracteriza-se por uma fusão de tecnologias que atenua as linhas entre os domínios físico, digital e biológico (Schwab, 2016). Em particular, a I4.0 integra tecnologias como sistemas ciberfísicos (CPS), *Internet of Things* (IoT) e Inteligência Artificial (IA), ao ambiente industrial, com o objetivo de criar fábricas mais inteligentes e adaptáveis (Anh et al., 2022; Kagermann et al., 2013; Zahrin et al., 2022; Zhong et al., 2017). A aplicação destas tecnologias permite a conexão de sistemas físicos com sistemas virtuais, possibilitando uma maior flexibilidade, personalização e uma tomada de decisão mais informada nas operações de produção (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Adicionalmente, a introdução da I4.0 e os seus padrões tecnológicos têm o potencial de transformar profundamente os processos de fabrico e, como consequência, os processos de montagem (Cohen et al., 2017).

O objetivo central da I4.0 reside na conceção de “fábricas inteligentes” (Kagermann et al., 2013). Estes ambientes são caracterizados por operações autónomas ou semiautónomas, possibilitadas pelo uso de máquinas e robôs avançados que interagem entre si, adaptando-se rapidamente às mudanças nas condições de produção (Silva et al., 2023). Este modelo de fábrica é possível graças à aplicação da automação e digitalização em níveis altamente desenvolvidos, que integram tecnologias eletrónicas e de informação na produção e serviços, promovendo assim, uma nova forma de criar valor industrial (Echegaray et al., 2022; Lu, 2017). Estes avanços impactam diretamente os processos, produtos e modelos de negócios, resultando em desafios, mas também em novas oportunidades para as empresas em todos os setores (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Neste contexto, Hines et al. (2025) evidenciam, numa

perspetiva global, que a Indústria 4.0 não deve ser entendida apenas como um avanço tecnológico, mas também como um fenómeno organizacional, intrinsecamente relacionado com práticas de melhoria contínua, como o *Lean*.

No mesmo sentido, de acordo com Pinheiro (2016), a revolução da Indústria 4.0 destaca-se pela rapidez dos avanços tecnológicos e pelo impacto disruptivo nos mercados globais, desafiando as empresas a adaptarem-se rapidamente e, ao mesmo tempo, criando novas oportunidades para a personalização de produtos e serviços, o que resulta em uma maior flexibilidade na produção. Estima-se que a adoção de tecnologias da I4.0 possa diminuir os custos de produção e logística entre 10% a 30% e os custos com gestão da qualidade entre 10% a 20%, permitindo às empresas otimizar os processos e responder de forma mais ágil às dinâmicas do mercado (Nienke et al., 2017).

Em sumário, a Indústria 4.0 representou uma mudança paradigmática não apenas na produção e nos processos de fabricação, mas também nos modelos de negócio (Xu et al., 2018).

### 2.3.2 Princípios da Indústria 4.0

Os princípios da Indústria 4.0 incluem interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação por serviços e modularidade (Hermann et al., 2015). Estes princípios de design (PDs), propostos para a I4.0 permitem uma melhor compreensão do termo, bem como uma melhor identificação, descrição e definição dos diferentes cenários da I4.0 (Cañas et al., 2021; Hermann et al., 2016). Nesse sentido, os PDs desempenham um papel crucial na transformação digital de empresas e organizações (Dikhanbayeva et al., 2020). Segundo Gregor (2002), estes princípios orientam os profissionais e os cientistas na aplicação e desenvolvimento das práticas associadas à I4.0.

Os princípios fundamentais da Indústria 4.0, conforme Hermann et al. (2015), Cohen et al. (2017), Živanić et al. (2019), Dikhanbayeva et al. (2020), Lu (2017) e Cañas et al. (2021), incluem diretrizes essenciais que sustentam a sua implementação. Esses princípios são:

1. **Interoperabilidade:** permite que os CPS e humanos se conectem através da IoT e da *Internet of Systems (IoS)*, comunicando-se por meio de redes abertas (Hermann et al., 2015). Neste contexto, as máquinas conseguem trocar e interpretar dados entre si, possibilitando uma comunicação eficiente e integrada, que, por sua vez, cria um novo ambiente e promove uma integração mais avançada entre os serviços, produtos e processos, constituindo a base para o desenvolvimento da I4.0 (Lee et al., 2015).
2. **Virtualização:** consiste na representação gráfica do mundo físico num ambiente produtivo, possibilitando a visualização do planeamento e controlo da produção (PPC) de produtos e processos (Davis et al., 2020). Ou seja, reflete a capacidade do sistema para transformar dados do mundo físico em dados virtuais (Hermann et al., 2016). Os dados virtuais podem ser enriquecidos por diversas tecnologias, como sensores,

realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV), permitindo uma simulação mais precisa dos processos produtivos (Paelke, 2014).

3. **Descentralização:** refere-se à capacidade dos sistemas ciberfísicos realizarem ações e tomarem decisões de forma autônoma, sendo um dos principais fatores para alcançar uma maior produtividade (Dikhanbayeva et al., 2020). Este princípio enfatiza a autonomia dos sistemas e dispositivos na tomada de decisões de forma independente, reduzindo a necessidade direta de supervisão humana. Segundo Hermann et al. (2016) e Cohen et al. (2017), a descentralização é essencial para garantir a agilidade e flexibilidade nas operações industriais. Além disso, as tecnologias que sustentam a descentralização incluem CPS, IoT, atuadores e sensores inteligentes, bem como inteligência artificial e outras tecnologias, que são capazes de se comunicar entre si, compartilhar informações e controlar todos os processos de fabricação (Dikhanbayeva et al., 2020).
4. **Capacidade em Tempo Real:** refere-se à aptidão para recolher, transferir, analisar, monitorizar e partilhar dados de forma contínua (Hermann et al., 2016). A recolha e o processamento em tempo real, através da monitorização contínua de produtos ou processos, permitem reduzir o tempo de reação e aumentar a produtividade (Davis et al., 2020). Estas melhorias contribuem para a redução do tempo de produção e otimização dos fluxos operacionais (Davis et al., 2020). De notar que, tecnologias como a computação em nuvem e *big data* desempenham um papel fundamental na análise e processamento de dados em tempo real, integrando análises avançadas nos sistemas empresariais e permitindo a identificação de *bottlenecks* na cadeia de abastecimento (Dikhanbayeva et al., 2020).
5. **Orientação Por Serviços:** baseia-se na disponibilização de informação a máquinas, pessoas e software, permitindo-lhes realizar ajustes em tempo real com base nas preferências do cliente (Davis et al., 2020). Neste contexto, a IoS surge como uma plataforma que combina os serviços dentro e fora da empresa, possibilitando novas soluções e maior eficiência (Dikhanbayeva et al., 2020). Este princípio reflete a evolução dos modelos de negócio, promovendo a transição para uma economia baseada em resultados, onde os clientes pagam apenas pelo valor entregue e não pelo produto em si (Davis et al., 2020).
6. **Modularidade:** A modularidade é a essência da produção por encomenda, permitindo a personalização e a adaptação de determinadas componentes de um produto ao longo do processo produtivo, de acordo com as preferências do cliente (Živanić et al., 2019). Além disso, representa a capacidade das empresas para se ajustarem a diferentes situações, causadas tanto por fatores internos ou externos (Mittal et al., 2018). Tecnologias como a robótica industrial, a manufatura aditiva, a RA e a RV, têm reforçado a eficácia dos sistemas modulares, aumentando a agilidade e a flexibilidade na produção (Kumar, 2018).

A literatura demonstra que os princípios da Indústria 4.0 não são fixos, mas sim evolutivos, com diferentes estudos a proporem abordagens complementares. Hermann et al. (2016) considera a interconexão e a assistência técnica como elementos fundamentais. Živanić et al. (2019) acrescenta ainda a transparência da informação e a tomada de decisões autónomas, enquanto Cañas et al. (2021) destacam a importância da inteligência, do conhecimento e da conectividade. Por outro lado, Dikhanbayeva et al. (2020) enfatizam a relevância dos *Smart Product* que são produtos inteligentes, capazes de recolher, armazenar e transferir dados, bem como a Responsabilidade Social Corporativa (CSR) como princípios adicionais da Indústria 4.0.

Por fim, a combinação destes princípios é fundamental para concretizar a visão da Indústria 4.0, contudo, a literatura aponta que, apesar dos avanços, ainda persistem desafios e lacunas na sua implementação, exigindo mudanças estratégicas para alcançar um equilíbrio entre alta flexibilidade e baixa complexidade (Davis et al., 2020). Por exemplo, Vieira et al. (2022), apresenta um caso no setor automóvel onde a integração de princípios como a modularidade, a descentralização e a capacidade em tempo real permitiu desenvolver um sistema de transferência de produtos longos e de baixa rigidez. O estudo evidenciou benefícios ao nível da flexibilidade e eficiência do processo produtivo, embora também tenha identificado desafios relacionados com os custos de implementação e a necessidade de elevada precisão tecnológica.

### 2.3.3 Principais Tecnologias da Indústria 4.0

As principais tecnologias da Indústria 4.0, como a robótica industrial, a Inteligência Artificial, a *Internet of Things* e o *Big Data*, têm registado avanços significativos nos últimos anos (Qin et al., 2024). De acordo com Rüßmann et al. (2015) e Alcácer & Cruz-Machado (2019), estas tecnologias baseiam-se na recolha e análise autónoma de dados, através de tecnologias de informação ligadas entre si ao longo de toda a cadeia de produção, resultando em operações mais inteligentes e eficientes. A sua estrutura é sustentada por nove pilares tecnológicos, também conhecidos como blocos de construção, representados na Figura 3.

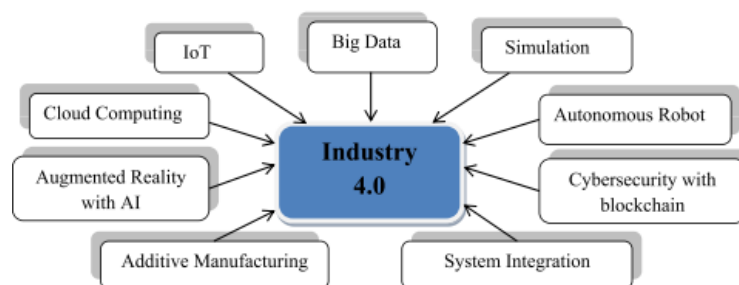


Figura 3 – Os 9 pilares tecnológicos da I4.0, adaptado por Kumar et al. (2020), de acordo com Kerin & Pham (2019)

Além da otimização dos processos produtivos, estas tecnologias oferecem benefícios significativos em termos eficiência energética, utilização de equipamentos e gestão de recursos humanos (Lasi et al., 2014). As tecnologias baseadas em sensores, por exemplo, permitem que as PMEs monitorizem continuamente a utilização das máquinas, as necessidades energéticas e

até as exigências de formação dos seus colaboradores, possibilitando uma gestão mais eficiente dos recursos (Kumar et al., 2020).

Contudo, nem todas as tecnologias da I4.0 estão suficientemente desenvolvidas para serem aplicadas em larga escala no imediato, enquanto outras já atingiram um nível de confiança elevado que permite a sua adoção a custos mais acessíveis, tornando-as viáveis para diversas aplicações industriais (Baur & Wee, 2015).

Ao permitir um fluxo contínuo de informações ao longo do ciclo de vida dos produtos e ao proporcionar um elevado nível de interconetividade entre os processos de produção, as tecnologias da I4.0 desempenham um papel essencial na transição da produção tradicional para a produção digital (Geng & Doberstein, 2008). Além disso, a sua aplicação pode contribuir positivamente para a responsabilidade social corporativa e sustentabilidade, promovendo uma abordagem mais ecológica e eficiente à produção industrial (Kamble et al., 2020; Luthra & Mangla, 2018).

Nos tópicos seguintes, serão abordados os nove pilares da Indústria 4.0 em maior detalhe.

- **Internet of Things (IoT):** A IoT consiste na conexão de equipamentos do dia a dia à internet, permitindo que máquinas, eletrodomésticos e outros objetos pequenos comuniquem entre si e com o ambiente à sua volta através de sensores, transformando objetos estáticos em elementos dinâmicos de uma rede integrada, onde a informação irá ser utilizada de forma inteligente, possibilitando o desenvolvimento de novos produtos e serviços (Pinheiro, 2016; Yaqub & Alsabban, 2023).
- **Big Data:** O *Big Data* refere-se a um processo que envolve a recolha e a análise massiva de dados estruturados, não estruturados e semiestruturados, gerados continuamente a alta velocidade e em grandes volumes, provenientes de softwares, equipamentos de produção, sistemas de gestão de clientes e da própria empresa (Echegaray et al., 2022; Rüßmann et al., 2015). Ao fornecer um fluxo contínuo de informações ao longo do ciclo de vida dos produtos, os dados, depois de tratados e analisados em tempo real, facilitam a tomada de decisão com mais precisão e confiança (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Ahloul, 2020; Chen et al., 2012; Pinheiro, 2016).
- **Simulação:** A simulação é uma ferramenta utilizada na indústria para criar modelos virtuais que replicam a realidade física, permitindo a análise em tempo real de componentes como máquinas, produtos e até processos humanos (Fonseca et al., 2021). Trata-se de um dos principais pilares da I4.0, no entanto, continua a ser uma tecnologia pouco explorada pelas PME. Em ambientes dinâmicos e incertos, esta tecnologia tem o potencial de otimizar decisões de controlo e apoiar decisões em tempo real (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).
- **Robôs autónomos:** O paradigma do fabrico está a evoluir rapidamente da produção em massa para a produção personalizada, exigindo a utilização de robôs como tecnologia de automação reconfigurável (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Estes robôs autónomos, altamente adaptáveis e flexíveis, permitem a fabricação de diferentes produtos, reduzem

custos de produção e executam autonomamente processos em ambientes onde a presença humana é limitada, aumentando a segurança, a eficiência e a versatilidade na indústria (Salkin et al., 2018).

- **Cibersegurança com *blockchain*:** Sempre que uma nova tecnologia é adotada numa indústria, a cibersegurança, que engloba tecnologias e serviços destinados a proteger utilizadores, sistemas, equipamentos e redes de dados, torna-se uma preocupação fundamental (Dalmarco et al., 2019; Echegaray et al., 2022). Por sua vez, segundo Gimenez-Aguilar et al. (2021), o interesse académico pelo uso do *blockchain* na segurança digital tem vindo a crescer desde 2016, por exemplo, Leng et al. (2021) apresenta uma pesquisa detalhada sobre como esta tecnologia pode superar as barreiras da segurança. Além disso, o *blockchain* reforça a transparência e a confiança na qualidade e segurança dos produtos, beneficiando os reguladores de mercado e os consumidores (Echegaray et al., 2022).
- **Sistemas de Integração:** A integração de sistemas na Indústria 4.0 assenta em duas abordagens principais: integração horizontal e integração vertical (Kagermann et al., 2013; Muller et al., 2024). Segundo os referidos autores, a integração horizontal refere-se à interligação dos diferentes sistemas de tecnologias de informação (IT) ao longo das várias fases dos processos de produção e planeamento empresarial, envolvendo a troca de materiais, energia e informação tanto dentro de uma empresa como entre várias empresas, promovendo redes de valor interconectadas. Por outro lado, a integração vertical diz respeito à digitalização dentro da própria empresa, conectando os sistemas de IT em diferentes níveis hierárquicos, desde sensores e atuadores até os sistemas de gestão da produção, execução da produção e planeamento corporativo (Kagermann et al., 2013; Muller et al., 2024).
- **Additive manufacturing (AM):** O AM é uma tecnologia que impulsiona o desenvolvimento de novos produtos, modelos de negócio e cadeias de abastecimento, permitindo a fabricação de peças únicas sem desperdícios convencionais, o que representa uma grande vantagem para a indústria (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Segundo Kim et al. (2018), a AM é definida como um processo de criação de objetos tridimensionais, com base na deposição de materiais, camada por camada ou gota a gota, através de um sistema controlado por computador. Alcácer & Cruz-Machado (2019) apontam que esta tecnologia possibilita a criação de protótipos, tornando a cadeia de valor mais independente e reduzindo o tempo necessário para o design e a produção. Esta tecnologia é também conhecida por outros termos, como prototipagem rápida, produção em camadas, produção digital ou impressão 3D (Chong et al., 2018).
- **Realidade Aumentada (com IA):** A RA consiste na integração de informações geradas por computador no ambiente real, através do uso de inteligência artificial, melhorando a experiência do utilizador em aplicações que exigem interação com dados espaciais (Paelke, 2014). Os mesmos autores indicam que esta tecnologia é cada vez mais comum, sendo utilizada em áreas como planeamento espacial e sistemas de navegação. Além disso, Marino et al. (2021) destacam diversas aplicações em ambientes industriais, incluindo a

inspeção de qualidade, a visualização de dados operacionais em tempo real, a assistência durante processos de montagem e a orientação de operadores através de instruções visuais projetadas diretamente sobre os componentes físicos.

- **Cloud Computing:** O *cloud computing* refere-se a um processo de alocação de tarefas num conjunto de dispositivos interligados, aplicações e serviços compartilhados, acessíveis por meio de uma rede, comumente, denominada de “nuvem” (Yaqub & Alsabban, 2023). A nuvem é composta por várias entidades como servidores informáticos e hosts compartilhados, que permitem uma estrutura descentralizada e acessível (Yaqub & Alsabban, 2023). De acordo com um estudo realizado por Kumar et al. (2020), com base numa revisão de literatura, as principais aplicações do *cloud computing* nas PMEs incluem o acesso contínuo aos dados a partir de qualquer lugar, a transparência e a capacidade de resposta dos processos, o fácil compartilhamento, armazenamento e recuperação de dados relacionados ao ciclo de vida do produto.

#### 2.3.4 A Qualidade 4.0

Com base na definição de Goetsch & Davis (2014), a Qualidade consiste em satisfazer os requisitos e as expectativas estabelecidos para os produtos ou serviços, conforme o compromisso assumido pela empresa. No contexto atual, marcado pela Indústria 4.0, este conceito evoluiu, dando origem à Qualidade 4.0 (Q4.0) (Nguyen et al., 2023). Este modelo combina a gestão da qualidade com a digitalização e a tecnologia (Sony et al., 2020). Segundo Maganga & Taifa (2023), Carvalho et al. (2021) e Santos et al. (2021), a Q4.0 representa uma abordagem moderna que integra as tecnologias da I4.0 na gestão da qualidade, incluindo ferramentas como IA, IoT, *Big Data*, análise de dados, aprendizagem automática e tecnologia *blockchain*.

Para Jacob (2017), a Qualidade 4.0 não substitui os métodos tradicionais de qualidade, mas sim, constrói e melhora esses métodos. Na mesma vertente, Zonnenshain & Kenett (2020), consideram que a Q4.0 combina tecnologias emergentes com práticas tradicionais de gestão da qualidade, visando atingir níveis superiores de eficiência, eficácia e criatividade nas operações empresariais. Saha et al. (2023) salientam que a integração das tecnologias da Indústria 4.0 com práticas da gestão da qualidade total (TQM) tem um impacto significativo no desempenho sustentável das organizações. Este conceito enfatiza ainda a utilização de tecnologias digitais para melhorar os produtos, processos e, sobretudo, a satisfação do cliente, permitindo uma gestão mais ágil, inteligente e adaptada às exigências da era digital (Carvalho et al., 2021).

Sader et al. (2022), destaca que a Q4.0 alinha a gestão da qualidade com as ferramentas digitais da I4.0, promovendo uma maior integração com as estratégias organizacionais e permitindo superar desafios persistentes, como barreiras funcionais, comunicação ineficaz e fragmentação dos dados nos sistemas tradicionais de qualidade. Além disso, possibilita a adaptação das organizações às mudanças do mercado, articulando o desempenho operacional com a inovação

(Maganga & Taifa, 2023). Por último, a adoção da Q4.0 permite às organizações prever e prevenir defeitos, otimizar a qualidade da produção e responder rapidamente a problemas de qualidade (Antony et al., 2022).

### **2.3.5 Evolução do Conceito e Eras da Qualidade**

Ao longo do último século, os métodos tradicionais de controlo de qualidade e os paradigmas do movimento da qualidade impulsionaram uma era de elevada conformidade na produção e melhorias significativas na produtividade (Escobar et al., 2024). A qualidade tornou-se um fator determinante para a competitividade das organizações, sendo essencial para o sucesso empresarial e a satisfação dos clientes, “No quality, no sales. No sale, no profit. No profit, no jobs.” (Charantimath, 2016, p. 7).

Garvin (1984) expandiu o conceito de qualidade ao propor dimensões que incluem desempenho, confiabilidade, conformidade, durabilidade, estética, suporte ao cliente e qualidade percebida. Estas dimensões permitiram uma abordagem mais abrangente, incluindo aspetos subjetivos relacionados com a perceção e satisfação dos consumidores, além das características técnicas.

Garvin (1988) explica que a qualidade evoluiu de uma abordagem focada na simples inspeção de produtos para um sistema integrado de gestão, incorporando metodologias como o controlo estatístico e a melhoria contínua. Garvin (1988), segmenta essa evolução em quatro grandes eras:

- 1) Era de Inspeção: Durante esta fase inicial, a qualidade era garantida através da identificação de defeitos no produto final, com inspeções manuais realizadas após a produção.
- 2) Controlo Estatístico da Qualidade (SQC): Introduzido por Walter Shewhart na década de 1920, o SQC marcou uma mudança fundamental na abordagem da qualidade. Este método, baseado na estatística, enfatizava a identificação e prevenção de defeitos durante o processo de produção, reduzindo desperdícios e custos.
- 3) Garantia da Qualidade: Com o avanço das práticas de gestão, a qualidade passou a ser abordada de forma mais ampla, incluindo todas as etapas do processo produtivo e promovendo a conformidade com padrões e requisitos definidos.
- 4) Gestão da Qualidade Total (TQM): A partir da década de 1980, a qualidade tornou-se uma prioridade estratégica. O conceito de TQM integrou a gestão da qualidade em todas as funções organizacionais, enfatizando a melhoria contínua e o envolvimento de toda a organização no processo.

Neste contexto, as contribuições de especialistas, frequentemente denominados “gurus da qualidade”, desempenharam um papel fundamental (Goetsch & Davis, 2014; Ibdapó, 2022). Entre os principais nomes destacam-se:

- Walter A. Shewhart (1891-1967): reconhecido como o criador do Controlo Estatístico da Qualidade, do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) e das cartas de controlo, práticas essenciais para a melhoria contínua. As suas contribuições revolucionaram o controlo da variabilidade nos processos produtivos, permitindo a otimização da qualidade e a redução de defeitos.
- W. Edwards Deming (1900-1993): destacou a importância da qualidade para a competitividade global, promovendo uma visão sistemática e realçando o papel da liderança na otimização dos processos. Além disso, desenvolveu 14 princípios para ajudar as organizações a fortalecer a cultura da qualidade, eliminando ineficiências, qualificando os colaboradores e assegurando um compromisso contínuo com a excelência.
- Joseph Juran (1904-2008): introduziu a “trilogia da qualidade”, baseada no planeamento, controlo e melhoria, sublinhando a qualidade como um elemento essencial para a satisfação do cliente. Foi também um dos primeiros a reconhecer e enfatizar a importância do fator humano na gestão da qualidade, defendendo que a participação ativa dos colaboradores é fundamental para a eficácia dos processos de melhoria contínua.
- Philip Crosby (1926-2001): defensor do princípio “zero defeitos”, argumentava que a qualidade deve ser vista como conformidade com os requisitos, eliminando margens para desvios e reforçando a necessidade de “do it right the first time”.
- Kaoru Ishikawa (1915-1989): um dos pioneiros na implementação das práticas de qualidade no Japão, destacou a importância do cliente como razão central para o sucesso empresarial. Contribuiu também com ferramentas como o diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama causa e efeito, e popularizou o *Japanese Quality Circle*, fundamental para estimular o trabalho em equipa e incentivar a participação dos colaboradores nos processos de melhoria contínua.

De acordo com Escobar et al. (2024), cada etapa da evolução da qualidade foi moldada pela introdução de novas filosofias e ferramentas no setor produtivo, sempre com foco em atender às exigências do mercado e às expectativas dos clientes. Uma das principais diferenças entre as abordagens tradicionais e as mais recentes é a capacidade de adaptação às necessidades dos consumidores, tornando os processos de gestão mais eficientes e eficazes, independentemente da dimensão da empresa (Silva et al., 2023).

Esta evolução reflete uma mudança de foco, passando de uma visão centrada no produto para uma abordagem orientada ao cliente, na qual a qualidade se consolida como um diferencial estratégico para a competitividade (Carvalho et al., 2021). Além disso, com os avanços tecnológicos, a gestão da qualidade tornou-se mais integrada e interconectada, abrangendo não apenas produtos e processos, mas também o envolvimento das pessoas e o uso de dados em tempo real para a otimização contínua (Carvalho et al., 2021; Souza et al., 2022). Neste contexto, estudos recentes evidenciam que a integração de sistemas de gestão tradicionais com metodologias de melhoria contínua, como *Lean* e *Six Sigma*, proporciona benefícios significativos para as organizações, incluindo a redução de desperdícios, a melhoria da eficiência operacional e o fortalecimento do desempenho sustentável (Sá et al., 2020).

Neste cenário, a Qualidade 4.0 emerge como um marco dessa transformação (ver por exemplo, Antony et al., 2022; Dias et al., 2022; Hattinger & Styliadis, 2023; Nguyen et al., 2024), ao

incorporar tecnologias digitais que permitem maior agilidade, personalização e controle preditivo, garantindo uma maior adaptação às procuras dinâmicas do mercado global.

### 2.3.6 Práticas da Qualidade 4.0

Nos últimos anos, a literatura sobre as práticas da Q4.0 tem aumentando significativamente (Huang et al., 2022; Nguyen et al., 2024). Com o advento da I4.0, a Q4.0 combina tecnologias digitais com práticas de gestão da qualidade para responder às exigências do mercado atual (Carvalho et al., 2021; Maganga & Taifa, 2023).

De acordo com Sony et al. (2020), a implementação eficaz da Q4.0 depende de fatores essenciais como *big data*, liderança, cultura organizacional, formação contínua e apoio da gestão de topo. Por sua vez, Dias et al. (2022) destacam que a Q4.0 integra competências humanas, cibernéticas e de liderança, permitindo às organizações enfrentar os desafios impostos pela transformação digital. Além disso, Phan et al. (2011) sublinha a importância de práticas como a gestão de processos, o foco no cliente, a participação na qualidade da cadeia de abastecimento e atividades de pequenos grupos, como essenciais para a implementação bem-sucedida da gestão da qualidade.

A Qualidade 4.0, baseia-se numa combinação de fatores sociais e técnicos (Huang et al., 2022; Nguyen et al., 2024; Wilkinson, 1992). No que diz respeito aos fatores sociais, destacam-se a liderança e o compromisso da gestão de topo, a cultura organizacional voltada para a qualidade e foco no cliente, o desenvolvimento das competências dos colaboradores e o investimento na aprendizagem contínua (Ali et al., 2022; Huang et al., 2022; Nguyen et al., 2023). Já os fatores técnicos incluem técnicas de *benchmarking*, planeamento estratégico formal, gestão, análise e automatização dos dados, gestão e otimização dos processos, controlo e garantia de qualidade inteligente, bem como a criação de produtos inovadores (Ali et al., 2022; Cho et al., 2017; Nguyen et al., 2023; Phan et al., 2011).

Também nesta vertente, Nguyen et al. (2024) e Asif (2020) identificam cinco temas fundamentais no âmbito da Q4.0, a consciencialização organizacional (*mindfulness*), a gestão do capital intelectual, o desenvolvimento de previsões de qualidade a partir do *big data*, estruturas organizacionais orientadas pelos princípios *Lean* e a gestão de empresas interligadas em ecossistemas empresariais.

Concluindo, a rápida evolução tecnológica exige que as práticas de gestão da qualidade se adaptem de forma igualmente ágil (Fadilasari et al., 2024). Para tal, as empresas precisam de investir significativamente em formação nas áreas de inteligência artificial, análise de dados e IoT (Antony et al., 2023).

## 2.4 Transição para a Indústria 5.0 e Qualidade 5.0

Diante das limitações da Indústria 4.0, surge o conceito de Indústria 5.0 como uma resposta que complementa a sua antecessora, permitindo um avanço na forma como os humanos e tecnologias interagem no ambiente industrial (Moniz, 2023; Xu et al., 2021). Em contraste com a I4.0, que se concentrou essencialmente na digitalização e automação dos processos produtivos, a Indústria 5.0 destaca-se por colocar a colaboração entre os humanos e máquinas no centro das operações, garantindo uma maior eficiência produtiva sem desconsiderar a criatividade e o papel cognitivo dos colaboradores (Breque et al., 2021; Mulongo, 2024; Nahavandi, 2019; Poll, 2022). Este novo conceito, procura assim responder à crescente procura por produtos customizados e de alta qualidade promovendo um desenvolvimento industrial mais sustentável e socialmente responsável (Xu et al., 2021; Zhong et al., 2017).

Neste contexto, a Qualidade 5.0 acompanha esta transição e surge como um elemento complementar à transformação da Indústria 5.0, indo além da digitalização para integrar uma abordagem centrada na experiência do cliente, na adaptação inteligente da qualidade e na criação de valor sustentável para as organizações (Stefanovic et al., 2024; Xu et al., 2021). A nova abordagem para a gestão da qualidade alia o uso de tecnologia avançada à interação humana, garantindo maior flexibilidade e adaptação dos processos industriais às necessidades do consumidor (Maljugić et al., 2024; Stefanovic et al., 2024).

### 2.4.1 Caracterização da Indústria 5.0

A Indústria 5.0 é um conceito recente que tem sido amplamente discutido em meio acadêmico e por instituições financeiras (Huang et al., 2022). Segundo Jahromi & Ghazinoory (2024), os estudos sobre esta nova revolução industrial começaram a surgir a partir de 2017, com várias propostas de definição e identificação de características associadas ao conceito, enfatizando aspetos como a colaboração entre humanos e máquinas, a sustentabilidade e a resiliência industrial (ver por exemplo, Adel, 2022; Demir et al., 2019; Gorodetsky et al., 2020; Maddikunta et al., 2022; Mukherjee et al., 2023; Nahavandi, 2019; Özdemir & Hekim, 2018).

Em 2021, a Comissão Europeia formalizou o conceito de Indústria 5.0 (I5.0) no documento "Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-centric, and Resilient European Industry" consolidando uma visão para o setor produtivo mais sustentável, resiliente e centrada no ser humano (Breque et al., 2021; Xu et al., 2021). Desde então, diferentes autores têm contribuído para o aprofundamento do conceito. Maddikunta et al. (2022) descrevem a Indústria 5.0 como uma revolução que combina a criatividade humana com a inteligência das máquinas, promovendo a personalização dos produtos e a otimização de recursos. Por sua vez, Adel (2022) e Mukherjee et al. (2023) destacam que a colaboração entre humanos e máquinas autónomas, como robôs, permitem o aumento da produtividade industrial. Além disso, a sustentabilidade e a resiliência surgem como pilares fundamentais deste novo paradigma, assegurando uma produção adaptável, eficiente e ambientalmente responsável (Ghobakhloo et al., 2022; Jahromi & Ghazinoory, 2024; Mourtzis et al., 2022).

Ao contrário das revoluções industriais anteriores, que priorizavam sobretudo o aumento da produtividade e a redução de custos, a Indústria 5.0 promove uma transformação mais equilibrada, onde as tecnologias emergentes e os avanços tecnológicos – como a inteligência artificial, o *big data* e IoT – são utilizados de forma ética e sustentável, alinhando os objetivos económicos com as preocupações sociais e ambientais (Gorodetsky et al., 2020; Nahavandi, 2019). Em síntese, um dos principais avanços desta nova abordagem é a colaboração entre humanos e máquinas autónomas, permitindo que robôs e sistemas inteligentes complementem as capacidades humanas em tarefas repetitivas e fisicamente exigentes, ao mesmo tempo que potenciam a criatividade e a capacidade de tomada de decisão dos colaboradores (Mulongo, 2024; Nahavandi, 2019).

Além disso, esta colaboração visa também melhorar a experiência do consumidor e reduzir desperdícios, contribuindo para um modelo de produção mais sustentável e adaptável às necessidades individuais de cada cliente (Breque et al., 2021). Adicionalmente, prevê-se que a Indústria 5.0 consiga melhorar a eficiência operacional e reduzir os acidentes de trabalho, contribuindo para um ambiente de produção mais seguro e eficiente (Nahavandi, 2019).

Embora existam preocupações quanto à substituição da mão de obra humana, diversos estudos demonstram que a adoção da I5.0 não só preservará, mas também criará oportunidades de emprego, especialmente nas áreas de desenvolvimento de sistemas inteligentes, programação de IA, robótica e manutenção de equipamentos avançados (Nahavandi, 2019).

Em suma, ainda que em fase inicial de desenvolvimento, a Indústria 5.0 representa um avanço significativo na revolução industrial, promovendo uma abordagem mais humanizada e sustentável da produção ao trazer os colaboradores de volta para o centro do processo produtivo, esta nova era industrial procura não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também transformar a relação entre os humanos e a tecnologia, garantindo um futuro mais equilibrado entre a inovação e o bem-estar social (Mulongo, 2024; Nahavandi, 2019).

#### **2.4.2 Principais Valores da Indústria 5.0**

A Indústria 5.0 surgiu na literatura industrial como um conceito inovador que visa otimizar a produção por meio da integração das capacidades humanas com as tecnologias avançadas, promovendo o consumo eficiente de recursos e aumentando a resiliência diante mudanças imprevistas (Jahromi & Ghazinoory, 2024).

Deste modo, a I5.0 baseia-se em três princípios fundamentais que moldam este novo paradigma industrial e que representam uma evolução da I4.0, colocando uma maior ênfase no equilíbrio entre a tecnologia, a sociedade e o meio ambiente (Breque et al., 2021; Jahromi & Ghazinoory, 2024; Xu et al., 2021; Zizic et al., 2022). Segundo estes autores os três valores são descritos como:

- Abordagem centrada no ser humano: coloca as necessidades e os interesses humanos no centro do processo produtivo, priorizando a utilização da tecnologia para o benefício dos colaboradores. A tecnologia deve ser adaptada às necessidades e à diversidade dos colaboradores da indústria, salvaguardando a utilidade e acessibilidade. Além disso, deve-se criar um ambiente de trabalho seguro e inclusivo, que promova a saúde física, mental e o bem-estar dos colaboradores. Em última instância, este princípio visa salvaguardar os direitos fundamentais dos colaboradores, como a autonomia, a dignidade humana e a privacidade, garantindo que a tecnologia esteja sempre ao serviço das pessoas e da sociedade.
- Sustentabilidade: promove a reutilização, reaproveitamento e reciclagem dos recursos naturais. A I5.0 visa reduzir os resíduos e o impacto ambiental, integrando práticas mais ecológicas e eficientes em todos os níveis da produção.
- Resiliência: assegura maior robustez à produção industrial através de processos flexíveis e capacidades de produção adaptáveis, especialmente em períodos de crise. Desta forma, a I5.0 proporciona maior estabilidade a longo prazo, contribuindo para a sustentabilidade e continuidade dos negócios. Assim, a resiliência assegura um fluxo constante e seguro de produção.

### 2.4.3 Tecnologias impulsionadoras da Indústria 5.0

A Indústria 5.0 integra diversas tecnologias avançadas provenientes da Indústria 4.0, como a IA, *big data* e IoT, com uma abordagem mais centrada na colaboração homem-máquina, procurando otimizar a interação entre os seres humanos e os sistemas tecnológicos (Poll, 2022). Segundo Maddikunta et al. (2022) várias tendências tecnológicas disruptivas, como *Edge Computing*, *Digital Twins*, *Internet of Everything*, a análise de grandes volumes de dados, os *cobots*, redes 6G e *Blockchain*, estão integradas nas competências cognitivas e na inovação que podem ajudar as indústrias a aumentar a produção e a oferecer produtos personalizados de forma mais rápida. Segundo os mesmos autores estas tecnologias, ilustradas na Figura 4, são descritas como:

- ***Edge Computing (EC)***

O rápido crescimento da IoT e a disponibilização de vários serviços em *cloud* introduziram um novo conceito, o *Edge Computing*, que consiste no processamento de dados junto à sua origem (por exemplo, sensores e dispositivos IoT). Esta abordagem reduz a latência, melhora a segurança e aumenta a eficiência do sistema. O EC permite que a Indústria 5.0 use recursos de *hardware* e *software* padrão mais acessíveis para aceder e trocar informações relevantes nos setores industriais. Esta tecnologia facilita a análise em tempo real, essencial para aplicações como veículos autónomos, manutenção preditiva e monitorização remota, contribuindo para decisões mais rápidas e locais sem a necessidade de envio de grandes volumes de dados para a *cloud*.

- **Digital Twins (ou Gêmeos Digitais)**

Os *Digital Twins* são representações virtuais de sistemas ou objetos físicos, alimentadas por dados em tempo real. Permitem a realização de simulações, monitorização contínua e previsões com elevada precisão. Com o avanço da IoT, os *Digital Twins* tornaram-se acessíveis a várias indústrias. Na Indústria 5.0, têm sido utilizados para personalizar produtos, antecipar falhas, otimizar processos e reduzir custos operacionais.

- **Internet of Everything (IoE)**

A IoE é uma tecnologia emergente que permite a interconexão entre pessoas, processos, dados e objetos num ecossistema digital unificado, potenciando a automatização, a conectividade e a tomada de decisão em tempo real. A sua aplicação na Indústria 5.0 melhora a eficiência logística, permite experiências personalizadas e facilita a recolha de dados em tempo real para apoio à decisão e inovação centrada no cliente. Além disso, contribui para a minimização dos custos operacionais, eliminando gargalos nos canais de comunicação e reduzindo a latência. Graças ao seu desenvolvimento acelerado, a partilha de informação entre humanos ocorre principalmente em modo *wireless*, suportada por sensores sem fios.

- **Cobots (ou Robôs Colaborativos)**

Os *cobots* são robôs concebidos para trabalhar lado a lado com os humanos, sem necessidade de barreiras físicas de segurança. Equipados com sensores inteligentes, são seguros e adaptáveis ao ambiente de trabalho. Na Indústria 5.0, desempenham um papel fundamental para alcançar a personalização em massa, melhorar a ergonomia e a produtividade no local de trabalho.

- **Big Data Analytics**

Representa um conjunto grande e diversificado de dados recolhidos de todos os tipos de fontes. O processamento destes dados permite identificar padrões, antecipar comportamentos e otimizar operações. Na Indústria 5.0, a análise de dados é fundamental para personalização, manutenção preditiva e melhoria contínua, promovendo decisões informadas e estratégias eficazes. Empresas como *Facebook*, *Twitter* e *LinkedIn* utilizam o *Big Data Analytics* para promover produtos e aumentar as vendas com objetivo de ir de encontro às necessidades do consumidor.

- **Blockchain**

A tecnologia *Blockchain* oferece um sistema descentralizado e seguro para a gestão de dados e transações. As suas aplicações na Indústria 5.0 incluem rastreabilidade, contratos inteligentes, verificação de identidade digital e garantia de integridade dos dados, promovendo transparência, segurança e confiança entre os diferentes intervenientes do processo produtivo.

- **6G e Beyond**

As redes 6G e *Beyond* prometem fornecer velocidades ultraelevadas, latência mínima e elevada fiabilidade, suportando a conectividade massiva exigida pela Indústria 5.0. Estas redes potenciam aplicações como comunicação quântica, mobilidade inteligente e uma integração cada vez maior entre IA e sistemas de produção.



Figura 4 – Tecnologias chave da Indústria 5.0. Adaptado de Maddikunta et al. (2022)

Adicionalmente, Müller (2020) e Zizic et al. (2022) identificam outras tecnologias impulsionadoras que se alinham com os três valores da Indústria 5.0. Entre estas destacam-se as tecnologias bioinspiradas e os materiais Inteligentes que consistem em materiais com sensores incorporados e propriedades avançadas, muitas vezes recicláveis, que promovem maior sustentabilidade e eficiência nos processos industriais e tecnologias para eficiência energética, energias renováveis, armazenamento e autonomia que são soluções para melhorar o uso eficiente da energia, reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade ambiental nos processos industriais.

Por fim, face ao desafio de reintegrar os trabalhadores nos processos produtivos, conforme identificado anteriormente na literatura, Nahavandi (2019) destaca ainda a necessidade da implementação de tecnologias complementares, tais como:

- **Interoperabilidade de Dados de Sensores em Rede:** Tecnologias que garantem a troca eficiente de dados entre sensores e dispositivos em rede, facilitando a monitorização e controlo de processos.
- **Rastreadores de Chão de Fábrica (*Shopfloor Trackers*):** Os rastreadores de produção melhoram a gestão em tempo real, associando encomendas de clientes a ordens de fabrico

e materiais. Além disso, ajudam na otimização de recursos, prevenção de desperdícios e redução de erros no processo produtivo.

- **Treino Virtual:** O treino virtual utiliza ambientes simulados para capacitar os colaboradores sem interromper a produção ou expô-los a riscos. Tecnologias como realidade aumentada e *haptics* tornam os treinamentos mais realistas e eficazes.
- **Sistemas Autônomos Inteligentes:** Estes sistemas utilizam inteligência artificial para controlar autonomamente as linhas de produção, ajustando-se a variáveis imprevistas, com a colaboração dos colaboradores. A aprendizagem automática permite uma maior eficiência e personalização na produção.
- **Avanços em Tecnologias de Sensores e Cognição das Máquinas:** A combinação de visão computacional, *deep learning* e capacidades avançadas de processamento melhora a percepção e a capacidade de tomada de decisão das máquinas. Paralelamente, os avanços em sensores permitem uma maior precisão na recolha de dados e reforçam a capacidade das máquinas em perceber e interagir com o ambiente de forma mais eficaz.

#### 2.4.4 Qualidade 5.0: Uma nova abordagem para a Gestão da Qualidade

A Qualidade 5.0 surge como uma evolução da Qualidade 4.0, ao estender os seus princípios para um modelo mais humanizado e sustentável, alinhado com os valores da Indústria 5.0 (Ali & Johl, 2024; Bajic et al., 2023). Embora a gestão da qualidade tenha sido amplamente explorada durante a I4.0, a sua aplicação no contexto da I5.0 ainda se encontra numa fase inicial, refletindo os desafios e oportunidades associados a esta nova abordagem (Frick & Grudowski, 2023).

Os princípios fundamentais da gestão da qualidade foram significativamente aprimorados com a adoção de tecnologias como a inteligência artificial, análise de *big data* e *cloud computing*, permitindo decisões baseadas em dados, controlo de qualidade mais avançado e uma maior integração horizontal e vertical dos sistemas organizacionais (Asif, 2020; Maljugić et al., 2024; Sader et al., 2022; Stefanovic et al., 2024). De acordo com Frick & Grudowski (2023), ao monitorizar e analisar dados provenientes de diversas fontes, como sensores, câmaras e outros dispositivos conectados, a Qualidade 5.0 permite identificar potenciais defeitos ou problemas de qualidade antes que estes ocorram, possibilitando a adoção de ações corretivas de forma proativa. Neste sentido, Frick & Grudowski (2023) reforça que a Qualidade 5.0 representa um avanço significativo no controlo e garantia da qualidade, ao permitir uma mudança de abordagem reativa para uma abordagem proativa, conduzindo a uma produção mais eficiente, a produtos de maior qualidade e a uma maior satisfação dos clientes.

A implementação bem-sucedida da Qualidade 5.0 requer a adesão às diretrizes estabelecidas para a Qualidade 4.0 (Bajic et al., 2023; Frick & Grudowski, 2023). Neste contexto, de acordo com Bajic et al. (2023), a Qualidade 5.0 não rejeita os avanços da Qualidade 4.0, mas sim

complementa-os e expande-os, com o objetivo de criar relações positivas entre as pessoas (social) e a tecnologia (técnica). Estudos anteriores destacam que a Qualidade 4.0 tem como base uma forte integração de fatores sociotécnicos (Ali et al., 2022; Ali & Waheed, 2024; Sony et al., 2020). Estes fatores mostraram-se determinantes para o sucesso da implementação da I4.0 e continuam a ser referenciados como relevantes no novo contexto da I5.0 (Ali & Johl, 2024).

Nesse sentido, a Qualidade 5.0 apoia-se em práticas sociotécnicas consolidadas, herdadas da *Total Quality Management* (TQM), agora adaptadas ao novo paradigma. Essas práticas incluem componentes sociais, como o comprometimento da gestão, o foco no cliente e a formação dos colaboradores (Ali & Johl, 2024; Ali & Waheed, 2024), bem como componentes técnicas, gestão de processos, informações e análises de qualidade e tecnologia de fabricação avançada (Ali & Waheed, 2024)).

Segundo Stefanovic et al. (2024), os profissionais da qualidade desempenham um papel crucial nesta nova era, ao adaptar e aplicar práticas de gestão da qualidade às novas tecnologias digitais e disruptivas. Além disso, a Qualidade 5.0 procura dar resposta simultânea ao aumento das exigências dos consumidores e à crescente diminuição do envolvimento e satisfação dos colaboradores, exigindo soluções que promovam uma maior proximidade entre os humanos e a tecnologia no ambiente de trabalho (Stefanovic et al., 2024). Nesse sentido, Frick & Grudowski (2023) e Stefanovic et al. (2024) salientam a importância da colaboração e da comunicação entre humanos e máquinas, sublinhando a necessidade de capacitar os colaboradores com conhecimentos e ferramentas que lhes permitam identificar e resolver problemas de qualidade, ao mesmo tempo que utilizam automação e robótica para otimizar e agilizar os processos produtivos.

Adicionalmente, diversos autores destacam que a Qualidade 5.0 está intrinsecamente ligada à sustentabilidade, à inovação digital sustentável, à cultura digital e às inovações sociais, refletindo uma abordagem holística que visa não apenas a eficiência operacional, mas também a promoção do bem-estar social (Ali & Johl, 2024; Maljugić et al., 2024). Neste sentido, Fundin et al. (2020) e Stefanovic et al. (2024) defendem que os modelos de gestão da qualidade devem incorporar práticas sustentáveis que equilibrem o crescimento económico, a responsabilidade social e a preservação ambiental.

Em geral, a Qualidade 5.0 representa uma mudança significativa na forma como a qualidade é gerida e alcançada na produção industrial, ao integrar tecnologias avançadas com abordagens centradas no ser humano, criando um sistema de controlo de qualidade mais proativo, colaborativo e eficiente, que beneficia tanto os fabricantes como os clientes (Frick & Grudowski, 2023).

Para garantir a eficácia desta transição, torna-se necessária uma redefinição dos indicadores de qualidade com as oportunidades apresentadas pela I4.0, assegurando que as tecnologias sejam usadas de forma ética, sustentável e alinhada com os princípios da Indústria 5.0 (Lazzaris et al., 2022; Maljugić et al., 2024). Por último, como afirmam Frick & Grudowski (2023), essa mudança requer estratégias que conciliem o progresso digital com as necessidades humanas e

organizacionais, permitindo que as empresas beneficiem das oportunidades da Indústria 5.0 sem comprometerem o equilíbrio entre eficiência e bem-estar.

#### 2.4.5 Contributo das Tecnologias da Indústria 5.0 para as Práticas da Qualidade 5.0

A Qualidade 5.0 representa uma evolução do paradigma anterior ao integrar tecnologias emergentes com uma abordagem centrada no ser humano e na sustentabilidade (Bajic et al., 2023; Frick & Grudowski, 2023). Esta abordagem não rejeita as práticas da Qualidade 4.0, mas estende-as, promovendo uma gestão da qualidade mais proativa, adaptativa e colaborativa (Frick & Grudowski, 2023). As tecnologias da Indústria 5.0 têm um papel fundamental neste processo, pois viabilizam novas práticas e melhoram a eficácia de processos já existentes (Lazzaris et al., 2022). A Tabela 3 sintetiza as principais tecnologias da I5.0 e o respetivo contributo para a adoção das práticas da Qualidade 5.0, conforme identificado na literatura.

Tabela 3 – Contributo das Tecnologias da Indústria 5.0 na adoção da Qualidade 5.0

| <b>Tecnologias da I5.0</b>     | <b>Contributos para a Qualidade 5.0</b>  |
|--------------------------------|--|
| <b>Edge Computing</b>          | Permite decisões em tempo real e maior eficiência na análise de dados ao processar informações localmente, reduzindo significativamente o volume de dados transmitidos (até 99,73%) sem perda de relevância, o que reforça a capacidade de detetar e corrigir desvios de qualidade de forma imediata, promovendo uma gestão da qualidade mais ágil e precisa (Bajic et al., 2023). |
| <b>Digital Twins</b>           | Permitem simular e monitorizar o desempenho de produtos e processos em tempo real, facilitando a deteção antecipada de falhas, a previsão da qualidade final e a recolha integrada de dados de controlo de qualidade (Grieves, 2023; Puttero et al., 2025).  |
| <b>Cobots</b>                  | Permitem a interação segura com operadores humanos, aumentando a precisão e a consistência dos processos, reduzindo defeitos, otimizando a eficiência produtiva e garantindo padrões de qualidade mais elevados com menor desperdício (Antony et al., 2022; Cohen et al., 2021; Puttero et al., 2025)  |
| <b>Internet of Things</b>      | Permite recolher e analisar dados em tempo real, identificar e corrigir erros durante o processo produtivo e monitorizar produtos ao longo da cadeia de entrega, garantindo qualidade e sustentabilidade na produção (Frick & Grudowski, 2023).  |
| <b>Inteligência Artificial</b> | Contribui para a minimização de desperdícios, redução do tempo de paragem e garantia de elevados padrões de qualidade nos produtos. Além disso, permite processar de forma eficiente o feedback dos clientes, identificar tendências e implementar melhorias contínuas, aumentando a qualidade do produto e a satisfação do cliente (Frick & Grudowski, 2023).                     |
| <b>Big Data Analytics</b>      | Permite prever as necessidades dos clientes e personalizar experiências, elevando a qualidade dos serviços (Frick & Grudowski, 2023). Além disso, oferece vantagens estratégicas ao evitar problemas na produção e saída de produtos defeituosos (Puttero et al., 2025).   |
| <b>Blockchain</b>              | Assegura a integridade dos dados e oferece uma auditoria transparente dos processos de controlo de qualidade, essencial em indústrias que exigem padrões rigorosos de conformidade e transparência. Além disso, aumenta a eficiência, precisão e a fiabilidade dos sistemas de controlo de qualidade (Puttero et al., 2025).   |
| <b>Redes 6G e beyond</b>       | Ao alocar segmentos dedicados da rede a serviços ou setores específicos, as redes 6G conseguem garantir uma qualidade e desempenho superiores, adaptando-se às necessidades particulares de cada aplicação através da monitorização contínua e da partilha imediata de dados críticos para a qualidade entre sistemas (Alsharif et al., 2024).                                     |

| Tecnologias da I5.0                       | Contributos para a Qualidade 5.0  |
|---|---|
| <b>Augmented Reality/Treino Virtual</b>   | Facilita a formação prática em procedimentos de qualidade, proporcionando instruções visuais e interativas em tempo real e reduz erros humanos ao guiar os operadores passo a passo, assegurando a execução correta das tarefas e aumentando a consistência na produção. Além disso, a realidade aumentada permite a simulação de cenários complexos, acelerando o processo de aprendizagem e melhorando a retenção de conhecimento (Marino et al., 2021; Seeliger et al., 2023). |
| <b>Sensores e Tecnologias de Cognição</b> | Ao monitorizar e analisar dados provenientes de diversas fontes, como sensores, câmaras e outros dispositivos conectados, a Qualidade 5.0 permite identificar potenciais defeitos ou problemas de qualidade antes que estes ocorram, possibilitando a adoção de ações corretivas de forma proativa (Frick & Grudowski, 2023).   |

## 2.5 A Indústria 5.0 (I5.0) e a Qualidade 5.0 (Q5.0) nas PMEs

A evolução tecnológica e organizacional que caracteriza a transição para a Indústria 5.0 (I5.0) e Qualidade 5.0 (Q5.0) impõe desafios significativos às PMEs, que frequentemente enfrentam barreiras na transição de processos tradicionais para soluções mais modernas, colaborativas e sustentáveis (ver por exemplo, Frick & Grudowski, 2023; Huang et al., 2022; Laddha & Agrawal, 2024; Xu et al., 2021).

A literatura recente tem evidenciado que as tecnologias emergentes associadas à Indústria 5.0 têm potencial para transformar os processos de gestão da qualidade, promovendo uma nova geração de práticas mais inteligentes, ágeis e centradas na criação de valor (Frick & Grudowski, 2023; Xu et al., 2021). No entanto, embora as PMEs reconheçam a importância da adoção destas tecnologias, muitas delas encontram dificuldades em implementá-las devido à falta de recursos financeiros, humanos e técnicos, assim como baixos níveis de maturidade organizacional (Bourdin et al., 2024; Latino, 2025). Segundo Türkeş et al. (2019), as PMEs estão conscientes que o processo de aprendizagem é demorado, mas reconhecem que esse investimento pode proporcionar benefícios e melhorias significativas.

Neste contexto, o presente tópico, explorará os principais desafios e barreiras que as PMEs enfrentam na implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0, assim como os benefícios que estas metodologias podem proporcionar.

### 2.5.1 Desafios e Barreiras da adoção da I5.0 e Q5.0 nas PMEs

A adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas Pequenas e Médias Empresas enfrenta diversos desafios e barreiras que dificultam a sua implementação efetiva. Estas dificuldades, documentadas na literatura (ver Tabela 4), refletem tanto limitações internas das organizações quanto fatores externos. Compreender e mitigar essas barreiras é essencial para permitir que as organizações adotem com sucesso a I5.0 e alcancem práticas sustentáveis (Laddha & Agrawal, 2024).

Tabela 4 - Desafios e Barreiras da Implementação da I5.0 e Q5.0 nas PMEs

| <b>Desafios/Barreiras</b>  | <b>Descrição</b>  | <b>Referências</b>   |
|--|---|--|
| <b>Falta de apoio da gestão de topo</b>                            | Ausência de envolvimento ativo da gestão sénior no processo de transformação digital.                                 | Dwivedi et al. (2023)  |
| <b>Falta de visão estratégica ou roadmap</b>                       | Ausência de planos claros para superar barreiras e integrar inovações.  | Ali & Waheed (2024); Mukherjee et al. (2023)   |
| <b>Compreender a importância de adotar a I5.0</b>                  | Dificuldade em reconhecer o valor da I5.0 para a competitividade e sustentabilidade organizacional.                   | Aslam et al. (2020); Maddikunta et al. (2022)  |
| <b>Falta de conhecimento sobre os benefícios da implementação</b>  | Limitações na percepção dos impactos positivos associados à adoção da I5.0 e Q5.0 nas PMEs.                           | Cagno et al. (2024)  |
| <b>Compreensão dos conceitos da I5.0</b>                           | Desconhecimento generalizado sobre os princípios, objetivos e aplicações da I5.0.                                     | Kumar et al. (2020); Nahavandi (2019)  |
| <b>Falta de estratégias colaborativas com stakeholders</b>         | Necessidade de desenvolver parcerias com fornecedores, clientes e centros de conhecimento.                            | Ghobakhloo et al. (2022)   |
| <b>Escassez de trabalhadores qualificados</b>                      | Dificuldade em encontrar e formar profissionais qualificados.   | Adel (2022); Laddha & Agrawal (2024); Takawira & Pooe (2024)                         |
| <b>Ausência de formação contínua</b>                               | Falta de programas regulares que alinhem o conhecimento dos trabalhadores com as exigências tecnológicas              | Adel (2022); Ghobakhloo et al. (2022)  |
| <b>Falta de competências humanas para colaboração com máquinas</b> | Dificuldade em integrar competências sociais e técnicas para trabalhos com sistemas inteligentes.                     | Adel (2022)  |
| <b>Resistência à mudança e falta de preparação digital</b>         | Cultura organizacional conservadora e aversão à adoção de novas tecnologias.  | Laddha & Agrawal (2024); Orzes et al. (2018)   |
| <b>Fragilidade das infraestruturas tecnológicas</b>                | Ausência de infraestrutura de IT adequada e conectividade.  | Kumar et al. (2020); Shashi et al. (2019)  |
| <b>Cibersegurança e privacidade dos dados</b>                      | Maior vulnerabilidade com sistemas interligados e ameaças de segurança.   | Huang et al. (2022); Laddha & Agrawal (2024); Maddikunta et al. (2022)               |
| <b>Interoperabilidade e falta de normalização</b>                  | Incompatibilidade entre sistemas e ausência de protocolos padrão.   | Bajic et al. (2023)  |
| <b>Falta de padronização e de modelos de maturidade</b>            | Ausência de diretrizes claras e metodologias para implementação estruturada da I5.0 e Q5.0.                           | Ali & Johl (2024); Ali & Waheed (2024); Bajic et al. (2023); Mukherjee et al. (2023) |
| <b>Elevados custos de implementação</b>                            | Custos associados à necessidade de investir em <i>hardware</i> , <i>software</i> , formação e infraestrutura digital. | Longo et al. (2020); Sony et al. (2021); Xu et al. (2021); Takawira & Pooe (2024)    |
| <b>Incerteza sobre retorno do investimento</b>                     | Dúvidas sobre a viabilidade e os resultados financeiros das tecnologias emergentes.                                   | Estensoro et al. (2022); Moeuf et al. (2018)   |
| <b>Dificuldades financeiras das PMEs</b>                           | Restrições orçamentais dificultam o acesso e adaptação às novas tecnologias.  | Liao et al. (2017); Pereira & Romero (2017); Takawira & Pooe (2024)                  |

| Desafios/Barreiras                                   | Descrição   | Referências   |
|--|---|---|
| <b>Complexidade da transformação digital em PMEs</b> | Adaptação tecnológica complexa face à escala reduzida e escassez de recursos.             | Ghobakhloo et al. (2022); Takawira & Pooe (2024)          |
| <b>Falta de apoio governamental e incentivos</b>     | Ausência de políticas públicas e/ou apoios financeiros que facilitem a transição digital. | Maddikunta et al. (2022); Müller (2020); Xu et al. (2021) |

Em suma, embora a Indústria 5.0 represente um paradigma transformador, persistem lacunas significativas no que respeita à identificação de barreiras específicas que afetam particularmente as PMEs (Takawira & Pooe, 2024). As barreiras enfrentadas pelas PMEs estão naturalmente associadas a fatores económicos e financeiros, culturais, técnicos, legais e de implementação (Orzes et al., 2018). Entre os obstáculos mais recorrentes apontados na literatura destacam-se a escassez de competências digitais, os elevados custos de investimento, a resistência à mudança, a fragilidade das infraestruturas tecnológicas e a ausência de um modelo padrão para a sua implementação. A compreensão crítica destes obstáculos é fundamental para a formulação de estratégias eficazes que incentivem a transição digital e sustentável das organizações, num ambiente competitivo e em constante evolução (Adel, 2022; Bajic et al., 2023; Breque et al., 2021; Laddha & Agrawal, 2024; Takawira & Pooe, 2024).

### 2.5.2 Benefícios da implementação da I5.0 e Q5.0 nas PMEs

Para as Pequenas e Médias Empresas, a adoção de tecnologias avançadas representa uma oportunidade para melhorar o seu desempenho operacional, reforçar a inovação e a competitividade (Breque et al., 2021; Pedersen et al., 2016; Turner et al., 2019). A literatura identifica diversos benefícios resultantes da adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas PMEs (ver Tabela 5), nomeadamente a melhoria da eficiência, a redução de custos e desperdícios, o aumento da flexibilidade, o reforço da colaboração e o contributo para a sustentabilidade e o bem-estar dos trabalhadores.

Tabela 5 – Benefícios da Implementação da I5.0 E Q5.0 nas PMEs

| Benefícios  | Descrição   | Referências   |
|---|---|---|
| <b>Redução de custos operacionais</b>               | Automação e tecnologias emergentes reduzem custos de produção, manutenção e perdas.   | Linder (2019); Pedersen et al. (2016); Ramdani et al. (2021); Skare et al. (2023); Turner et al. (2019) |
| <b>Redução de desperdícios e consumo energético</b> | Tecnologias como IA, IoT e <i>machine learning</i> permitem a monitorização e análise em tempo real, facilitando a identificação de ineficiências e desperdícios nas operações. | Laddha & Agrawal (2024)   |
| <b>Aumento da eficiência operacional</b>            | Digitalização de processos, uso de dados em tempo real e melhor gestão logística e de inventário promovem operações mais eficientes.  | Ben-Daya et al. (2017); Frick & Grudowski (2023); Pedersen et al. (2016)                                |

| <b>Benefícios</b>   | <b>Descrição</b>  | <b>Referências</b>  |
|---|---|---|
| <b>Redução de defeitos e melhoria da qualidade</b>        | Ferramentas digitais como monitorização em tempo real e análise preditiva apoiam o controlo de qualidade e a satisfação do cliente.   | Ferreira et al. (2018); Napolitano et al. (2020); Ramdani et al. (2021); Wan & Leirimo (2023) |
| <b>Maior alinhamento com as necessidades dos clientes</b> | Adoção de soluções tecnológicas permite responder de forma mais eficiente e personalizada às preferências e exigências dos consumidores.  | Gajdzik & Wolniak (2022)  |
| <b>Aumento da Satisfação do Cliente</b>                   | Com um foco proativo na qualidade, as empresas oferecem produtos e serviços superiores, o que leva a uma maior satisfação do cliente e, conseqüentemente, ao aumento das vendas | Frick & Grudowski (2023)  |
| <b>Personalização e diferenciação dos produtos</b>        | A colaboração homem-máquina permite produtos customizados, valorizando competências humanas no ambiente digital.  | Breque et al. (2021); Gaziero & Ceconello (2019); Turner et al. (2019)                        |
| <b>Melhoria do desempenho ambiental</b>                   | Aplicação de tecnologias inteligentes reduz emissões, desperdício e impacto ecológico.  | Pedersen et al. (2016); Turner et al. (2019)  |
| <b>Pensamento sustentável</b>                             | Capacidade de adaptação a desafios sociais, ambientais e económicos, com decisões mais responsáveis.  | Paschek et al. (2022)   |
| <b>Maior flexibilidade e capacidade de resposta</b>       | As PME's tornam-se mais adaptáveis às exigências dos clientes e mudanças nos mercados.  | Pedersen et al. (2016)  |
| <b>Melhoria na comunicação e no fluxo de informação</b>   | Tecnologias digitais facilitam a partilha de dados, a tomada de decisão e a transparência organizacional.   | Linder (2019)   |
| <b>Melhoria da segurança e das condições de trabalho</b>  | Monitorização em tempo real, automação de tarefas perigosas e tecnologias centradas no humano contribuem para ambientes mais seguros.   | Nahavandi (2019); Skare et al. (2023)   |
| <b>Assistência técnica aos trabalhadores</b>              | Apoio contínuo à aprendizagem e desenvolvimento de competências técnicas dentro da organização.   | Dautaj & Rossi (2022)   |
| <b>Vantagem competitiva duradoura</b>                     | As tecnologias da I5.0 permitem às PME's competir com grandes empresas, oferecendo produtos de maior valor e inovadores.  | Muller et al. (2024); Ramdani et al. (2021); Turner et al. (2019)                             |
| <b>Melhoria da imagem organizacional</b>                  | Adoção de práticas digitais e humanas promove uma imagem moderna e alinhada com os valores ESG (Ambiente, Social e Governança).   | Masoomi et al. (2023)   |

Concluindo, a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas PME's traz importantes oportunidades para melhorar a eficiência, inovação e sustentabilidade (Frick & Grudowski, 2023; Turner et al., 2019), mas também impõe desafios consideráveis, como a limitação de recursos, resistência cultural e baixa maturidade organizacional (Dikhanbayeva et al., 2020; Laddha & Agrawal, 2024; Latino, 2025; Türkeş et al., 2019). Estudos recentes destacam que uma série de fatores internos e externos, organizacionais, tecnológicos, humanos e económicos influenciam a capacidade das pequenas e médias empresas em incorporar essas transformações (Estensoro et al., 2022; Latino, 2025; Orzes et al., 2018). Portanto, superar essas barreiras é essencial para que as PME's possam aproveitar plenamente as vantagens competitivas e os benefícios dessa nova fase industrial (Ghobakhloo et al., 2022; Laddha & Agrawal, 2024; Takawira & Poe, 2024).

A identificação e análise aprofundada desses fatores são fundamentais para entender o cenário real da implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 nas PMEs, permitindo avaliar como eles podem facilitar ou dificultar a adoção dessas abordagens inovadoras.

## 2.6 Análise Crítica da Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta uma análise crítica da revisão de literatura desenvolvida no Capítulo 2, a qual reúne o conhecimento existente sobre a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0, com especial atenção ao seu impacto nas Pequenas e Médias Empresas (PMEs). O objetivo desta análise é avaliar o estado atual da investigação nestas áreas, identificar temas centrais, evidenciar *gaps* na literatura e destacar as principais tendências emergentes que sustentam a relevância do presente estudo.

A literatura demonstra que a Indústria 5.0 constitui um novo paradigma que vai além da digitalização e automação intensiva da Indústria 4.0, colocando a tecnologia ao serviço das pessoas, da sustentabilidade e da resiliência organizacional (Breque et al., 2021; Xu et al., 2021). De forma complementar, a Qualidade 5.0 procura alinhar práticas tradicionais de gestão da qualidade com tecnologias emergentes e princípios éticos, reforçando a centralidade no ser humano e a responsabilidade social (Frick & Grudowski, 2023; Maljugić et al., 2024; Stefanovic et al., 2024). Ambos os conceitos representam, assim, uma mudança de paradigma que procura conciliar inovação tecnológica com objetivos de sustentabilidade e valorização dos humanos.

Apesar do consenso em torno da relevância destes modelos, a literatura evidencia importantes limitações. Um dos *gaps* mais evidentes prende-se com a escassez de estudos empíricos sobre a implementação prática destas metodologias, sobretudo no caso das PMEs, uma vez que grande parte da investigação existente é de natureza concetual e prescritiva, apresentando poucos exemplos concretos (Mittal et al., 2018; Moeuf et al., 2018). Ainda que vários autores sublinhem os benefícios esperados (ver por exemplo, Ghobakhloo et al., 2022; Laddha & Agrawal, 2024; Pedersen et al., 2016; Takawira & Poee, 2024), como maior resiliência, inovação sustentável, melhor integração homem-máquina e melhorias no desempenho organizacional, os impactos reais permanecem pouco explorados e carecem de validação empírica em diferentes contextos.

Outro ponto crítico é a falta de foco nas PMEs. Embora estas representem a espinha dorsal da economia europeia, a maioria dos estudos analisa grandes organizações ou setores altamente tecnológicos, negligenciando as limitações específicas das pequenas empresas, como a escassez de recursos, a menor maturidade digital e a falta de competências internas especializadas. Conforme apontado por Takawira & Poee (2024), existem ainda lacunas significativas no que respeita à identificação das barreiras que afetam especificamente as PMEs, o que reforça a necessidade de uma análise mais detalhada neste segmento.

Adicionalmente, verifica-se que a relação entre Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 ainda não foi suficientemente explorada. Apesar de partilharem princípios comuns, como a sustentabilidade,

a centralidade no ser humano e a utilização responsável das tecnologias, poucos estudos investigam empiricamente como estas duas abordagens se articulam e, em conjunto, contribuem para o desempenho organizacional (Ali & Johl, 2024; Frick & Grudowski, 2023). Esta ausência de um quadro teórico e empírico robusto constitui uma lacuna relevante, sobretudo considerando a necessidade de adaptar estes modelos à realidade das PME's portuguesas.

Em síntese, a análise crítica da literatura evidencia avanços relevantes, mas também lacunas significativas. Os principais *gaps* identificados respeitam à falta de estudos empíricos, à ausência de foco nas PME's, às dificuldades em operacionalizar os conceitos e à escassa investigação sobre a articulação entre Indústria 5.0 e Qualidade 5.0. Estas limitações reforçam a pertinência do presente estudo, que procura contribuir para a redução destas ao analisar empiricamente como a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho empresarial, em concreto para o desempenho das PME's em Portugal.



## **3 Modelo de Investigação**

Para compreender de que forma a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho das Pequenas e Médias Empresas (PMEs) em Portugal, foi elaborado um modelo concetual com base nos seguintes construtos: Indústria 5.0, Tecnologias da Indústria 5.0, Qualidade 5.0, Características das PMEs e Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental. Este capítulo descreve o modelo concetual e as suas hipóteses, que serão testadas através da análise de equações estruturais. De acordo com Marôco (2010), a análise de equações estruturais deve assentar em pressupostos teóricos previamente definidos, os quais orientam o modelo a testar e permitem, posteriormente, validar ou rejeitar a hipótese nula com base nos dados recolhidos. Assim, este capítulo tem como objetivo fundamentar teoricamente as hipóteses definidas no modelo estrutural.

Adicionalmente, é apresentado um diagrama visual do modelo concetual proposto de modo a facilitar a sua compreensão.

### **3.1 Relação entre Indústria 5.0, Tecnologias da I5.0 e Qualidade 5.0**

A Indústria 5.0 trouxe de volta os seres humanos para trabalharem em conjunto com máquinas (robôs) nas fábricas, utilizando assim a inteligência e a criatividade humana para processos inteligentes e personalizados (Nahavandi, 2019). Esta nova abordagem visa aumentar significativamente a eficiência da produção e promover uma maior versatilidade na interação entre humanos e máquinas, permitindo uma partilha de responsabilidades em atividades de monitorização e controlo contínuo (Maddikunta et al., 2022).

Entre as principais inovações associadas à Indústria 5.0 destaca-se a personalização em massa, que permite aos consumidores obterem produtos customizados de acordo com as suas preferências e necessidades individuais (Maddikunta et al., 2022). Para que esse nível de customização e eficiência seja possível, a Indústria 5.0 assenta na integração de diversas

tecnologias capacitadoras, como o *Edge Computing*, *Digital Twins*, *Internet of Everything*, análise de *Big Data*, *cobots*, redes 6G e *Blockchain*, cuja adoção permite acelerar a produção, aumentar a flexibilidade e melhorar a qualidade dos produtos finais (Maddikunta et al., 2022). Assim, formula-se a seguinte hipótese:

**H1:** O uso de tecnologias da Indústria 5.0 tem um impacto positivo na adoção da Indústria 5.0

Além disso, e tal como referido na literatura (ver secção 2.4.4), a Qualidade 5.0 representa uma mudança significativa na forma como a qualidade é gerida e alcançada na produção industrial (Stefanovic et al., 2024). Uma das principais características da Qualidade 5.0 é a integração de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial, *machine learning* e IoT, com abordagens centradas no ser humano, para recolher e analisar dados em tempo real promovendo um sistema de controlo de qualidade mais proativo, colaborativo e eficiente (Frick & Grudowski, 2023; Stefanovic et al., 2024).

Através da utilização das tecnologias da Indústria 5.0, torna-se possível identificar potenciais falhas ou problemas de qualidade antes que estes ocorram, permitindo a implementação de ações corretivas de forma preventiva (Frick & Grudowski, 2023). Deste modo, o uso destas tecnologias não só reforça a eficácia dos sistemas de qualidade, como também beneficia tanto os fabricantes como os clientes, ao garantir produtos mais personalizados, fiáveis e sustentáveis (Stefanovic et al., 2024). Assim, o uso das tecnologias da Indústria 5.0 revela-se um elemento fundamental para a correta adoção e implementação da Qualidade 5.0 nas organizações.

**H2:** O uso de tecnologias da Indústria 5.0 tem um impacto positivo na adoção da Qualidade 5.0

Contudo, a adoção da Qualidade 5.0 não assenta apenas na incorporação de tecnologias emergentes, mas também na implementação de práticas organizacionais fundamentais de natureza social e técnica (Ali et al., 2022; Ali & Waheed, 2024; Sony et al., 2020). Segundo Ali & Johl (2024), estes fatores revelaram-se determinantes na implementação da Qualidade 4.0 e continuam a ser destacados como relevantes no novo paradigma da Indústria 5.0. Neste sentido, a literatura sustenta que estas práticas se enquadram no modelo sociotécnico (STS), o qual defende que os fatores sociais e técnicos devem ser desenvolvidos de forma integrada e interdependente, a fim de assegurar a eficácia e sustentabilidade dos sistemas de gestão da qualidade (Ali & Waheed, 2024; Sony & Naik, 2020).

As práticas sociais da gestão da qualidade total incluem o compromisso da gestão de topo, o foco no cliente e a formação contínua dos colaboradores (Ali & Johl, 2024; Ali & Waheed, 2024; Bajaj et al., 2017; Hietschold et al., 2014). Estas dimensões são essenciais para promover uma cultura organizacional que apoie a transformação digital, o envolvimento humano e a melhoria contínua (Ali & Johl, 2024). O compromisso da gestão está associado ao reconhecimento da importância das práticas de qualidade alinhadas aos objetivos estratégicos da organização, sendo essencial para a adoção de novas tecnologias (Ali et al., 2022; Sony et al., 2020, 2021). Do mesmo modo, o foco no cliente contribui para o desenvolvimento de relações mais próximas com os consumidores, promovendo inovações nos processos e maior personalização (Antunes

et al., 2017; Escrig-Tena et al., 2018; Hietschold et al., 2014). Como argumentam Hietschold et al. (2014), é essencial que as organizações mantenham uma relação próxima com os clientes para compreender os seus requisitos, ao passo que Saleh et al. (2018) destacam que o sucesso das empresas depende diretamente dessa orientação ao cliente. Além disso, Antunes et al. (2017) também concluem que o foco no cliente contribui para a inovação de processos, especialmente em PMEs industriais. De forma complementar, a formação contínua dos colaboradores refere-se a um processo contínuo e interativo que destaca o desenvolvimento de competências, a adaptabilidade tecnológica e a resposta eficaz às necessidades do mercado (Sony et al., 2020). De acordo com Hietschold et al. (2014), colaboradores bem formados compreendem melhor as questões relacionadas com a qualidade, podendo assim contribuir de forma mais eficaz para o desempenho organizacional. Além disso, Saleh et al. (2018) argumenta que uma formação adequada pode permitir a redução dos custos de produção através de melhores processos e informações e análises de qualidade. Com base nestas premissas, formula-se a seguinte hipótese:

**H3:** A adoção de práticas sociais tem um impacto positivo na adoção da Qualidade 5.0

Paralelamente, as práticas técnicas incluem a gestão de processos, informações e análises de dados de qualidade e a aplicação de tecnologias de fabricação avançadas (Ali & Johl, 2024; Ali & Waheed, 2024). Estas práticas operacionais constituem a base estrutural que suporta os objetivos de qualidade da organização, permitindo uma abordagem mais proativa, baseada em evidências, e eficaz na gestão da produção (Ali & Johl, 2024). A gestão de processos promove a padronização e a melhoria contínua, a análise de dados fornece suporte para decisões informadas, e as tecnologias avançadas potenciam a personalização, a eficiência e a competitividade (Iqbal et al., 2018; Stefanovic et al., 2024).

**H4:** A adoção de práticas técnicas tem um impacto positivo na adoção da Qualidade 5.0

De acordo com a literatura (ver secção 2.4.5), a introdução das tecnologias da I5.0 nas empresas pode ainda influenciar a adoção de práticas sociais e técnicas associadas à Qualidade 5.0. Tecnologias como a inteligência artificial, *big data*, *digital twins*, IoT ou *cobots* têm-se revelado fundamentais na adoção de práticas sociais, como o compromisso da gestão ou a formação contínua dos colaboradores, ao mesmo tempo que fortalecem práticas técnicas, como a análise de dados e a automação dos processos produtivos (Ali & Johl, 2024; Maddikunta et al., 2022; Stefanovic et al., 2024). Na realidade estudos demonstram que o compromisso da gestão é promovido pelas práticas tecnológicas, incentivando a adoção de métodos técnicos como a gestão de processos e análise de qualidade (Ali & Waheed, 2024; Sciarelli et al., 2020). Assim, tendo em conta as premissas acima referidas, as seguintes hipóteses são formuladas:

**H5:** O uso de tecnologias da Indústria 5.0 tem um impacto positivo na adoção de práticas sociais da qualidade

**H6:** O uso de tecnologias da Indústria 5.0 tem um impacto positivo na adoção de práticas técnicas da qualidade

## 3.2 Características das PMEs

Como já mencionado na revisão de literatura, as características das PMEs fazem com que a adoção da Indústria 5.0 seja um processo particularmente desafiante, na medida em que estas organizações enfrentam limitações estruturais, tecnológicas e financeiras que dificultam a sua transformação digital.

Segundo Orzes et al. (2018), as barreiras à adoção da Indústria 5.0 variam substancialmente entre países devido a fatores culturais, económicos e tecnológicos. Com base na literatura analisada (ver secção 2.5.1), foram definidas três dimensões principais que agrupam as dificuldades mais recorrentes nas pequenas e médias empresas. A Tabela 6 apresenta uma síntese das principais barreiras associadas a cada dimensão.

Tabela 6 – Barreiras à adoção da Indústria 5.0 nas PMEs

| Construtos                       | Barreiras identificadas  | Referências  |
|----------------------------------|--|--|
| <b>Dificuldades económicas</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Elevados custos de implementação;</li><li>- Incerteza sobre o retorno do investimento;</li><li>- Dificuldades financeiras das PMEs.</li></ul>  | (Estensoro et al., 2022; Liao et al., 2017; Longo et al., 2020; Moeuf et al., 2018; Pereira & Romero, 2017; Sony et al., 2021; Takawira & Poee, 2024; Xu et al., 2021) |
| <b>Dificuldades culturais</b>    | <ul style="list-style-type: none"><li>- Resistência à mudança;</li><li>- Falta de visão estratégica;</li><li>- Falta de apoio da gestão de topo;</li><li>- Falta de cultura digital e de preparação organizacional.</li></ul>                          | (Ali & Waheed, 2024; Dwivedi et al., 2023; Laddha & Agrawal, 2024; Mukherjee et al., 2023; Orzes et al., 2018)   |
| <b>Dificuldades tecnológicas</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Fragilidade das infraestruturas;</li><li>- Falta de interoperabilidade;</li><li>- Falta de normalização;</li><li>- Falta de competências digitais;</li><li>- Cibersegurança e privacidade dos dados.</li></ul> | (Adel, 2022; Bajic et al., 2023; Huang et al., 2022; Kumar et al., 2020; Maddikunta et al., 2022; Shashi et al., 2019)   |

Além destas barreiras, persistem outras dificuldades relevantes no contexto das PMEs, como a dificuldade em compreender a importância da adoção da Indústria 5.0 (Aslam et al., 2020; Maddikunta et al., 2022); ausência de formação contínua (Adel, 2022; Ghobakhloo et al., 2022); falta de competências humanas para colaborar eficazmente com máquinas inteligentes (Adel, 2022); falta de padronização e de modelos de maturidade (Ali & Johl, 2024; Ali & Waheed, 2024; Bajic et al., 2023; Mukherjee et al., 2023); e ausência de apoio governamental e incentivos financeiros adequados (Maddikunta et al., 2022; Müller, 2020; Xu et al., 2021).

Conforme apontado por Takawira & Poee (2024), existem ainda lacunas significativas no que respeita à identificação de barreiras que afetam especificamente as PMEs, reforçando a necessidade de uma análise mais detalhada.

Assim, compreender de que forma estas características impactam negativamente a adoção da Indústria 5.0 nas PMEs, bem como identificar quais exercem maior influência, constitui um passo essencial para o desenvolvimento do modelo proposto. Com base nestas premissas, formula-se a seguinte hipótese:

**H7:** As características das PMEs têm um impacto negativo na adoção da Indústria 5.0

### **3.3 Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental**

A Indústria 5.0 representa uma nova fase do desenvolvimento industrial, que procura não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também transformar a relação entre os humanos e a tecnologia, garantindo um futuro mais equilibrado entre a inovação e o bem-estar social (Mulongo, 2024; Nahavandi, 2019). Segundo os mesmos autores, esta abordagem procura ainda assegurar um contributo positivo para a sociedade e para o meio ambiente. Por sua vez, a adoção da Qualidade 5.0, que integra tecnologias avançadas da Indústria 5.0 com práticas centradas no ser humano, pode trazer desempenhos significativos para as organizações (Frick & Grudowski, 2023). Assim, o desempenho organizacional deve ser avaliado de forma holística, incluindo dimensões sociais, operacionais, financeiras e ambientais (Lee, 2021; Teixeira et al., 2022).

No âmbito operacional, a Indústria 5.0, apoiada por tecnologias como inteligência artificial, *Internet of Things* e robôs colaborativos, permite uma produção mais eficiente, flexível e personalizada, reduzindo desperdícios e custos, enquanto melhora a qualidade dos produtos (Frick & Grudowski, 2023; Laddha & Agrawal, 2024). Da mesma forma, a Qualidade 5.0 integra tecnologias digitais para otimizar processos produtivos e de gestão, promovendo a automação inteligente e a análise preditiva para prevenir falhas e aumentar a eficácia (Ali & Johl, 2024; Maljugić et al., 2024).

No domínio social, a Indústria 5.0 promove a colaboração entre humanos e máquinas, valorizando as competências humanas e incentivando a criação de ambientes de trabalho mais seguros, inclusivos e centrados no bem-estar dos colaboradores (Mulongo, 2024; Nahavandi, 2019). A Qualidade 5.0 reforça esta dimensão ao enfatizar o desenvolvimento contínuo das competências dos trabalhadores, a humanização dos processos produtivos e o fortalecimento da cultura organizacional focada no respeito e na valorização das pessoas (Ali & Johl, 2024; Maljugić et al., 2024).

Além disso, a dimensão ambiental está integrada na visão de ambas as abordagens, incentivando práticas sustentáveis que minimizam o impacto ecológico, promovem o uso eficiente dos recursos e alinham as estratégias organizacionais aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) (Breque et al., 2021; Masoomi et al., 2023; Paschek et al., 2022; Turner et al., 2019).

Por fim, a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 têm um impacto significativo no desempenho financeiro das organizações. A automatização inteligente, a redução de desperdícios e a otimização dos processos contribuem diretamente para a diminuição dos custos operacionais e logísticos (Linder, 2019; Pedersen et al., 2016; Skare et al., 2023; Turner et al., 2019). Simultaneamente, a melhoria da qualidade e o maior alinhamento com as necessidades dos clientes favorecem o aumento da satisfação e das vendas (Frick & Grudowski, 2023; Gajdzik & Wolniak, 2022). Em conjunto, estes fatores impulsionam a rentabilidade operacional e o retorno sobre o investimento (ROI) (Muller et al., 2024; Ramdani et al., 2021).

Assim, tendo em conta as premissas acima referidas, as seguintes hipóteses são definidas:

**H8:** A adoção da Indústria 5.0 tem um impacto positivo no desempenho Operacional/Financeiro/Social/Ambiental

**H9:** A adoção da Qualidade 5.0 tem um impacto positivo no desempenho Operacional/Financeiro/Social/Ambiental

### 3.4 Modelo Concetual

Este subcapítulo tem como objetivo apresentar o modelo concetual que expressa, de forma estruturada e visual, a fundamentação teórica e as hipóteses desenvolvidas anteriormente (ver Figura 5).

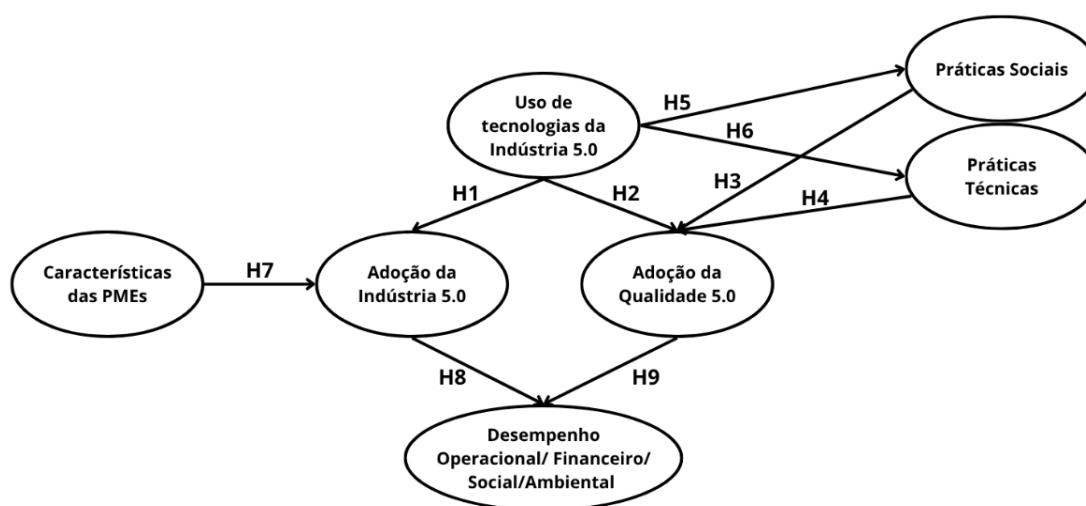


Figura 5 – Modelo Concetual

No presente modelo concetual, as características das PMEs e o uso de tecnologias da Indústria 5.0 são considerados construtos exógenos, isto é, apenas exercem influência sobre outros construtos e nenhuma hipótese recai sobre eles (Marôco, 2021). Já os restantes cinco construtos são tratados como endógenos, pois são simultaneamente resultados e preditores (Hair et al., 2018).

Parte-se do pressuposto de que as características das PMEs influenciam negativamente a propensão destas organizações para adotar os princípios da Indústria 5.0 (H7). Por sua vez, o uso de tecnologias da Indústria 5.0, enquanto fator externo, exerce impacto direto sobre a adoção da Indústria 5.0 (H1), sobre a adoção da Qualidade 5.0 (H2), bem como sobre a implementação de práticas sociais (H5) e técnicas (H6) da gestão da qualidade. Subsequentemente, a adoção da Qualidade 5.0 é explicada pela implementação de práticas sociais (H3) e práticas técnicas (H4). Finalmente, tanto a adoção da Indústria 5.0 (H8) como a adoção da Qualidade 5.0 (H9) são fatores determinantes para o desempenho organizacional, contemplando as dimensões operacional, financeira, social e ambiental.



## 4 Metodologia de Investigação

Segundo Prodanov & Freitas (2013), a metodologia é compreendida como uma disciplina que se dedica ao estudo, compreensão e avaliação dos vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa académica. A metodologia desta pesquisa é baseada num inquérito por questionário, que permite recolher informação de uma amostra de indivíduos através das suas respostas a perguntas específicas.

Tal como referem Jones et al. (2013), um inquérito só é válido se os dados recolhidos representarem de forma precisa e consistente o fenómeno em estudo, transmitindo informação fiável e relevante sobre o objeto de investigação. Nesse sentido, as pesquisas atuais exigem uma abordagem metodológica mais rigorosa, apoiada em estratégias cientificamente testadas que assegurem a representatividade da amostra face à população-alvo, bem como a validade e fiabilidade dos dados recolhidos (Ponto, 2015).

Neste capítulo, apresenta-se a estrutura do questionário, o método de recolha e validação, a descrição das variáveis operacionais e a caracterização da amostra em estudo.

### 4.1 Estrutura do questionário e validação

Para conduzir a pesquisa e testar as hipóteses previamente descritas, foi elaborado e implementado um questionário utilizando o *Microsoft Forms* como ferramenta para a recolha de dados. Essa plataforma digital possibilitou a criação de um questionário estruturado, de fácil acesso e distribuição, permitindo alcançar a amostra de forma rápida e eficiente.

O questionário foi sujeito a um pré-teste, com o objetivo de identificar questões de difícil compreensão ou suscetíveis de interpretação divergente da intenção do investigador (Krosnick, 1999). O processo de validação contou com a apreciação de quatro especialistas na área e obteve parecer positivo do *Data Protection Office* (DPO) do P.PORTO, garantindo o cumprimento das normas éticas e legais de proteção de dados pessoais em conformidade com

o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD). Além disso, todos os inquiridos tiveram de concordar com uma declaração de consentimento, sem a qual não lhes era possível prosseguir com o questionário. Foi-lhes ainda reforçado que as respostas seriam utilizadas exclusivamente para fins estatísticos, sendo recolhidas de forma anónima e confidencial.

O questionário foi desenvolvido com base em escalas previamente utilizadas na literatura e organizou-se em seis secções temáticas, num total de 17 perguntas, conforme apresentando no Apêndice I. As questões eram maioritariamente de escolha fechada, embora algumas tenham incluído a opção "Outro", permitindo respostas abertas para captar realidades não previstas nas opções disponíveis.

De forma a medir uma série de atitudes e/ou perceções em relação a certas proposições, o questionário foi desenvolvido utilizando a escala de *Likert* (Chyung et al., 2017). Neste estudo, utilizou-se uma escala de *Likert* de 5 pontos, variando entre “discordo totalmente” e “concordo totalmente”. Embora a escala de 7 pontos seja considerada mais representativa da perceção subjetiva dos inquiridos relativamente aos itens de um questionário (Finstad, 2010), a escala de 5 pontos foi escolhida por ser mais clara para os participantes e por aumentar a probabilidade de obtenção de uma maior taxa de resposta (Chyung et al., 2017; Taherdoost, 2019).

O questionário foi concebido com uma estrutura lógica e sequencial. O primeiro grupo de questões “Informação sobre o respondente” procurou identificar o perfil dos participantes em termos de habilitação académica, posição ocupada na organização e no tempo de trabalho na organização conforme recomendado por Ponto (2015), garantindo que os dados fossem recolhidos junto de indivíduos com conhecimento adequado da realidade da empresa.

O segundo grupo de questões “Dados Organizacionais” incluiu informações sobre o setor de atividade da organização, classificado através do código de atividade económica (CAE) (INE, 2007), o país de operação e a localização geográfica da organização (com base nas regiões NUTS II (GEE, 2025). Além disso, incluiu questões sobre a idade da organização e respetiva dimensão, em conformidade com os critérios da União Europeia (European Commission, 2003). Importante salientar, que nesta investigação apenas micro, pequenas e médias empresas foram consideradas, isto é, organizações de 3 categorias com base no número de colaboradores: 1 - 10, 11 – 50, 51 – 100 e 101 a 249.

As secções seguintes incidiram sobre os construtos centrais do modelo, que serão detalhados no tópico seguinte. Na secção dedicada à “Indústria 5.0”, avaliou-se o grau de familiaridade com os princípios da I5.0 (abordagem centrada no ser humano, sustentabilidade e resiliência), bem como com as tecnologias emergentes, considerando igualmente o nível de aplicação de ambos na organização. A secção sobre “Qualidade 5.0” procurou medir a implementação dos conceitos que definem este paradigma. Na última questão desta secção identificou-se o nível de aplicação de práticas sociais e técnicas, incluindo a opção “Não aplicável” para acomodar situações em que determinadas práticas não se enquadravam no contexto da organização. A secção “Características da organização” permitiu aferir através de um conjunto de itens o nível de preparação das PMEs para a transição digital, enquanto a última secção avaliou o

desempenho organizacional, contemplando as dimensões operacional, financeira, social e ambiental. Também nestas duas últimas secções foi incluída a opção “Não aplicável”, dado a diversidade das empresas em estudo.

## 4.2 Descrição das Variáveis Operacionais

Este subcapítulo tem como objetivo operacionalizar os conceitos incluídos no modelo de investigação proposto, de forma a facilitar a compreensão do âmbito do estudo. Para a medição desses conceitos, foi dada preferência à utilização de escalas previamente testadas e validadas na literatura científica, garantindo, assim, a robustez e a fiabilidade dos resultados. No entanto, foram realizadas algumas adaptações, de modo a adequar as variáveis ao contexto específico da presente investigação.

Na adoção da Indústria 5.0, foram incluídas quatro questões. A primeira procurou aferir o grau de familiaridade dos inquiridos com os princípios fundamentais da Indústria 5.0 (abordagem centrada no ser humano, resiliência e sustentabilidade) com base nas métricas propostas por Rios et al. (2024). A segunda questão avaliou em que medida esses princípios estão atualmente implementados nas organizações, recorrendo a itens adaptados de Breque et al. (2021), Jahromi & Ghazinoory (2024), Xu et al. (2021) e Zizic et al. (2022). A terceira questão mediu o grau de familiaridade com as tecnologias emergentes associadas à Indústria 5.0, seguindo métricas propostas por Maddikunta et al. (2022), Rios et al. (2024) e Ruso et al. (2024). Finalmente, a quarta questão avaliou em que medida essas tecnologias já se encontram incorporadas no ambiente de trabalho das organizações, novamente com base em escalas adaptadas de Maddikunta et al. (2022) e Rios et al. (2024).

A adoção da Qualidade 5.0 foi operacionalizada através de itens fundamentados nos trabalhos de Frick & Grudowski (2023) e Stefanovic et al. (2024), de forma a compreender se as organizações procuram integrar este paradigma e em que medida o fazem. Para tal, foram incluídas duas questões: a primeira avaliou perceções gerais sobre a abordagem da organização à Qualidade 5.0, enquanto a segunda reuniu 18 itens que distinguiram práticas sociais e práticas técnicas, seguindo a proposta de Ali & Johl (2024). Os nove primeiros itens centraram-se em práticas sociais, e os nove restantes em práticas técnicas, permitindo analisar de forma diferenciada o nível de implementação.

As características das PMEs foram avaliadas com base na revisão de literatura sobre os fatores críticos de adoção da Indústria 5.0, medidas numa perspetiva positiva. Esta secção procurou identificar barreiras estruturais, disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos, bem como fatores facilitadores, como liderança, apoio governamental e cultura organizacional, de modo a perceber de que forma estas variáveis influenciam a transição para a Indústria 5.0. Para efeitos de análise estatística, a escala foi posteriormente invertida.

Por fim, o Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental foi avaliado através de métricas propostas por Lee (2021) e Teixeira et al. (2022).

Todas as variáveis foram medidas através de uma escala de *Likert* de 5 pontos e nos blocos relativos à Qualidade 5.0, às Características das PME e ao Desempenho foi ainda incluída a opção “Não aplicável”, permitindo uma resposta mais ajustada à diversidade das organizações em estudo.

Para maior detalhe sobre as secções, questões incluídas e respetivas referências, apresenta-se no Apêndice II uma tabela de síntese com estas informações.

### 4.3 Recolha de Dados e Caracterização da Amostra

A presente investigação pretendeu recolher dados de dois países europeus: Portugal e Polónia, focando-se especificamente em PMEs do setor industrial. A recolha de dados foi realizada através de um inquérito por questionário enviado a inquiridos de ambos os países.

Para Portugal, de forma a aceder aos emails institucionais das organizações recorreu-se à base de dados SABI, da qual, foi extraído um ficheiro em formato MS Excel, contendo informação relativa a 77.835 PMEs portuguesas. Contudo, apenas 35.691 dessas organizações apresentavam informação disponível sobre o respetivo email institucional. Assim, a cada uma destas organizações foi enviado um email a solicitar a participação no questionário (ver Apêndice I). Relativamente à Polónia, os emails institucionais foram recolhidos manualmente através dos websites oficiais das organizações e de outras fontes públicas online, obtendo-se um total de 2.000 contactos. Apesar do envio do questionário a todas estas organizações, até à data apenas foram obtidas 8 respostas, um número insuficiente para representar uma amostra significativa. Consequentemente, devido à reduzida taxa de resposta, optou-se por excluir a amostra polaca do estudo.

Considerando o tamanho da população portuguesa, de forma a garantir um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de  $\pm 5\%$ , seria necessário obter, no mínimo 381 respostas. Além disso, tendo em conta a opção metodológica de adotar o Modelo de Equações Estruturais (SEM) como técnica analítica para análise multivariada das hipóteses formuladas, foram consideradas e seguidas as recomendações de Marôco (2010) e Worthington & Whittaker (2006). Estes autores sugerem que de forma a garantir a variabilidade suficiente para estimar os parâmetros do modelo e garantir a robustez dos testes SEM, deve-se ter pelo menos 5 observações por parâmetro, assim, estima-se que é necessário obter no mínimo 420 respostas. Além disso, segundo Hair et al. (2018), um tamanho de amostra superior a 200 casos é considerado suficiente para obter resultados confiáveis em SEM.

O período de recolha de dados decorreu entre 21 de julho e 25 de agosto de 2025 (36 dias), tendo sido obtidas 468 respostas, um número acima do nível mínimo recomendado pelos autores acima mencionados. Da amostra inicial, um total de 439 respostas foram consideradas válidas, enquanto 29 respostas foram excluídas, quer por situações de *respondent misconduct*, quer por corresponderem a grandes empresas e a organizações que não se enquadravam no

setor industrial. Não obstante, acredita-se que o tamanho da população atual é representativamente aceitável, sendo possível cumprir os objetivos desta investigação.

Assim, embora o tamanho da amostra seja adequado para as análises planeadas, continua a ser relativamente pequena em comparação com a dimensão da população, algumas das razões que contribuíram para esta limitação incluem: (1) tempo de recolha de dados foi curto e realizado numa altura crítica onde muitas organizações estão em período de férias; (2) um número considerável de e-mails foi devolvido com pedidos para que a mensagem fosse reenviada para endereços mais recentes; (3) o tempo médio de preenchimento do questionário é de 15 minutos, o que pode ter levado muitas empresas à desistência do preenchimento ou ao não preenchimento; (3) falta de conhecimento sobre as temáticas abordadas no questionário levou ao não preenchimento.



## 5 Análise dos Dados da Amostra

O presente capítulo tem como finalidade apresentar os resultados obtidos no questionário realizado, através da análise do perfil demográfico das organizações e da caracterização dos inquiridos, de forma a aferir a validade e representatividade das respostas recolhidas.

De seguida, com o intuito de explorar os itens dentro de cada construto do modelo em análise, foram realizadas análises univariadas para avaliar cada item individualmente. Posteriormente, antes de avançar para a análise fatorial exploratória (EFA), o conjunto de dados foi examinado para detetar eventuais valores em falta e *outliers* que pudessem comprometer a robustez dos resultados. A EFA, que tem como objetivo identificar e verificar a estrutura subjacente entre as variáveis observadas, foi utilizada para avaliar a fiabilidade e a unidimensionalidade das variáveis latentes consideradas no modelo (Hair et al., 2018). Este procedimento constitui um passo essencial na validação das dimensões teóricas propostas, assegurando a sua consistência interna antes da realização da Análise Fatorial Confirmatória (CFA), que, por sua vez, visa confirmar empiricamente a adequação dessa estrutura, conforme abordado no capítulo seguinte.

### 5.1 Perfil demográfico e caracterização das organizações

Os resultados evidenciam que a maioria das organizações que participaram no questionário (ver Figura 6) pertencem ao Norte de Portugal (48%), correspondendo a uma grande percentagem dos inquiridos (211 respostas). As restantes contribuições vêm do Centro do país (24%), correspondendo a 105 respostas. De seguida com percentagem de 8%, Grande Lisboa (37 respostas) e Oeste e Vale do Tejo (33 respostas). As restantes contribuições são, respetivamente, Alentejo (19 respostas), Península de Setúbal (15 respostas), Algarve (11 respostas), Região Autónoma da Madeira (5 respostas) e Região Autónoma dos Açores (5 respostas).

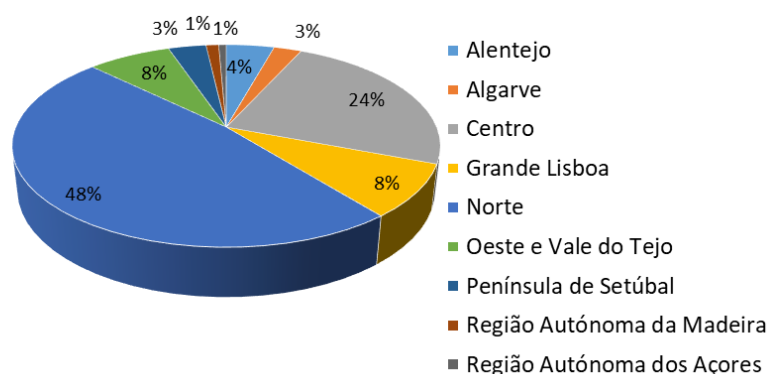
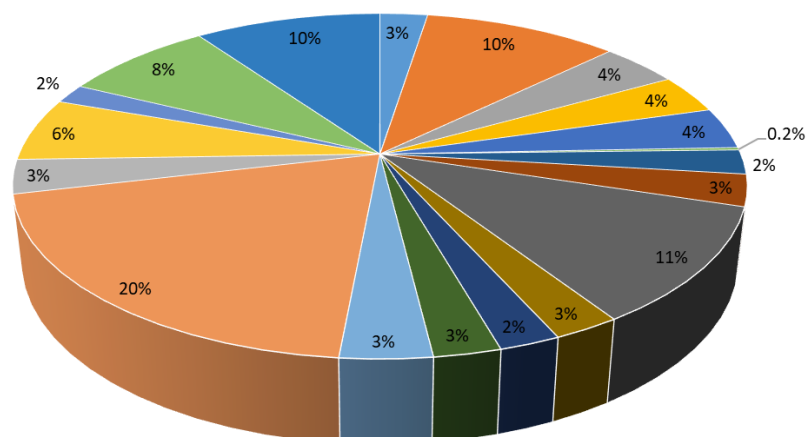


Figura 6 – Perfil demográfico das organizações

No que se refere ao setor de atividade, ilustrado na Figura 7, a maioria dos inquiridos pertencem ao setor de Indústria metalúrgica e produtos metálicos (20%), com 87 respostas, seguida pela Fabricação de mobiliário (11%), com 48 respostas e Indústria alimentar com 45 respostas, o que representa 10% da amostra. De notar, que muitas organizações revelaram fazer parte de setores que não estavam listados no questionário, contribuindo para a grande percentagem obtida em Outros (10%) no gráfico. Contudo, nesses casos, aos inquiridos que selecionavam a opção “Outros” era pedido para especificar a área de atividade da sua organização o que resultou nos seguintes setores: Impressão e reprodução de suportes gravados, Fabricação de componentes para o setor aeronáutico, Indústria transformadora de mármore e granito, Fabricação de equipamentos de pilates, Fabricação de outro equipamento de transporte, Fabricação de produtos metálicos (exceto máquinas e equipamentos), Indústria da saúde e Fabricação de equipamentos informáticos.

Outros setores também se destacaram, ainda que em menor expressão: Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos contou com 35 respostas (8%), Fabricação de máquinas e equipamentos com 26 respostas (6%), seguidas da Indústria das bebidas, Fabricação de têxteis e Indústria do vestuário (ambas com 4%).



- Indústria extrativa
- Indústria alimentar
- Indústria das bebidas
- Fabricação de têxteis
- Indústria do vestuário
- Indústria do couro e dos produtos do couro
- Indústria do calçado
- Indústrias da madeira e cortiça (exceto mobiliário)
- Fabricação de mobiliário
- Fabricação de pasta, de papel, cartão e seus artigos
- Indústria química/farmacêutica
- Indústria de plásticos/borracha
- Fabricação de outros produtos minerais não metálicos
- Indústria metalúrgica e produtos metálicos
- Fabricação de componentes eletrônicos e elétricos
- Fabricação de máquinas e de equipamentos
- Fabricação de veículos automóveis e seus componentes
- Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos
- Outro

Figura 7 – Setor de atividade das organizações

As organizações também foram classificadas quanto à idade de atividade. Conforme ilustrado na Figura 8, observa-se que mais de metade das empresas (52%), o que corresponde a 227 respostas, está no mercado há mais de 20 anos, seguidas por empresas com de 11 a 20 anos, que representam 20% do total. Por sua vez, 16% das empresas (70 respostas) têm de 6 a 10 anos, e 10% (45 respostas) de 3 a 5 anos. Por último, apenas 9 das empresas estão no mercado entre 1 a 2 anos, correspondendo a 2% do total de respostas.

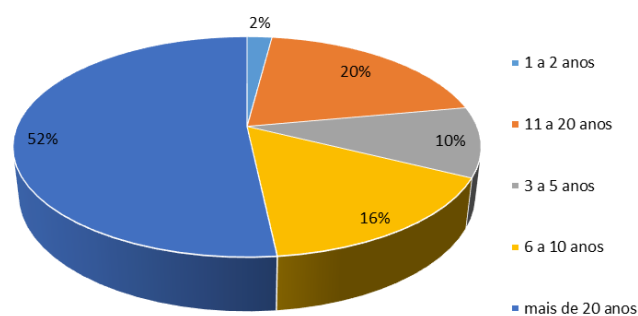


Figura 8 – Idade das organizações

Para concluir a análise do perfil demográfico e caracterização das organizações, estas foram avaliadas em relação à sua dimensão (ver Figura 9), isto é, ao número de colaboradores e volume de negócios (classificação utilizada na União Europeia). Os resultados evidenciaram que a maioria das organizações são microempresas (65%), o que corresponde a 285 respostas. De seguida, as pequenas empresas com 27% (120 respostas), e com menor percentagem as médias empresas com 8% do total de respostas (34 respostas).

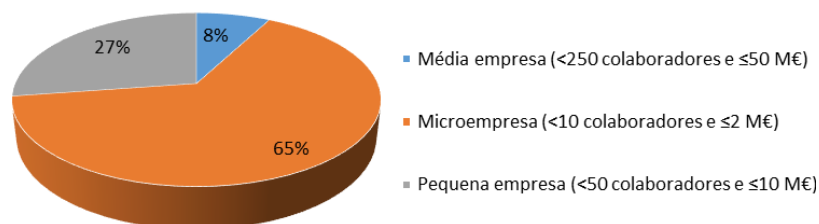


Figura 9 – Classificação das PME

## 5.2 Caracterização do inquirido

De forma a complementar a caracterização da amostra, procedeu-se à análise do perfil dos inquiridos, considerando o cargo ocupado a habilitação académica e o tempo de trabalho na organização.

A análise começa pela posição ocupada, onde a Figura 10 evidencia que a maioria dos participantes pertence à categoria Gestão de topo (62%, 272 respostas), seguida pela Gestão intermédia (26%, 112 respostas). Em menor número surgem os Técnicos especializados (6%, 28 respostas), os Operacionais (2%, 7 respostas) e a categoria outros (5%, 20 respostas).

Dentro da categoria “outros”, as funções mais frequentemente mencionadas correspondem a funções administrativas, a cargos de consultoria e a funções de sócio-gerente. Foi ainda referida uma posição ligada à área de logística.

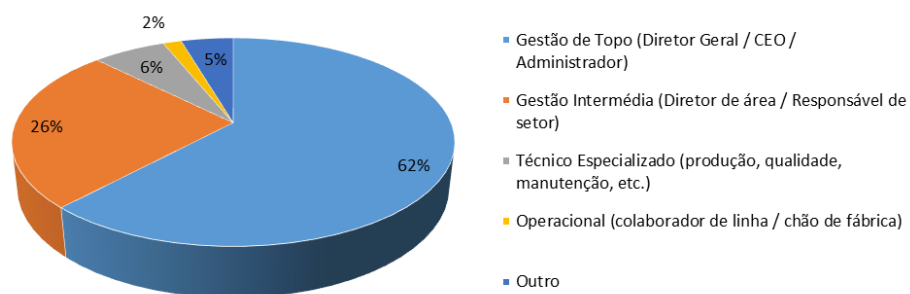


Figura 10 – Posição ocupada pelo inquirido na organização

Em relação às habilitações académicas (Figura 11), os dados evidenciam que a maioria dos participantes possui licenciatura (39%, 172 respostas), seguindo-se o ensino secundário (36%, 156 respostas) e o mestrado (17%, 73 respostas). Uma proporção mais reduzida declarou possuir doutoramento (2%, 10 respostas) ou outras qualificações (6%, 28 respostas).

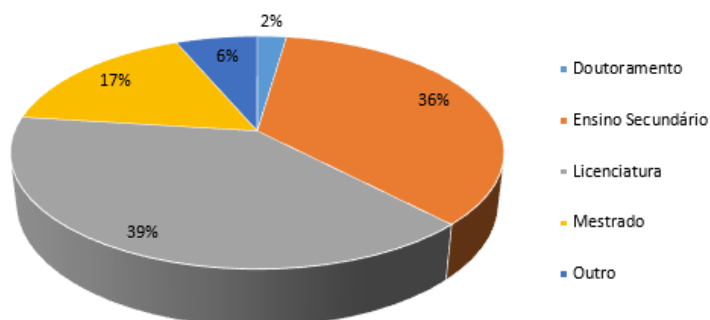


Figura 11 – Habilitações académicas do inquirido

No que diz respeito ao tempo de trabalho na organização (Figura 12), os resultados mostram que quase metade dos inquiridos trabalha há mais de 10 anos na mesma empresa (48%, 211 respostas). Seguem-se os que se encontram entre 6 a 10 anos (18%, 80 respostas) e entre 1 a 3 anos (18%, 78 respostas). Períodos mais curtos de vínculo laboral são menos expressivos, nomeadamente entre 4 a 5 anos (12%, 53 respostas) e até 1 ano (4%, 17 respostas).

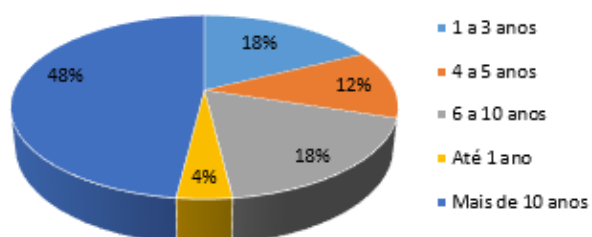


Figura 12 – Tempo de trabalho dos inquiridos na organização

De forma global, a análise do perfil dos inquiridos, considerando a posição ocupada, a habilitação académica e o tempo de permanência na organização, indica que a maioria possui experiência significativa e conhecimento aprofundado da organização, sugerindo que as

respostas fornecidas no questionário são fiáveis e consistentes para prosseguir com a análise dos dados.

Para complementar a análise do perfil do inquirido, foi também investigado o grau de familiaridade com os valores e tecnologias associados à Indústria 5.0, dado que este conhecimento é determinante para compreender a perceção individual sobre o fenómeno em estudo.

No que concerne aos valores da Indústria 5.0 (Figura 13), os resultados mostram que 27% dos inquiridos se consideram muito familiares com o princípio da Abordagem centrada no ser humano e 9% afirmam estar extremamente familiares. Relativamente à Sustentabilidade, os resultados revelam maior representatividade, com 30% dos inquiridos a indicarem estar muito familiares e 28% moderadamente familiares. Já no caso da Resiliência, 28% dos participantes declaram-se moderadamente familiares e 25% muito familiares.

Apesar destes resultados, ainda se verifica a existência de uma porção de colaboradores que afirmam não possuir qualquer familiaridade com os princípios da Indústria 5.0: 20% no caso da Abordagem centrada no ser humano, 14% na Sustentabilidade e 15% na Resiliência.

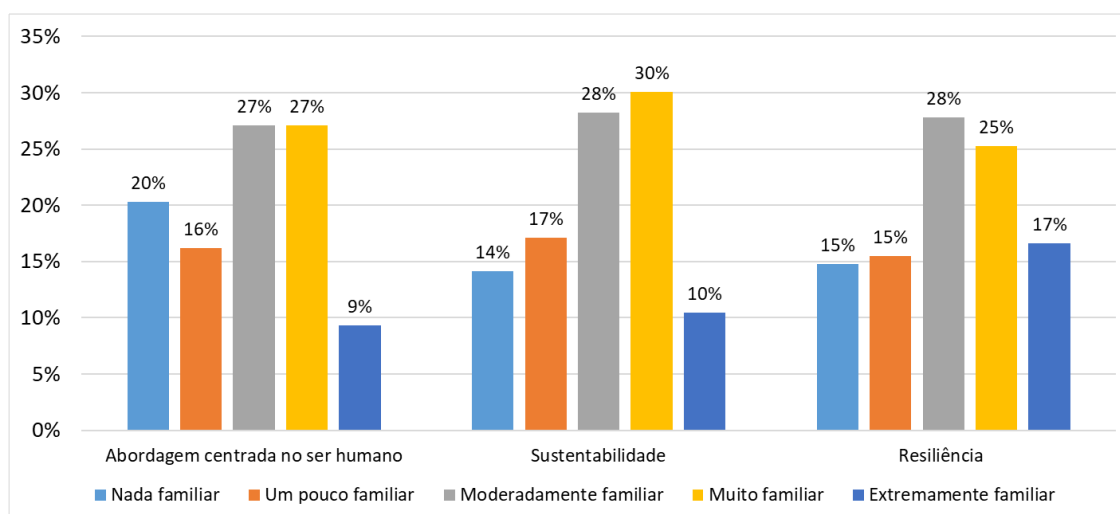


Figura 13 – Grau de familiaridade dos valores da Indústria 5.0

Em relação às tecnologias da Indústria 5.0 (Figura 14 e Figura 15), a análise evidencia uma heterogeneidade significativa no nível de familiaridade. A Inteligência Artificial destaca-se como uma das tecnologias mais conhecidas, sendo considerada moderadamente familiar por 33% dos inquiridos (143 respostas) e muito familiar por 23% (100 respostas). A Impressão 3D apresenta uma tendência semelhante, com 22% moderadamente familiar (95 respostas) e 19% muito familiar (85 respostas). Também as Tecnologias para eficiência energética, energias renováveis, armazenamento e autonomia evidenciam maior realce, sendo reconhecidas como moderadamente familiares por 31% (137 respostas) e 20% muito familiar (88 respostas).

Por outro lado, algumas tecnologias emergentes demonstram baixos níveis de familiaridade. Os *Digital Twins* são considerados nada familiares por 59% dos participantes (260 respostas), o *Blockchain* por 51% (222 respostas) e o Treino Virtual por 49% (214 respostas). Situação semelhante ocorre com a Realidade Aumentada, com 44% a responder “Nada familiar” e com as Tecnologias bioinspiradas e materiais inteligentes, com 50% a responder “Nada familiar”.

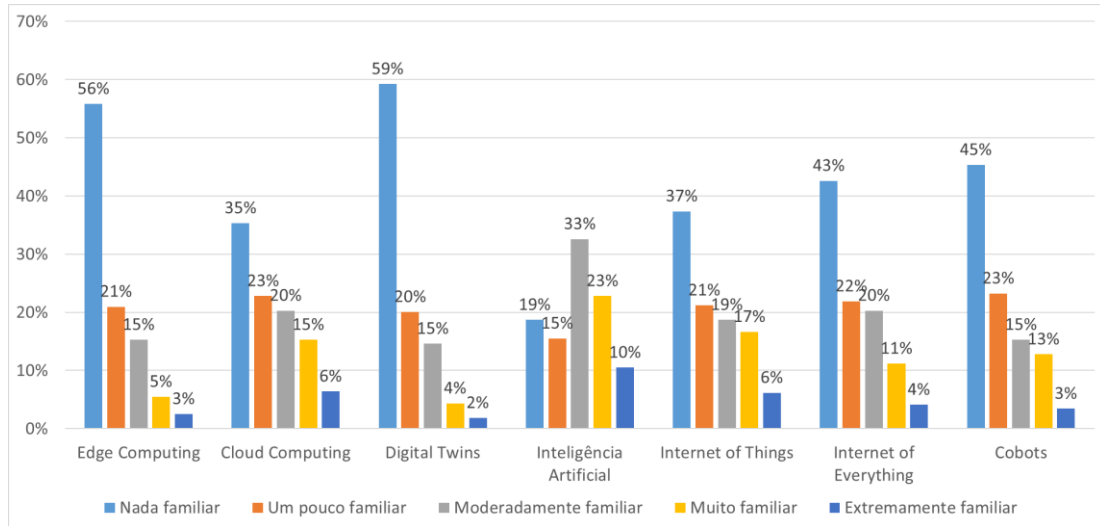


Figura 14 – Grau de familiaridade das tecnologias da Indústria 5.0 (parte1)

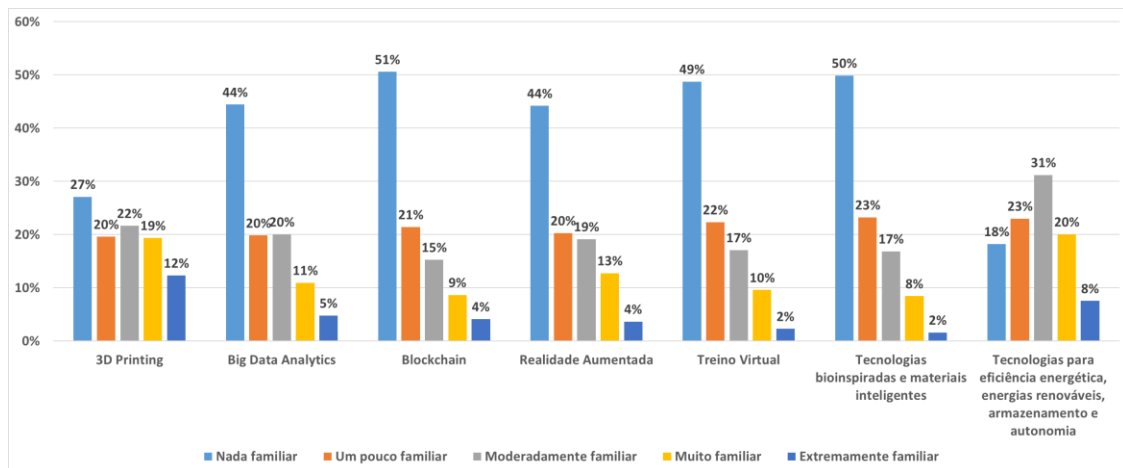


Figura 15 – Grau de familiaridade das tecnologias da Indústria 5.0 (parte 2)

De forma geral, estes resultados revelam que, embora os inquiridos demonstrem alguma familiaridade com tecnologias inerentes à Indústria 5.0, como Inteligência Artificial, Impressão 3D, *Big Data Analytics* e *Cloud Computing*, ainda existe um déficit significativo no conhecimento e aplicação de tecnologias emergentes, cuja integração é fundamental para a transição para a Indústria 5.0.

Importa salientar que, sendo os inquiridos, na maioria, representantes das organizações, o seu grau de familiaridade pode refletir, em maior ou menor medida, a maturidade tecnológica e a

orientação estratégica das próprias empresas, servindo assim como indicador indireto da sua preparação para os desafios da Indústria 5.0.

### 5.3 Análise descritiva dos construtos

Este tópico apresenta uma análise univariada das variáveis observadas que compõem os construtos presentes no modelo formulado. A seguinte tabela indica, para cada item avaliado, o número de casos válidos e omitidos, a média, o erro de média padrão, o desvio padrão e a variância, bem como os valores mínimo e máximo, numa escala de 1 a 5.

Tabela 7 – Análise estatística das variáveis

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média padrão | Desvio padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|----------------------|---------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                      |               |           |        |        |
| AI5.0_1 | 439                | 0      | 2,957 | 0,050                | 1,040         | 1,083     | 1      | 5      |
| AI5.0_2 | 439                | 0      | 3,802 | 0,045                | 0,938         | 0,881     | 1      | 5      |
| AI5.0_3 | 439                | 0      | 3,449 | 0,048                | 0,996         | 0,992     | 1      | 5      |
| AI5.0_4 | 439                | 0      | 3,556 | 0,045                | 0,946         | 0,896     | 1      | 5      |
| AI5.0_5 | 439                | 0      | 3,761 | 0,047                | 0,974         | 0,950     | 1      | 5      |
| AI5.0_6 | 439                | 0      | 3,458 | 0,049                | 1,030         | 1,062     | 1      | 5      |
| AI5.0_7 | 439                | 0      | 3,563 | 0,049                | 1,031         | 1,064     | 1      | 5      |
| AI5.0_8 | 439                | 0      | 3,153 | 0,046                | 0,973         | 0,947     | 1      | 5      |
| AI5.0_9 | 439                | 0      | 3,276 | 0,050                | 1,055         | 1,113     | 1      | 5      |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 1,472 | 0,042                | 0,875         | 0,766     | 1      | 5      |
| UT5.0_2 | 439                | 0      | 1,993 | 0,058                | 1,221         | 1,491     | 1      | 5      |
| UT5.0_3 | 439                | 0      | 1,378 | 0,038                | 0,787         | 0,619     | 1      | 5      |
| UT5.0_4 | 439                | 0      | 2,046 | 0,053                | 1,120         | 1,254     | 1      | 5      |
| UT5.0_5 | 439                | 0      | 1,708 | 0,050                | 1,043         | 1,088     | 1      | 5      |
| UT5.0_6 | 439                | 0      | 1,563 | 0,043                | 0,909         | 0,827     | 1      | 5      |
| UT5.0_7 | 439                | 0      | 1,469 | 0,044                | 0,913         | 0,834     | 1      | 5      |
| UT5.0_8 | 439                | 0      | 1,733 | 0,055                | 1,147         | 1,315     | 1      | 5      |
| UT5.0_9 | 439                | 0      | 1,540 | 0,045                | 0,942         | 0,888     | 1      | 5      |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 1,321 | 0,036                | 0,758         | 0,575     | 1      | 5      |
| 0       |                    |        |       |                      |               |           |        |        |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 1,321 | 0,035                | 0,740         | 0,547     | 1      | 5      |
| 1       |                    |        |       |                      |               |           |        |        |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 1,408 | 0,041                | 0,855         | 0,731     | 1      | 5      |
| 2       |                    |        |       |                      |               |           |        |        |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 1,385 | 0,037                | 0,773         | 0,598     | 1      | 5      |
| 3       |                    |        |       |                      |               |           |        |        |
| UT5.0_1 | 439                | 0      | 2,114 | 0,057                | 1,190         | 1,416     | 1      | 5      |
| 4       |                    |        |       |                      |               |           |        |        |
| AQ5.0_1 | 439                | 0      | 4,282 | 0,035                | 0,742         | 0,550     | 1      | 5      |
| AQ5.0_2 | 439                | 0      | 4,153 | 0,034                | 0,720         | 0,518     | 2      | 5      |
| AQ5.0_3 | 439                | 0      | 4,032 | 0,036                | 0,758         | 0,574     | 1      | 5      |

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média<br>padrão | Desvio<br>padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|-------------------------|------------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                         |                  |           |        |        |
| AQ5.0_4 | 439                | 0      | 4,073 | 0,036                   | 0,749            | 0,561     | 1      | 5      |
| AQ5.0_5 | 439                | 0      | 3,708 | 0,040                   | 0,834            | 0,696     | 1      | 5      |
| AQ5.0_6 | 400                | 39     | 3,578 | 0,046                   | 0,928            | 0,861     | 1      | 5      |
| PSOC_1  | 421                | 18     | 3,846 | 0,047                   | 0,967            | 0,936     | 1      | 5      |
| PSOC_2  | 424                | 15     | 3,818 | 0,048                   | 0,993            | 0,986     | 1      | 5      |
| PSOC_3  | 422                | 17     | 4,517 | 0,035                   | 0,715            | 0,512     | 1      | 5      |
| PSOC_4  | 421                | 18     | 3,971 | 0,048                   | 0,985            | 0,971     | 1      | 5      |
| PSOC_5  | 421                | 18     | 3,591 | 0,053                   | 1,089            | 1,185     | 1      | 5      |
| PSOC_6  | 421                | 18     | 3,784 | 0,052                   | 1,073            | 1,151     | 1      | 5      |
| PSOC_7  | 414                | 25     | 3,495 | 0,055                   | 1,128            | 1,272     | 1      | 5      |
| PSOC_8  | 407                | 32     | 3,184 | 0,061                   | 1,223            | 1,496     | 1      | 5      |
| PSOC_9  | 399                | 40     | 2,872 | 0,066                   | 1,319            | 1,740     | 1      | 5      |
| PTEC_1  | 401                | 38     | 2,718 | 0,066                   | 1,318            | 1,738     | 1      | 5      |
| PTEC_2  | 403                | 36     | 2,340 | 0,066                   | 1,316            | 1,732     | 1      | 5      |
| PTEC_3  | 396                | 43     | 2,124 | 0,065                   | 1,288            | 1,658     | 1      | 5      |
| PTEC_4  | 405                | 34     | 2,504 | 0,066                   | 1,321            | 1,746     | 1      | 5      |
| PTEC_5  | 403                | 36     | 2,340 | 0,065                   | 1,314            | 1,727     | 1      | 5      |
| PTEC_6  | 406                | 33     | 2,904 | 0,068                   | 1,375            | 1,890     | 1      | 5      |
| PTEC_7  | 397                | 42     | 2,194 | 0,064                   | 1,279            | 1,637     | 1      | 5      |
| PTEC_8  | 409                | 30     | 2,724 | 0,066                   | 1,339            | 1,794     | 1      | 5      |
| PTEC_9  | 398                | 41     | 2,101 | 0,064                   | 1,278            | 1,632     | 1      | 5      |
| CPME_1  | 399                | 40     | 3,434 | 0,067                   | 1,338            | 1,789     | 1      | 5      |
| CPME_2  | 394                | 45     | 3,964 | 0,058                   | 1,156            | 1,337     | 1      | 5      |
| CPME_3  | 397                | 42     | 3,761 | 0,059                   | 1,172            | 1,374     | 1      | 5      |
| CPME_4  | 398                | 41     | 3,915 | 0,057                   | 1,130            | 1,277     | 1      | 5      |
| CPME_5  | 401                | 38     | 3,494 | 0,065                   | 1,300            | 1,691     | 1      | 5      |
| CPME_6  | 405                | 34     | 3,548 | 0,064                   | 1,284            | 1,649     | 1      | 5      |
| CPME_7  | 389                | 50     | 3,933 | 0,060                   | 1,180            | 1,392     | 1      | 5      |
| CPME_8  | 416                | 23     | 3,425 | 0,061                   | 1,245            | 1,551     | 1      | 5      |
| CPME_9  | 410                | 29     | 3,646 | 0,061                   | 1,233            | 1,520     | 1      | 5      |
| CPME_10 | 414                | 25     | 3,220 | 0,060                   | 1,222            | 1,494     | 1      | 5      |
| CPME_11 | 412                | 27     | 3,473 | 0,061                   | 1,245            | 1,549     | 1      | 5      |
| CPME_12 | 412                | 27     | 3,308 | 0,064                   | 1,297            | 1,683     | 1      | 5      |
| CPME_13 | 393                | 46     | 3,733 | 0,064                   | 1,263            | 1,594     | 1      | 5      |
| CPME_14 | 399                | 40     | 3,867 | 0,059                   | 1,186            | 1,407     | 1      | 5      |
| CPME_15 | 375                | 64     | 3,963 | 0,061                   | 1,188            | 1,410     | 1      | 5      |
| CPME_16 | 392                | 47     | 3,827 | 0,061                   | 1,205            | 1,453     | 1      | 5      |
| CPME_17 | 408                | 31     | 3,527 | 0,064                   | 1,285            | 1,650     | 1      | 5      |
| CPME_18 | 387                | 52     | 4,204 | 0,060                   | 1,188            | 1,412     | 1      | 5      |
| DESP_1  | 393                | 46     | 3,412 | 0,058                   | 1,158            | 1,340     | 1      | 5      |
| DESP_2  | 415                | 24     | 3,345 | 0,058                   | 1,173            | 1,376     | 1      | 5      |
| DESP_3  | 372                | 67     | 3,374 | 0,064                   | 1,238            | 1,534     | 1      | 5      |

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média padrão | Desvio padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|----------------------|---------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                      |               |           |        |        |
| DESP_4  | 412                | 27     | 3,427 | 0,055                | 1,117         | 1,248     | 1      | 5      |
| DESP_5  | 358                | 81     | 3,631 | 0,064                | 1,215         | 1,477     | 1      | 5      |
| DESP_6  | 409                | 30     | 3,137 | 0,058                | 1,178         | 1,388     | 1      | 5      |
| DESP_7  | 421                | 18     | 3,276 | 0,054                | 1,102         | 1,214     | 1      | 5      |
| DESP_8  | 415                | 24     | 3,234 | 0,056                | 1,145         | 1,310     | 1      | 5      |
| DESP_9  | 418                | 21     | 3,581 | 0,054                | 1,099         | 1,208     | 1      | 5      |
| DESP_10 | 397                | 42     | 3,476 | 0,058                | 1,156         | 1,336     | 1      | 5      |
| DESP_11 | 411                | 28     | 3,543 | 0,054                | 1,102         | 1,215     | 1      | 5      |
| DESP_12 | 383                | 56     | 3,057 | 0,062                | 1,218         | 1,484     | 1      | 5      |
| DESP_13 | 424                | 15     | 3,224 | 0,062                | 1,282         | 1,645     | 1      | 5      |
| DESP_14 | 420                | 19     | 3,052 | 0,061                | 1,248         | 1,558     | 1      | 5      |
| DESP_15 | 401                | 38     | 2,885 | 0,065                | 1,303         | 1,697     | 1      | 5      |
| DESP_16 | 414                | 25     | 2,986 | 0,059                | 1,199         | 1,438     | 1      | 5      |
| DESP_17 | 421                | 18     | 3,575 | 0,054                | 1,109         | 1,231     | 1      | 5      |
| DESP_18 | 418                | 21     | 3,572 | 0,054                | 1,098         | 1,205     | 1      | 5      |
| DESP_19 | 413                | 26     | 3,513 | 0,055                | 1,127         | 1,270     | 1      | 5      |

**Nota:** AI5.0 – Adoção da Indústria 5.0; UT5.0 – Uso de Tecnologias da I5.0; AQ5.0 – Adoção da Qualidade 5.0; PSOC – Práticas Sociais; PTEC – Práticas Técnicas, CPME – Características das PMEs; DESP – Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental.

Como possível observar na Tabela 7, apenas não existem dados em falta nas variáveis AI5.0, UT5.0 e AQ5.0, devido à obrigatoriedade de resposta. No entanto, considerando a possibilidade da organização em estudo não ser capaz de responder a certas questões, a opção “Não Aplicável” foi incluída nas variáveis PSOC, PTEC, CPME e DESP.

De forma geral, observa-se que as variáveis relacionadas com a adoção da Qualidade 5.0 (AQ5.0) apresentam as médias mais elevadas, situando-se acima dos 4 pontos. Em contraste, os itens referentes ao uso de tecnologias da Indústria 5.0 (UT5.0) registam médias bastante reduzidas (em torno de 1,5), o que evidencia um nível baixo de implementação prática destas tecnologias. Já as variáveis ligadas às características das PMEs (CPME) apresentam médias moderadas, situando-se maioritariamente entre 3 e 4,5 pontos, indicando reconhecimento destas características pelas empresas. Por outro lado, as práticas técnicas (PTEC) situam-se entre 2 e 2,5 pontos, revelando uma adoção ainda incipiente.

Além disso, todos os itens, exceto o AQ5.0\_2, apresentam valores mínimos e máximos que cobrem toda a escala (1 a 5), sugerindo diversidade nas perceções entre as empresas inquiridas.

Para sintetizar estes resultados, foi construída uma representação gráfica que ilustra a variabilidade das médias entre os diferentes construtos (ver Figura 16). O *radar chart* evidencia de forma clara a assimetria já observada, isto é, enquanto a adoção da Qualidade 5.0 surge com valores médios elevados, o Uso de Tecnologias da Indústria 5.0 aparece bastante abaixo, refletindo a dificuldade das empresas portuguesas em integrar plenamente as ferramentas digitais. Os restantes construtos (Práticas Sociais, Práticas Técnicas, Características das PMEs e

Desempenho) apresentam valores intermédios, situando-se maioritariamente entre 2 e 4 pontos, o que confirma uma adoção ainda incipiente, mas com alguma heterogeneidade entre as empresas. Este desalinhamento sugere que, apesar da consciência e práticas ligadas à Qualidade e à Indústria 5.0, a transformação digital permanece um dos principais desafios para as PME's em estudo.

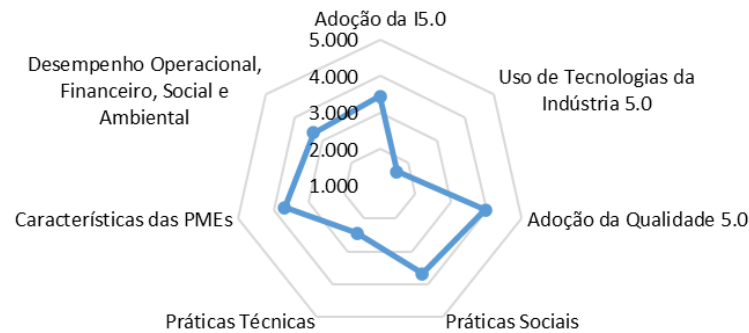


Figura 16 – Caracterização da variabilidade das médias da amostra em estudo

## 5.4 Análise dos Dados

A realização de análises estatísticas no âmbito do modelo de equações estruturais (SEM) exige o cumprimento de pressupostos específicos relacionados com as características dos dados (Hair et al., 2018; Marôco, 2010). Assim, neste subcapítulo serão detalhadamente abordados os procedimentos de identificação e tratamento de dados em falta, a deteção e correção de *outliers*, bem como a avaliação da normalidade dos dados.

A consideração sistemática destas questões constitui uma etapa indispensável para assegurar a validade e a fiabilidade das análises de equações estruturais realizadas.

### 5.4.1 Missing Data

*Missing data* refere-se a informações que não estão disponíveis para um determinado caso, embora outros dados sobre esse mesmo caso estejam presentes (Hair et al., 2018). Segundo o mesmo autor, frequentemente, isso ocorre quando um participante não fornece respostas a uma ou mais questões de um questionário. No contexto desta pesquisa, os últimos construtos do questionário, que avaliaram o nível de utilização das práticas de qualidade, as características das PME's e o desempenho operacional, financeiro, social e ambiental, incluíram a opção “Não aplicável”. Esta opção foi necessária porque o questionário foi enviado a organizações de diferentes tamanhos dentro do setor industrial, fazendo com que alguns itens não se aplicassem a todas as empresas, o que resultou em valores em falta nessas variáveis. Conforme Hair et al. (2018), esses valores podem ser considerados como dados censurados, ou seja, dados não completados porque os inquiridos não puderam fornecer a informação requerida.

Tabachnick & Fidell (2007) destacam que a análise de dados em falta consiste em avaliar a quantidade de respostas ausentes num questionário, sendo um passo fundamental para determinar o tratamento mais adequado desses dados. Bosma & Witteloostuijn (2021) relatam que a maioria dos estudos trata dados em falta através da eliminação por lista, embora essa abordagem possa levar à perda de cerca de um terço das informações recolhidas. Como regra geral, respostas ausentes por variável podem variar de 0,4% a 10% para serem consideradas aceitáveis, contudo valores superiores a 10% devem ser eliminados, conforme recomendado por Hair et al. (2018). Nesta investigação, existem 56 variáveis com valores omissos, das quais 40 variáveis apresentam uma percentagem de valores inferior a 10% e 16 delas apresentam percentagens superiores a 10%, como se observa na Tabela 7.

Para contornar este obstáculo, considerou-se a aplicação de um método de imputação adequado. A imputação consiste no processo de estimar valores ausentes com base em valores válidos de outras variáveis e/ou casos da amostra, utilizando relações conhecidas entre os dados válidos para auxiliar na estimativa dos valores em falta (Hair et al., 2018).

Neste sentido, a imputação linear foi utilizada. Esta técnica utiliza as relações existentes entre as variáveis para prever os valores ausentes, reduzindo o impacto sobre a análise global (Hair et al., 2018). Este método é adequado quando há níveis moderados a elevados de dados em falta e as relações entre variáveis são suficientemente fortes para permitir predições confiáveis (Hair et al., 2018). Porém, apesar de eficaz, segundo o mesmo autor a imputação linear apresenta algumas limitações, podendo fortalecer relações já existentes entre variáveis, reduzir a capacidade de generalização dos resultados e subestimar a variabilidade de certas variáveis.

A tabela seguinte demonstra as estatísticas obtidas para cada construto após a imputação dos valores em falta. Como se pode observar, as métricas de cada item não sofreram alterações significativas em relação aos valores originais, indicando que a imputação preservou a estrutura geral dos dados e permitiu prosseguir com as análises subsequentes de forma confiável.

Tabela 8 – Estatística descritiva após imputação dos valores em falta

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média padrão | Desvio padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|----------------------|---------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                      |               |           |        |        |
| AQ5.0_6 | 439                | 0      | 3,60  | 0,044                | 0,919         | 0,844     | 1      | 5      |
| PSOC_1  | 439                | 0      | 3,83  | 0,046                | 0,966         | 0,933     | 1      | 5      |
| PSOC_2  | 439                | 0      | 3,81  | 0,047                | 0,988         | 0,976     | 1      | 5      |
| PSOC_3  | 439                | 0      | 4,52  | 0,034                | 0,709         | 0,502     | 1      | 5      |
| PSOC_4  | 439                | 0      | 3,96  | 0,047                | 0,990         | 0,981     | 1      | 5      |
| PSOC_5  | 439                | 0      | 3,60  | 0,052                | 1,084         | 1,175     | 1      | 5      |
| PSOC_6  | 439                | 0      | 3,77  | 0,051                | 1,070         | 1,144     | 1      | 5      |
| PSOC_7  | 439                | 0      | 3,50  | 0,054                | 1,123         | 1,261     | 1      | 5      |
| PSOC_8  | 439                | 0      | 3,19  | 0,057                | 1,204         | 1,449     | 1      | 5      |
| PSOC_9  | 439                | 0      | 2,92  | 0,062                | 1,306         | 1,705     | 1      | 5      |
| PTEC_1  | 439                | 0      | 2,74  | 0,062                | 1,309         | 1,713     | 1      | 5      |
| PTEC_2  | 439                | 0      | 2,34  | 0,061                | 1,286         | 1,654     | 1      | 5      |

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média<br>padrão | Desvio<br>padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|-------------------------|------------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                         |                  |           |        |        |
| PTEC_3  | 439                | 0      | 2,14  | 0,060                   | 1,251            | 1,565     | 1      | 5      |
| PTEC_4  | 439                | 0      | 2,50  | 0,062                   | 1,296            | 1,679     | 1      | 5      |
| PTEC_5  | 439                | 0      | 2,35  | 0,062                   | 1,294            | 1,673     | 1      | 5      |
| PTEC_6  | 439                | 0      | 2,91  | 0,065                   | 1,353            | 1,830     | 1      | 5      |
| PTEC_7  | 439                | 0      | 2,23  | 0,061                   | 1,269            | 1,609     | 1      | 5      |
| PTEC_8  | 439                | 0      | 2,74  | 0,064                   | 1,331            | 1,772     | 1      | 5      |
| PTEC_9  | 439                | 0      | 2,13  | 0,060                   | 1,257            | 1,580     | 1      | 5      |
| CPME_1  | 439                | 0      | 3,44  | 0,063                   | 1,315            | 1,729     | 1      | 5      |
| CPME_2  | 439                | 0      | 3,92  | 0,055                   | 1,147            | 1,317     | 1      | 5      |
| CPME_3  | 439                | 0      | 3,73  | 0,055                   | 1,154            | 1,331     | 1      | 5      |
| CPME_4  | 439                | 0      | 3,89  | 0,053                   | 1,107            | 1,226     | 1      | 5      |
| CPME_5  | 439                | 0      | 3,49  | 0,061                   | 1,280            | 1,639     | 1      | 5      |
| CPME_6  | 439                | 0      | 3,52  | 0,061                   | 1,275            | 1,625     | 1      | 5      |
| CPME_7  | 439                | 0      | 3,89  | 0,056                   | 1,175            | 1,380     | 1      | 5      |
| CPME_8  | 439                | 0      | 3,41  | 0,059                   | 1,232            | 1,518     | 1      | 5      |
| CPME_9  | 439                | 0      | 3,63  | 0,058                   | 1,212            | 1,468     | 1      | 5      |
| CPME_10 | 439                | 0      | 3,22  | 0,058                   | 1,216            | 1,478     | 1      | 5      |
| CPME_11 | 439                | 0      | 3,47  | 0,059                   | 1,230            | 1,514     | 1      | 5      |
| CPME_12 | 439                | 0      | 3,32  | 0,061                   | 1,288            | 1,659     | 1      | 5      |
| CPME_13 | 439                | 0      | 3,68  | 0,060                   | 1,254            | 1,572     | 1      | 5      |
| CPME_14 | 439                | 0      | 3,84  | 0,056                   | 1,168            | 1,365     | 1      | 5      |
| CPME_15 | 439                | 0      | 3,91  | 0,055                   | 1,142            | 1,305     | 1      | 5      |
| CPME_16 | 439                | 0      | 3,80  | 0,056                   | 1,174            | 1,379     | 1      | 5      |
| CPME_17 | 439                | 0      | 3,53  | 0,061                   | 1,268            | 1,609     | 1      | 5      |
| CPME_18 | 439                | 0      | 4,17  | 0,056                   | 1,171            | 1,372     | 1      | 5      |
| DESP_1  | 439                | 0      | 3,43  | 0,055                   | 1,145            | 1,311     | 1      | 5      |
| DESP_2  | 439                | 0      | 3,36  | 0,056                   | 1,167            | 1,361     | 1      | 5      |
| DESP_3  | 439                | 0      | 3,39  | 0,058                   | 1,225            | 1,501     | 1      | 5      |
| DESP_4  | 439                | 0      | 3,43  | 0,053                   | 1,120            | 1,254     | 1      | 5      |
| DESP_5  | 439                | 0      | 3,61  | 0,057                   | 1,194            | 1,426     | 1      | 5      |
| DESP_6  | 439                | 0      | 3,13  | 0,056                   | 1,172            | 1,374     | 1      | 5      |
| DESP_7  | 439                | 0      | 3,27  | 0,052                   | 1,094            | 1,196     | 1      | 5      |
| DESP_8  | 439                | 0      | 3,22  | 0,054                   | 1,141            | 1,301     | 1      | 5      |
| DESP_9  | 439                | 0      | 3,56  | 0,052                   | 1,090            | 1,189     | 1      | 5      |
| DESP_10 | 439                | 0      | 3,48  | 0,055                   | 1,149            | 1,320     | 1      | 5      |
| DESP_11 | 439                | 0      | 3,53  | 0,053                   | 1,103            | 1,217     | 1      | 5      |
| DESP_12 | 439                | 0      | 3,04  | 0,057                   | 1,190            | 1,417     | 1      | 5      |
| DESP_13 | 439                | 0      | 3,22  | 0,061                   | 1,283            | 1,646     | 1      | 5      |
| DESP_14 | 439                | 0      | 3,06  | 0,059                   | 1,234            | 1,523     | 1      | 5      |
| DESP_15 | 439                | 0      | 2,88  | 0,061                   | 1,282            | 1,642     | 1      | 5      |
| DESP_16 | 439                | 0      | 3,00  | 0,057                   | 1,194            | 1,425     | 1      | 5      |
| DESP_17 | 439                | 0      | 3,56  | 0,053                   | 1,107            | 1,226     | 1      | 5      |

|         | Tamanho da amostra |        | Média | Erro de média padrão | Desvio padrão | Variância | Mínimo | Máximo |
|---------|--------------------|--------|-------|----------------------|---------------|-----------|--------|--------|
|         | Válido             | Omisso |       |                      |               |           |        |        |
| DESP_18 | 439                | 0      | 3,56  | 0,053                | 1,103         | 1,217     | 1      | 5      |
| DESP_19 | 439                | 0      | 3,53  | 0,054                | 1,129         | 1,275     | 1      | 5      |

#### 5.4.2 Outliers

*Outliers* são observações que caem fora da tendência das restantes observações. Estes valores podem ocorrer devido a problemas de observação e/ou registo das variáveis ou podem ser valores extremos que ocorrem naturalmente na população (Marôco, 2021a). A presença de *outliers* pode atenuar ou inflacionar as estimativas das covariâncias, dos parâmetros e da sua significância estatística (Bollen, 1989; Schumaker & Lomax, 2022). Por esse motivo, o diagnóstico de possíveis *outliers* e a demonstração da sua inexistência é uma condição necessária para a validação de um modelo estrutural, garantindo que a qualidade de ajustamento do modelo não seja comprometida (Marôco, 2021a).

O diagnóstico de *outliers* pode ser realizado através de dois tipos de medidas, medidas univariadas, complementadas por diagnósticos visuais como *boxplots*, e medias multivariadas (Marôco, 2021a). Neste estudo, optou-se por utilizar medidas multivariadas, mais concretamente a *Distância de Mahalanobis* ( $D^2$ ), que é uma das técnicas mais comuns neste contexto. Segundo Hair et al. (2018), a *distância de Mahalanobis* mede a distância de cada observação num espaço multidimensional em relação ao centro da distribuição de todas as observações, considerando a correlação entre as variáveis. Noutras palavras, fornece um valor único para cada observação, independentemente do número de variáveis analisadas, permitindo identificar observações que se afastam significativamente do padrão geral. Conforme Hair et al. (2018), valores mais altos de  $D^2$  indicam observações mais distantes da distribuição geral, sugerindo a presença de um *outlier* multivariado.

Para amostras de grande dimensão, é considerado como um possível valor extremo multivariado uma observação que apresente um valor superior a 3 ou 4 na divisão da *Distância de Mahalanobis* ( $D^2$ ) pelos graus de liberdade (gl) (Hair et al., 2018). Através da extensão AMOS do software SPSS Statistics foi possível diagnosticar *outliers* multivariados, uma vez que tanto os valores de  $p_1$  como de  $p_2$  se revelaram muito reduzidos (Marôco, 2010). Assim, dos *outliers* identificados, optou-se por excluir a observação com a maior *Distância de Mahalanobis*, uma vez que, conforme salienta Marôco (2010), a eliminação simultânea de múltiplos *outliers* multivariados poderia gerar novos *outliers* que anteriormente não tinham sido detetados. A exclusão desta observação não teve impacto nas principais estatísticas consideradas, assegurando a integridade das análises subsequentes.

### 5.4.3 Avaliação da Normalidade

A verificação do pressuposto da normalidade é um requisito fundamental em diversos procedimentos estatísticos (Razali & Wah, 2011). No contexto do modelo de equações estruturais (SEM) e da análise fatorial confirmatória (CFA), a suposição de normalidade multivariada (MVN) assume particular relevância, uma vez que a sua violação pode afetar tanto o processo de estimação quanto os índices de ajustamento do modelo (Hair et al., 2018; Kline, 2016).

Embora testes tradicionais como *Shapiro-Wilk* e *Kolmogorov-Smirnov* sejam comumente aplicados para avaliar a normalidade univariada (Hair et al., 2018; Razali & Wah, 2011), esses procedimentos são altamente sensíveis em grandes amostras, rejeitando frequentemente a hipótese nula de normalidade para pequenos desvios (Marôco, 2010). Por essa razão, em SEM, é mais adequado avaliar a normalidade através de indicadores fornecidos por softwares como o AMOS, tais como os coeficientes de assimetria univariada ( $Sk$ ), curtose univariada ( $Ku$ ) e curtose multivariada ( $Ku_M$ ) (Byrne, 2013; Marôco, 2010).

Vários estudos de simulação e observação empírica têm produzido diferentes recomendações relativamente à avaliação da normalidade (Marôco, 2021a). De acordo com os limites recomendados, valores de assimetria abaixo de 3 e curtose abaixo de 7 indicam normalidade univariada e multivariada aceitável (Marôco, 2010), enquanto valores de curtose multivariada superiores a 10 podem sugerir uma violação grave da MVN (Kline, 2005, p.50).

No presente estudo, todas as variáveis manifestas cumpriram os limites univariados ( $|Sk| < 3$ ;  $|Ku| < 7$ ), apoiando a adequação da estimativa de Máxima Verossimilhança (ML). No entanto, a análise da normalidade multivariada revelou um coeficiente de curtose de 1.053,314 (ver Apêndice III), indicando que a MVN não foi totalmente satisfeita. Apesar desta limitação, a estimativa ML foi mantida, uma vez que é geralmente considerada robusta nestas condições (Browne, 1984).

A não normalidade tende a inflacionar o teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e, conseqüentemente, afeta os índices de ajuste dela derivados, como o *Comparative Fit Index* (CFI) e o *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) (Marôco, 2010). Ainda assim, Kline (1998) salienta que, mesmo perante violações severas da normalidade, as estimativas dos parâmetros permanecem geralmente robustas, embora a sua significância estatística possa ser ligeiramente sobrestimada. Assim, considerou-se adequado prosseguir com a análise, dado os valores aceitáveis de  $Sk$  e  $Ku$  (Kline, 2016; Marôco, 2021a).

Importa ainda salientar que, ao longo dos anos, têm sido propostos múltiplos índices para avaliar a qualidade do modelo, em alternativa ou complemento à estatística qui-quadrado (McDonald & Ho, 2002).

## 5.5 Fiabilidade e unidimensionalidade das variáveis latentes

A fiabilidade de uma variável latente refere-se ao grau a que os seus indicadores são consistentes internamente, ou seja, quão fortemente se correlacionam entre si. Em outras palavras, indica até que ponto múltiplos indicadores convergem para medir o mesmo construto (Hair et al., 2018).

A implementação da análise fatorial requer que os investigadores tomem decisões criteriosas relativamente aos procedimentos analíticos que utilizam (Costello & Osborne, 2005). Neste sentido, a análise fatorial assume-se como uma ferramenta fundamental para compreender as correlações entre variáveis, agrupando-as em fatores ou componentes que partilham elevada correlação (Hair et al., 2018). Contudo, antes de aplicar a análise fatorial (análise de componentes principais), é necessário verificar a adequação e a robustez das relações entre os dados, o que normalmente se faz através do teste de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e do teste de esfericidade de *Bartlett* (Howard, 2016; Naseer et al., 2019).

O teste KMO mede o grau de adequação da amostra, avaliando a proporção entre as correlações observadas e as correlações parciais entre as variáveis (Field, 2013). Valores baixos de KMO indicam um padrão de correlações instável, o que torna a utilização da análise fatorial inadequada (Norušis, 2008). Por outro lado, valores elevados sugerem um padrão de correlações compacto, assegurando resultados mais fiáveis (Field, 2013). De acordo com Field (2013) e Howard (2016), valores inferiores a 0,50 são considerados inaceitáveis, entre 0,50 e 0,60 fracos, entre 0,60 e 0,70 medianos, entre 0,70 e 0,80 bons e acima de 0,90 excelentes.

Por sua vez, o teste de esfericidade de *Bartlett* verifica a presença de correlações significativas entre as variáveis, fornecendo a significância estatística que indica se a matriz de correlação apresenta correlações relevantes entre pelo menos algumas das variáveis (Hair et al., 2018). Segundo o mesmo autor, é importante salientar que, à medida que o tamanho da amostra aumenta, o teste de *Bartlett* torna-se mais sensível na deteção de correlações. Valores de significância inferiores a 0,05 indicam que a análise fatorial é adequada, rejeitando a hipótese nula de ausência de correlação (Damásio, 2012). É importante notar que, quanto maior a amostra, maior a sensibilidade do teste, podendo identificar correlações mesmo quando estas são pequenas (Hair et al., 2018).

Por último, o Alfa de *Cronbach* é uma das estatísticas de fiabilidade mais utilizadas que avalia a consistência de toda a escala (Cronbach, 1951; Nunnally, 1978). O limite inferior geralmente aceito para o Alfa de *Cronbach* é 0,70, embora em pesquisas exploratórias valores acima de 0,60 possam ser considerados aceitáveis (Robinson et al., 1991). Um ponto importante a considerar é que o Alfa de *Cronbach* tende a aumentar com o número de itens, mesmo que o grau de intercorrelação se mantenha e, por esta razão, escalas com um grande número de itens exigem critérios mais rigorosos para garantir a fiabilidade (Hair et al., 2018).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para o KMO, o teste de Bartlett e o Alfa de *Cronbach* para cada variável latente.

Tabela 9 – Resultados do teste de KMO, teste de esfericidade de Bartlett e alfa de Cronbach

| Variável Latente                                       | KMO   | Bartlett's Test | Alfa de Cronbach |
|--|-------|-----------------|------------------|
| Adoção da Indústria 5.0                                | 0,914 | <0,001          | 0,914            |
| Uso de Tecnologias da Indústria 5.0                    | 0,937 | <0,001          | 0,935            |
| Adoção da Qualidade 5.0                                | 0,809 | <0,001          | 0,854            |
| Práticas Sociais                                       | 0,913 | <0,001          | 0,920            |
| Práticas Técnicas                                      | 0,940 | <0,001          | 0,947            |
| Características das PMEs                               | 0,966 | <0,001          | 0,974            |
| Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental | 0,955 | <0,001          | 0,964            |

Os resultados apresentados na Tabela 9 confirmam a adequação dos dados para a análise fatorial. De acordo com Kaiser (1974), valores de KMO superiores a 0,5 são considerados aceitáveis, sendo que, neste estudo, os valores variaram entre 0,809 (Adoção da Qualidade 5.0) e 0,966 (Características das PMEs), o que os classifica como bons a excelentes. O teste de esfericidade de *Bartlett* revelou-se significativo em todos os construtos ( $p < 0,001$ ), evidenciando correlações suficientes entre os itens para justificar a aplicação de técnicas fatoriais. No que respeita à consistência interna, os valores do alfa de *Cronbach* oscilaram entre 0,854 e 0,974, superando o limiar de 0,7 recomendado na literatura. Estes resultados confirmam a elevada fiabilidade dos construtos e a robustez das escalas de medição utilizadas.

Assegurando estes aspetos, avançou-se para a análise da estrutura fatorial dos construtos. Para tal, procedeu-se à aplicação de uma análise de componentes principais (PCA) nos conjuntos de variáveis manifestas, com o objetivo de extrair os fatores subjacentes. Este procedimento estatístico permite reduzir a dimensionalidade dos dados, extraíndo fatores com base na variância explicada, o que possibilita compreender de forma mais clara as relações entre os itens de cada construto (Hair et al., 2018).

A extração dos fatores foi conduzida segundo o critério *eigenvalue* superior a 1 (Hayton et al., 2004), onde o *eigenvalue* representa a quantidade de variância explicada por cada fator (Hair et al., 2018). A utilização da rotação ortogonal *Varimax* contribuiu para simplificar a interpretação dos resultados, ao reduzir a complexidade dos *factor loading* e aumentar a clareza na distinção entre fatores (Hair et al., 2018). Esta abordagem é especialmente útil quando as variáveis apresentam cargas em múltiplos fatores, situação frequente em dados provenientes de inquéritos (Marôco, 2021b).

A determinação do número de fatores a reter constitui um passo crucial, uma vez que influencia diretamente a validade dos resultados. Segundo Hayton et al. (2004), esta escolha pode ser considerada até mais relevante do que a seleção do método fatorial ou do tipo de rotação, pois garante um equilíbrio entre parcimónia e adequação estatística. Uma extração excessiva de fatores pode fragmentar indevidamente a estrutura dos dados, enquanto uma extração insuficiente pode ocultar relações importantes (Hayton et al., 2004).

Adicionalmente, analisou-se a correlação item-total corrigida, que indica em que medida cada item contribui para a consistência interna do construto (Hair et al., 2018). Valores inferiores a 0,15 sugerem que o item pode não estar adequadamente associado ao fator e, por isso, deve ser considerado para eliminação, já valores acima de 0,30 são geralmente considerados aceitáveis e indicam boa contribuição (Wagner et al., 2005).

Além disso e conforme recomendado por Marôco (2021b), o conjunto de fatores retidos deve explicar pelo menos 50% da variância total das variáveis originais, assegurando assim uma representatividade mínima da estrutura subjacente.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos da análise de componentes principais. Verifica-se que a correlação de item-total corrigida não apresenta valores inferiores a 0,5, embora os itens UT5.0\_14, AQ5.0\_6 e PSOC\_3 se encontrem próximos desse limiar. Nesta análise, na maioria dos construtos, foi extraído apenas um fator. Contudo, observam-se duas exceções: no caso da Adoção da Qualidade 5.0, emergiram dois fatores distintos, sendo o primeiro composto pelos primeiros quatro itens relacionados com práticas de gestão da qualidade e o segundo associado aos dois itens restantes que abordam a integração de tecnologias na gestão da qualidade. Já no construto Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental, a extração também resultou em dois fatores, em que o primeiro agregou os indicadores de desempenho ambiental e operacional, enquanto o segundo concentrou as dimensões financeiras e sociais.

A análise da variância total explicada confirma que, em todos os construtos foram apresentados valores superiores a 50%, como recomendado por Marôco (2021b). Assim, e tendo em conta os resultados positivos da análise de componentes principais, decidiu-se não eliminar nenhum item e avançar para a análise fatorial confirmatória.

Tabela 10 – Análise de Componentes Principais

| Variável Latente                                   | Item    | Correlação de item-total corrigida | Número de fatores extraídos | Factor loading 1 | Factor loading 2 | Eigen-values | Variância total explicada (%) | Variância explicada cumulativa (%) |
|--|---------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <b>Adoção da Indústria 5.0 (AI5.0)</b>             | AI5.0_1 | 0,605                              |                             | 0,682            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_2 | 0,661                              |                             | 0,734            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_3 | 0,739                              |                             | 0,802            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_4 | 0,773                              |                             | 0,835            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_5 | 0,695                              | 1                           | 0,771            |                  | 5,356        | 59,507                        | 59,507                             |
|  | AI5.0_6 | 0,735                              |                             | 0,806            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_7 | 0,688                              |                             | 0,757            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_8 | 0,709                              |                             | 0,775            |                  |              |                               |                                    |
|  | AI5.0_9 | 0,702                              |                             | 0,771            |                  |              |                               |                                    |
| <b>Uso de Tecnologias da Indústria 5.0 (UT5.0)</b> | UT5.0_1 | 0,683                              |                             | 0,735            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_2 | 0,607                              |                             | 0,651            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_3 | 0,748                              | 1                           | 0,797            |                  | 8,041        | 57,438                        | 57,438                             |
|  | UT5.0_4 | 0,627                              |                             | 0,668            |                  |              |                               |                                    |

| Variável Latente                       | Item     | Correlação de item-total corrigida | Número de fatores extraídos | Factor loading 1 | Factor loading 2 | Eigen-values | Variância total explicada (%) | Variância explicada cumulativa (%) |
|--|----------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|
|  | UT5.0_5  | 0,769                              |                             | 0,804            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_6  | 0,804                              |                             | 0,840            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_7  | 0,689                              |                             | 0,743            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_8  | 0,624                              |                             | 0,680            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_9  | 0,779                              |                             | 0,820            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_10 | 0,776                              |                             | 0,831            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_11 | 0,765                              |                             | 0,821            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_12 | 0,738                              |                             | 0,790            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_13 | 0,733                              |                             | 0,786            |                  |              |                               |                                    |
|  | UT5.0_14 | 0,546                              |                             | 0,592            |                  |              |                               |                                    |
| <b>Adoção da Qualidade 5.0 (AQ5.0)</b> | AQ5.0_1  | 0,630                              |                             | 0,845            |                  |              |                               |                                    |
|  | AQ5.0_2  | 0,669                              |                             | 0,871            |                  |              |                               |                                    |
|  | AQ5.0_3  | 0,644                              | 2                           | 0,768            |                  | 3,525        | 58,743                        | 58,743                             |
|  | AQ5.0_4  | 0,719                              |                             | 0,724            |                  | 1,063        | 17,712                        | 76,455                             |
|  | AQ5.0_5  | 0,658                              |                             |                  | 0,873            |              |                               |                                    |
|  | AQ5.0_6  | 0,553                              |                             |                  | 0,918            |              |                               |                                    |
| <b>Práticas Sociais (PSOC)</b>         | PSOC_1   | 0,696                              |                             | 0,767            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_2   | 0,741                              |                             | 0,808            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_3   | 0,521                              |                             | 0,609            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_4   | 0,729                              |                             | 0,800            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_5   | 0,795                              | 1                           | 0,850            |                  | 5,572        | 61,912                        | 61,912                             |
|  | PSOC_6   | 0,801                              |                             | 0,858            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_7   | 0,797                              |                             | 0,844            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_8   | 0,735                              |                             | 0,786            |                  |              |                               |                                    |
|  | PSOC_9   | 0,666                              |                             | 0,729            |                  |              |                               |                                    |
| <b>Práticas Técnicas (PTEC)</b>        | PTEC_1   | 0,766                              |                             | 0,815            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_2   | 0,775                              |                             | 0,827            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_3   | 0,836                              |                             | 0,878            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_4   | 0,798                              |                             | 0,843            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_5   | 0,818                              | 1                           | 0,862            |                  | 6,335        | 70,391                        | 70,391                             |
|  | PTEC_6   | 0,751                              |                             | 0,801            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_7   | 0,816                              |                             | 0,861            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_8   | 0,721                              |                             | 0,775            |                  |              |                               |                                    |
|  | PTEC_9   | 0,842                              |                             | 0,882            |                  |              |                               |                                    |
| <b>Características das PME (CPME)</b>  | CPME_1   | 0,767                              |                             | 0,792            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_2   | 0,841                              |                             | 0,864            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_3   | 0,844                              | 1                           | 0,868            |                  | 12,640       | 70,222                        | 70,222                             |
|  | CPME_4   | 0,853                              |                             | 0,876            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_5   | 0,759                              |                             | 0,784            |                  |              |                               |                                    |

| Variável Latente   | Item    | Correlação de item-total corrigida | Número de fatores extraídos | Factor loading 1 | Factor loading 2 | Eigen-values | Variância total explicada (%) | Variância explicada cumulativa (%) |
|--|---------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|
|  | CPME_6  | 0,824                              |                             | 0,844            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_7  | 0,863                              |                             | 0,882            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_8  | 0,762                              |                             | 0,787            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_9  | 0,860                              |                             | 0,878            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_10 | 0,826                              |                             | 0,845            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_11 | 0,836                              |                             | 0,854            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_12 | 0,749                              |                             | 0,773            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_13 | 0,861                              |                             | 0,877            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_14 | 0,883                              |                             | 0,898            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_15 | 0,848                              |                             | 0,870            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_16 | 0,857                              |                             | 0,875            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_17 | 0,743                              |                             | 0,766            |                  |              |                               |                                    |
|  | CPME_18 | 0,691                              |                             | 0,723            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_1  | 0,720                              |                             | 0,859            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_2  | 0,742                              |                             | 0,869            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_3  | 0,744                              |                             | 0,856            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_4  | 0,794                              |                             | 0,840            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_5  | 0,725                              |                             | 0,821            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_6  | 0,777                              |                             | 0,571            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_7  | 0,832                              |                             | 0,637            |                  |              |                               |                                    |
|  | DESP_8  | 0,804                              |                             | 0,642            |                  |              |                               |                                    |
| <b>Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental (DESP)</b> | DESP_9  | 0,814                              |                             | 0,617            |                  | 11,670       | 61,423                        | 61,423                             |
|  | DESP_10 | 0,783                              | 2                           |                  | 0,606            | 1,809        | 9,519                         | 70,942                             |
|  | DESP_11 | 0,761                              |                             |                  | 0,621            |              |                               |                                    |
|  | DESP_12 | 0,755                              |                             |                  | 0,601            |              |                               |                                    |
|  | DESP_13 | 0,621                              |                             |                  | 0,849            |              |                               |                                    |
|  | DESP_14 | 0,713                              |                             |                  | 0,897            |              |                               |                                    |
|  | DESP_15 | 0,746                              |                             |                  | 0,871            |              |                               |                                    |
|  | DESP_16 | 0,770                              |                             |                  | 0,763            |              |                               |                                    |
|  | DESP_17 | 0,698                              |                             |                  | 0,559            |              |                               |                                    |
|  | DESP_18 | 0,778                              |                             |                  | 0,576            |              |                               |                                    |
|  | DESP_19 | 0,752                              |                             |                  | 0,556            |              |                               |                                    |

## 6 Modelo de Equações Estruturais

Para testar as hipóteses formuladas escolheu-se o modelo de equações estruturais (SEM) como técnica de análise multivariada. O SEM surgiu da necessidade de os investigadores compreenderem a estrutura e as interações entre fenómenos latentes (Tarka, 2018). Esta abordagem permite analisar simultaneamente impactos diretos e indiretos em relações causais pré-concebidas (Fan et al., 2016).

O SEM é composto por duas partes essenciais: o modelo de medida, que permite representar uma variável latente a partir de múltiplos indicadores observáveis, e o modelo estrutural, que corresponde ao modelo de trajetórias e especifica as relações entre variáveis dependentes e independentes (Hair et al., 2018).

Este capítulo apresenta os resultados obtidos, bem como as opções e etapas adotadas durante a avaliação do modelo de medida e do modelo estrutural, com recurso à extensão AMOS do *software* SPSS, permitindo a validação das hipóteses formuladas.

### 6.1 Modelo de Medida

A Análise Fatorial Confirmatória (CFA) é o método mais utilizado para a medição de variáveis latentes (Byrne, 2013; Fan et al., 2016). Esta técnica permite extrair o construto latente a partir de variáveis observáveis, assegurando que este partilha a maior parte da variância com os seus indicadores (Hair et al., 2018). No âmbito do SEM, a CFA possibilita testes rigorosos da estrutura fatorial e da qualidade das medidas, sendo amplamente aplicada em estudos (Hair et al., 2018).

Um passo preliminar essencial na análise de modelos de variáveis latentes consiste na validação do modelo de medida, que deve anteceder a avaliação do modelo estrutural (Hair et al., 2018). Para tal, a CFA é utilizada para verificar a validade dos indicadores. Apenas após a confirmação de que o modelo de medida apresenta resultados adequados é possível avançar com segurança para a avaliação do modelo estrutural e para a análise das hipóteses formuladas (Byrne, 2013).

De acordo com Hair et al. (2018), a validação do modelo de medida através da CFA requer a consideração de quatro passos fundamentais: i) Definir os construtos individuais; ii) Desenvolver o modelo de medida global; iii) Conceber o estudo de forma a obter resultados empíricos; iv) Avaliar a validade do modelo de medida.

Neste estudo, seguindo o enquadramento analítico definido nas secções anteriores e considerando a retenção das variáveis manifestas após a análise de fiabilidade (apresentada na subsecção 6.5), procedeu-se à construção do modelo de medida. O objetivo foi verificar se as variáveis manifestas representam adequadamente os construtos definidos teoricamente antes de avançar para o modelo estrutural.

Para a estimação do modelo, algumas especificações foram necessárias. Segundo Hair et al. (2018), uma característica central da CFA prende-se com o processo de “definição da escala” dos fatores latentes, dado que estes não possuem métrica própria, ou seja, não apresentam um intervalo de valores definido. Para tal, é necessário fixar uma das cargas fatoriais de cada construto a um valor específico (tipicamente 1), ou fixar a variância do construto (normalmente também em 1), atribuindo-lhe assim uma escala de referência. Assim, neste modelo procedeu-se à normalização dos construtos através da fixação da carga fatorial de cada construto em 1. Além disso, garantiu-se que cada construto fosse representado por, pelo menos, três variáveis manifestas tal como recomendado por Marôco (2021a).

O modelo de medida desenvolvido neste estudo é composto por 7 variáveis latentes e 84 variáveis manifestas, conforme ilustrado na Figura 17.

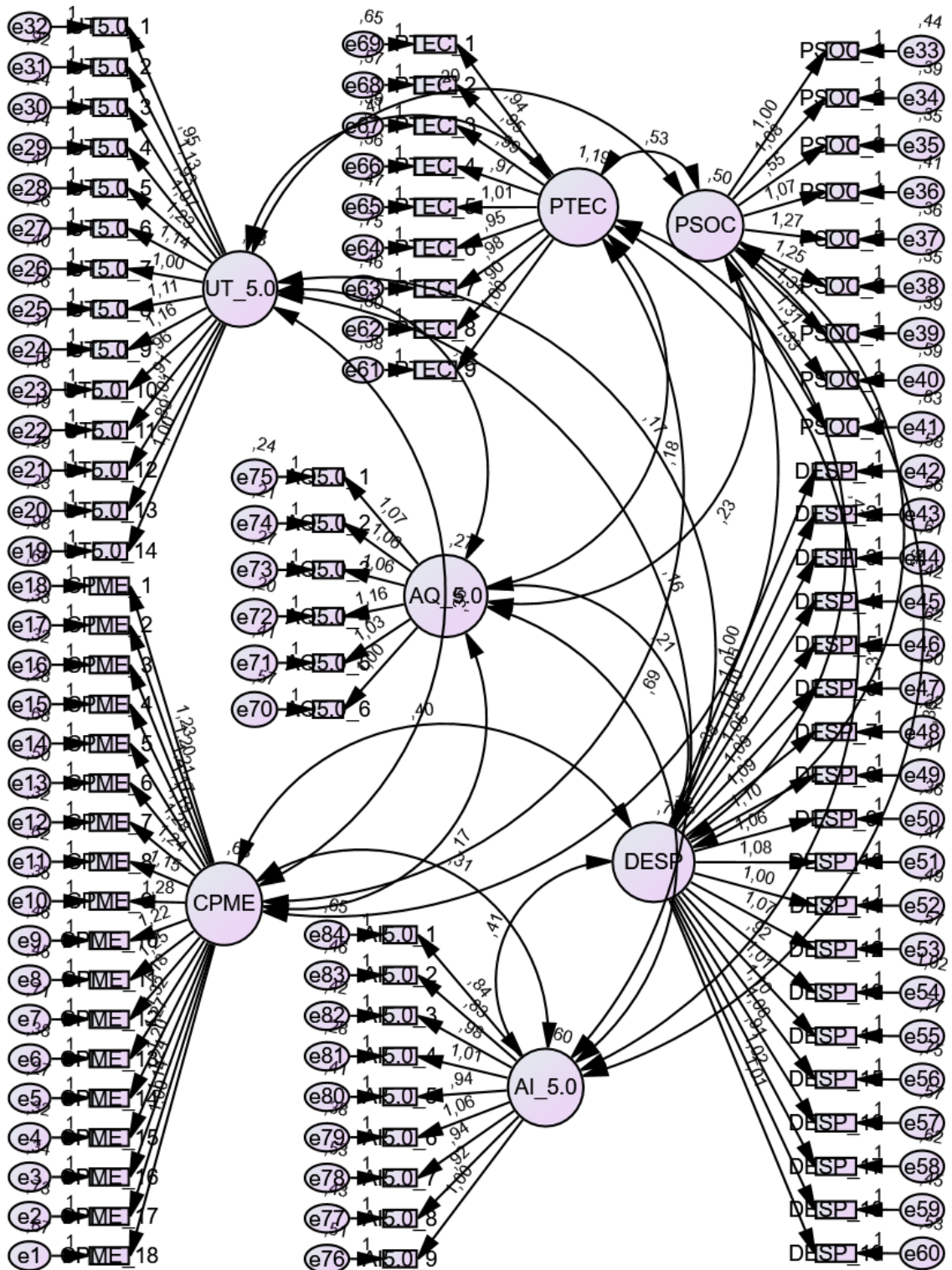


Figura 17 – Modelo de medida (original)

A fase de avaliação da qualidade do modelo tem como objetivo avaliar o quão bem o modelo teórico é capaz de reproduzir a estrutura correlacional das variáveis manifestas na amostra sob

estudo (Marôco, 2021a). Atualmente, existem dezenas de estatísticas que podem ser utilizados para a avaliação da qualidade do ajustamento (Marôco, 2021a). Dado que não existem regras rígidas sobre quais índices de ajustamento devem ser reportados, e os valores de referência de alguns índices têm variado ao longo do tempo (Jackson et al., 2009), alguns autores sugerem que o *Comparative Fit Index* (CFI), o *Tucker-Lewis Index* (TLI) e o *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) é suficiente (Jackson et al., 2009; Schreiber, 2008; Xia & Yang, 2019). Neste estudo, seguiram-se as recomendações de Marôco (2021a), considerando os seguintes índices: Qui-quadrado por graus de liberdade ( $\chi^2/gf$ ), CFI, *Goodness of Fit Index* (GFI), TLI, *Normed Fit Index* (NFI), *Parsimony-adjusted GFI* (PGFI), *Parsimony-adjusted CFI* (PCFI) e RMSEA.

Os valores de referência destes índices estão detalhados na Tabela 11, de acordo com Marôco (2021a).

Tabela 11 – Estatísticas e Índices de qualidade de ajustamento, com respetivos valores de referência (Marôco, 2021a, p. 55)

| <b>Estatística</b>                      | <b>Abreviação</b>                   | <b>Valores de Referência</b>   |
|---|-------------------------------------|--|
| Qui-quadrado e p-value                  | <b><math>\chi^2</math>; p-value</b> | Quanto menor, melhor; p-value $\geq 0,05$  |
| Qui-quadrado por graus de liberdade     | <b><math>\chi^2 / gf</math></b>     | > 5 - Ajustamento mau<br>]2;5] - Ajustamento aceitável<br>]1;2] - Ajustamento bom<br>~1 - Ajustamento muito bom      |
| Comparative Fit Index                   | <b>CFI</b>                          | < 0,8 - Ajustamento mau  |
| Goodness of Fit Index                   | <b>GFI</b>                          | [0,8; 0,9[ - Ajustamento sofrível  |
| Tucker-Lewis Index                      | <b>TLI</b>                          | [0,9; 0,95[ - Ajustamento bom  |
| Normed Fit Index                        | <b>NFI</b>                          | $\geq 0,95$ - Ajustamento muito bom  |
| Parsimony-adjusted GFI                  | <b>PGFI</b>                         | < 0,6 - Ajustamento mau  |
| Parsimony-adjusted CFI                  | <b>PCFI</b>                         | [0,6; 0,8[ - Ajustamento bom<br>$\geq 0,8$ - Ajustamento muito bom   |
| Root Mean Square Error of Approximation | <b>RMSEA</b>                        | > 0,08–0,10 - Ajustamento inaceitável<br>]0,05; 0,08[ - Ajustamento aceitável<br>$\leq 0,05$ - Ajustamento muito bom |

O qui-quadrado ( $\chi^2$ ) avalia a diferença entre a matriz de covariância observada e a estimada pelo modelo, sendo ideal quando  $p > 0,05$  (Fan et al., 2016; Hair et al., 2018). Contudo, esta estatística é sensível ao tamanho da amostra e a desvios da normalidade (Jackson et al., 2009). Para contornar estas limitações, utiliza-se frequentemente o RMSEA, que representa melhor o ajustamento do modelo à população e não apenas à amostra utilizada, sendo que valores mais baixos indicam melhor ajustamento (Hair et al., 2018).

Os índices incrementais, como CFI, TLI e NFI, comparam o modelo em causa com um modelo nulo, em que todas as variáveis são consideradas independentes, ajustando o valor do qui-quadrado à complexidade do modelo (Bentler, 1990; Hair et al., 2018). O CFI é particularmente valorizado pela sua relativa insensibilidade à complexidade do modelo e à amostra, sendo amplamente reportado em estudos que usam SEM (Bentler, 1990; Hu & Bentler, 1999). O TLI,

por sua vez, ajusta adicionalmente o índice pela parcimónia do modelo, penalizando modelos demasiado complexos e tornando a interpretação mais conservadora (Hair et al., 2018; Marôco, 2021a). Já o NFI apresenta limitações em modelos complexos, podendo inflacionar artificialmente o ajustamento, o que limita a sua aplicabilidade em comparação com o CFI ou o TLI (Hair et al., 2018; Jackson et al., 2009).

O GFI foi uma primeira tentativa de produzir um índice menos sensível ao tamanho da amostra (Hair et al., 2018). Este mede a proporção de variâncias e covariâncias explicadas pelo modelo em relação à matriz observada, sendo que valores acima de 0,90 indicam bom ajustamento e valores próximos de 0,95 indicam ajustamento muito bom (Hair et al., 2018; Marsh et al., 1988).

Os índices de parcimónia, como PCFI e PGFI, ajustam os índices relativos de acordo com a complexidade do modelo, compensando aumentos artificiais de ajustamento causados pela inclusão de mais parâmetros (Marôco, 2010; Mulaik et al., 1989). De forma semelhante, o PNFI ajusta o NFI multiplicando-o pela razão de parcimónia, favorecendo modelos mais simples e proporcionando uma medida de ajustamento relativa mais conservadora (Hair et al., 2018; Mulaik et al., 1989).

A Tabela 12 apresenta uma avaliação da qualidade global de ajustamento do modelo de medida original, com base nas estatísticas previamente mencionadas e nos respetivos valores de referência.

Tabela 12 – Qualidade global de ajustamento do modelo de medida original

| <b>Estatística/Abreviação</b>       | <b>Valores do Modelo de medida</b> | <b>Qualidade do modelo</b> |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| <b><math>\chi^2</math>; p-value</b> | 10389,528; 0,000                   |                            |
| <b><math>\chi^2 / gl</math></b>     | 3,073                              | Ajustamento aceitável      |
| <b>CFI</b>                          | 0,798                              | Ajustamento mau            |
| <b>GFI</b>                          | 0,581                              | Ajustamento mau            |
| <b>TLI</b>                          | 0,791                              | Ajustamento mau            |
| <b>NFI</b>                          | 0,727                              | Ajustamento mau            |
| <b>PGFI</b>                         | 0,55                               | Ajustamento mau            |
| <b>PCFI</b>                         | 0,774                              | Ajustamento bom            |
| <b>RMSEA</b>                        | 0,069                              | Ajustamento aceitável      |

Os resultados indicam que o modelo de medida original não apresenta um ajustamento adequado aos dados. O valor da estatística qui-quadrado de ( $\chi^2 = 10389,528$ ) e o p-value < 0,000 sugere a rejeição da hipótese nula de que o modelo se ajusta perfeitamente à população. No entanto, importa notar que a estatística  $\chi^2$  é extremamente sensível ao tamanho da amostra e a desvios da normalidade, podendo influenciar os resultados (Jackson et al., 2009).

Em relação aos restantes índices de ajustamento, observa-se que alguns indicadores revelam problemas significativos. O CFI (0,798), o GFI (0,581), o TLI (0,791) e o NFI (0,727) apontam para um ajustamento mau, situando-se abaixo dos valores recomendados na literatura. O PGFI (0,55)

confirma igualmente um ajustamento insatisfatório, enquanto o PCFI (0,774) sugere uma boa qualidade de ajustamento. O valor do RMSEA (0,069) enquadra-se dentro dos limites considerados aceitáveis.

De forma global, estes resultados demonstram que, embora o modelo apresente alguns índices satisfatórios, a sua qualidade global é insuficiente, exigindo uma revisão e eventual reespecificação, de modo a alcançar um ajustamento mais adequado aos dados.

Neste sentido, tornou-se essencial avaliar a fiabilidade e a validade dos construtos e as suas respetivas variáveis manifestas. A validade do construto procura verificar se os itens representam de forma adequada o construto latente, ou seja, se convergem e partilham uma elevada proporção de variância comum, assegurando a validade convergente (Hair et al., 2018). Neste âmbito, espera-se que todas as cargas fatoriais sejam estatisticamente significativas, com valores padronizados (SRW - *Standardized Regression Weights*) superiores a 0,50 e, preferencialmente, acima de 0,70 (Hair et al., 2018). O quadrado dessas cargas ( $R^2$  - *squared standardised loadings*) indica a proporção de variância de cada item explicada pelo respetivo construto, sendo valores iguais ou superiores a 0,25 indicadores de fiabilidade individual adequada (Hair et al., 2018; Marôco, 2010).

A validade convergente é também avaliada através da Variância Média Extraída (AVE), que corresponde à média da variância comum dos itens de cada construto (Hair et al., 2018). Valores de AVE inferiores a 0,50 indicam que, em média, existe mais erro do que variância partilhada entre os itens e o fator latente, enquanto valores superiores indicam convergência adequada (Hair et al., 2018).

Outro indicador relevante é verificar a Fiabilidade (Composta) do Construto (CR - *construct (composite) reliability*), que mede a consistência interna dos itens que formam cada construto. O CR é calculado somando as cargas fatoriais ao quadrado e dividindo esse valor pela soma das cargas fatoriais ao quadrado mais a soma das variâncias de erro. Valores iguais ou superiores a 0,70 sugerem consistência adequada, demonstrando que os itens medem de forma consistente o mesmo conceito (Farrell & Rudd, 2009; Hair et al., 2018).

A Tabela 13 apresenta os valores dos *Standardized Regression Weights* (SRW), valores do  $R^2$ , CR e AVE, permitindo avaliar a validade convergente dos construtos incluídos no modelo.

Tabela 13 – Fiabilidade das variáveis observadas e latentes do modelo de medida original

| Variáveis |      |        | SRW   | R <sup>2</sup> | CR    | AVE   |
|-----------|------|--------|-------|----------------|-------|-------|
| AI5.0_1   | <--- | AI_5.0 | 0,626 | 0,392          |       |       |
| AI5.0_2   | <--- | AI_5.0 | 0,688 | 0,473          |       |       |
| AI5.0_3   | <--- | AI_5.0 | 0,759 | 0,577          |       |       |
| AI5.0_4   | <--- | AI_5.0 | 0,827 | 0,683          | 0,915 | 0,545 |
| AI5.0_5   | <--- | AI_5.0 | 0,750 | 0,563          |       |       |
| AI5.0_6   | <--- | AI_5.0 | 0,800 | 0,640          |       |       |
| AI5.0_7   | <--- | AI_5.0 | 0,707 | 0,500          |       |       |

| Variáveis |      |        | SRW   | R <sup>2</sup> | CR    | AVE   |
|-----------|------|--------|-------|----------------|-------|-------|
| AI5.0_8   | <--- | AI_5.0 | 0,735 | 0,540          |       |       |
| AI5.0_9   | <--- | AI_5.0 | 0,735 | 0,540          |       |       |
| UT5.0_1   | <--- | UT_5.0 | 0,714 | 0,510          |       |       |
| UT5.0_2   | <--- | UT_5.0 | 0,609 | 0,371          |       |       |
| UT5.0_3   | <--- | UT_5.0 | 0,779 | 0,607          |       |       |
| UT5.0_4   | <--- | UT_5.0 | 0,630 | 0,397          |       |       |
| UT5.0_5   | <--- | UT_5.0 | 0,782 | 0,611          |       |       |
| UT5.0_6   | <--- | UT_5.0 | 0,827 | 0,684          |       |       |
| UT5.0_7   | <--- | UT_5.0 | 0,720 | 0,518          | 0,943 | 0,543 |
| UT5.0_8   | <--- | UT_5.0 | 0,643 | 0,413          |       |       |
| UT5.0_9   | <--- | UT_5.0 | 0,806 | 0,650          |       |       |
| UT5.0_10  | <--- | UT_5.0 | 0,829 | 0,687          |       |       |
| UT5.0_11  | <--- | UT_5.0 | 0,810 | 0,656          |       |       |
| UT5.0_12  | <--- | UT_5.0 | 0,775 | 0,601          |       |       |
| UT5.0_13  | <--- | UT_5.0 | 0,772 | 0,596          |       |       |
| UT5.0_14  | <--- | UT_5.0 | 0,551 | 0,303          |       |       |
| AQ5.0_1   | <--- | AQ_5.0 | 0,746 | 0,557          |       |       |
| AQ5.0_2   | <--- | AQ_5.0 | 0,766 | 0,587          |       |       |
| AQ5.0_3   | <--- | AQ_5.0 | 0,725 | 0,526          | 0,860 | 0,508 |
| AQ5.0_4   | <--- | AQ_5.0 | 0,805 | 0,647          |       |       |
| AQ5.0_5   | <--- | AQ_5.0 | 0,643 | 0,413          |       |       |
| AQ5.0_6   | <--- | AQ_5.0 | 0,565 | 0,319          |       |       |
| PTEC_1    | <--- | PTEC   | 0,788 | 0,620          |       |       |
| PTEC_2    | <--- | PTEC   | 0,808 | 0,653          |       |       |
| PTEC_3    | <--- | PTEC   | 0,867 | 0,752          |       |       |
| PTEC_4    | <--- | PTEC   | 0,815 | 0,665          |       |       |
| PTEC_5    | <--- | PTEC   | 0,849 | 0,721          | 0,948 | 0,668 |
| PTEC_6    | <--- | PTEC   | 0,766 | 0,586          |       |       |
| PTEC_7    | <--- | PTEC   | 0,846 | 0,717          |       |       |
| PTEC_8    | <--- | PTEC   | 0,739 | 0,546          |       |       |
| PTEC_9    | <--- | PTEC   | 0,869 | 0,756          |       |       |
| PSOC_1    | <--- | PSOC   | 0,729 | 0,532          |       |       |
| PSOC_2    | <--- | PSOC   | 0,771 | 0,595          |       |       |
| PSOC_3    | <--- | PSOC   | 0,549 | 0,302          |       |       |
| PSOC_4    | <--- | PSOC   | 0,760 | 0,577          |       |       |
| PSOC_5    | <--- | PSOC   | 0,832 | 0,691          | 0,924 | 0,576 |
| PSOC_6    | <--- | PSOC   | 0,833 | 0,693          |       |       |
| PSOC_7    | <--- | PSOC   | 0,829 | 0,687          |       |       |
| PSOC_8    | <--- | PSOC   | 0,769 | 0,592          |       |       |
| PSOC_9    | <--- | PSOC   | 0,718 | 0,515          |       |       |
| CPME_1    | <--- | CPME   | 0,774 | 0,599          | 0,975 | 0,685 |

| Variáveis |      |      | SRW   | R <sup>2</sup> | CR    | AVE   |
|-----------|------|------|-------|----------------|-------|-------|
| CPME_2    | <--- | CPME | 0,864 | 0,747          |       |       |
| CPME_3    | <--- | CPME | 0,870 | 0,756          |       |       |
| CPME_4    | <--- | CPME | 0,879 | 0,772          |       |       |
| CPME_5    | <--- | CPME | 0,764 | 0,584          |       |       |
| CPME_6    | <--- | CPME | 0,830 | 0,690          |       |       |
| CPME_7    | <--- | CPME | 0,876 | 0,768          |       |       |
| CPME_8    | <--- | CPME | 0,767 | 0,589          |       |       |
| CPME_9    | <--- | CPME | 0,871 | 0,758          |       |       |
| CPME_10   | <--- | CPME | 0,829 | 0,687          |       |       |
| CPME_11   | <--- | CPME | 0,838 | 0,703          |       |       |
| CPME_12   | <--- | CPME | 0,753 | 0,568          |       |       |
| CPME_13   | <--- | CPME | 0,869 | 0,755          |       |       |
| CPME_14   | <--- | CPME | 0,895 | 0,801          |       |       |
| CPME_15   | <--- | CPME | 0,867 | 0,752          |       |       |
| CPME_16   | <--- | CPME | 0,868 | 0,754          |       |       |
| CPME_17   | <--- | CPME | 0,738 | 0,544          |       |       |
| CPME_18   | <--- | CPME | 0,708 | 0,501          |       |       |
| DESP_1    | <--- | DESP | 0,748 | 0,559          |       |       |
| DESP_2    | <--- | DESP | 0,768 | 0,590          |       |       |
| DESP_3    | <--- | DESP | 0,768 | 0,589          |       |       |
| DESP_4    | <--- | DESP | 0,813 | 0,660          |       |       |
| DESP_5    | <--- | DESP | 0,749 | 0,562          |       |       |
| DESP_6    | <--- | DESP | 0,797 | 0,635          |       |       |
| DESP_7    | <--- | DESP | 0,854 | 0,729          |       |       |
| DESP_8    | <--- | DESP | 0,829 | 0,687          |       |       |
| DESP_9    | <--- | DESP | 0,833 | 0,694          |       |       |
| DESP_10   | <--- | DESP | 0,803 | 0,645          | 0,965 | 0,593 |
| DESP_11   | <--- | DESP | 0,774 | 0,600          |       |       |
| DESP_12   | <--- | DESP | 0,773 | 0,598          |       |       |
| DESP_13   | <--- | DESP | 0,613 | 0,376          |       |       |
| DESP_14   | <--- | DESP | 0,701 | 0,492          |       |       |
| DESP_15   | <--- | DESP | 0,736 | 0,542          |       |       |
| DESP_16   | <--- | DESP | 0,774 | 0,600          |       |       |
| DESP_17   | <--- | DESP | 0,704 | 0,495          |       |       |
| DESP_18   | <--- | DESP | 0,792 | 0,627          |       |       |
| DESP_19   | <--- | DESP | 0,765 | 0,586          |       |       |

Os resultados mostram que os valores de SRW se encontram, em grande parte, acima do limiar de 0,70, assegurando a validade convergente, ainda que alguns itens apresentem valores mais baixos, como por exemplo UT5.0\_14 (0,551), AQ5.0\_6 (0,565) e PSOC\_3 (0,549). Os valores de R<sup>2</sup> estão, todos acima de 0,25, confirmando a fiabilidade individual dos indicadores. O CR apresenta valores muito satisfatórios em todas as variáveis latentes ( $\geq 0,70$ ), evidenciando

elevada consistência interna. Já os valores de AVE encontram-se todos acima de 0,50, embora muito próximos do limite, o que sugere que, embora os itens partilhem variância comum suficiente, existe espaço para melhorias na validade convergente de determinados construtos.

Na análise fatorial confirmatória, além da validade convergente, é igualmente importante avaliar a validade discriminante, que corresponde ao grau em que construtos conceitualmente semelhantes se distinguem entre si (Hair et al., 2018). Este tipo de validade procura assegurar que cada variável latente capta mais variância das suas variáveis observadas do que a que poderia ser atribuída ao erro de medida ou a construtos externos semelhantes (Farrell & Rudd, 2009). Assim, espera-se que os construtos apresentem correlações baixas entre si, confirmando que medem conceitos distintos e não redundantes (Hair et al., 2018). A presença de *cross-loadings* elevadas poderia indicar problemas de validade discriminante, comprometendo o ajustamento global do modelo (Hair et al., 2018).

Para esta avaliação, recorreu-se ao critério de *Fornell e Larcker*, que compara a raiz quadrada da AVE de cada construto com as correlações entre os fatores. A Tabela 14 apresenta os resultados desta análise, em que os valores destacados na diagonal correspondem à raiz quadrada da AVE para cada construto. Esses valores devem ser superiores aos valores de correlação correspondentes e, segundo Fornell & Larcker (1981) se essa condição for satisfeita, isso sugere que o construto capta mais variância dos seus próprios indicadores do que partilha com outros construtos.

Conforme se observa na Tabela 14, em todos os casos a raiz quadrada da AVE é superior às correlações entre construtos, confirmando que cada fator apresenta maior variância explicada pelos seus próprios indicadores do que a partilhada com outros. Estes resultados validam empiricamente a existência de validade discriminante no modelo de medida original, assegurando que os construtos avaliados são conceitualmente distintos.

Tabela 14 – Validade Discriminante – modelo de medida original

|        | AI_5.0       | UT_5.0       | AQ_5.0       | PTEC         | PSOC         | CPME         | DESP         |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AI_5.0 | <b>0,738</b> |              |              |              |              |              |              |
| UT_5.0 | 0,321        | <b>0,737</b> |              |              |              |              |              |
| AQ_5.0 | 0,639        | 0,197        | <b>0,713</b> |              |              |              |              |
| PTEC   | 0,364        | 0,661        | 0,314        | <b>0,817</b> |              |              |              |
| PSOC   | 0,667        | 0,432        | 0,631        | 0,689        | <b>0,759</b> |              |              |
| CPME   | 0,493        | 0,661        | 0,407        | 0,768        | 0,656        | <b>0,828</b> |              |
| DESP   | 0,615        | 0,311        | 0,483        | 0,437        | 0,605        | 0,567        | <b>0,770</b> |

Após a análise da evolução do modelo inicial, recorreu-se à análise dos Índices de Modificação (IM) disponibilizados pelo AMOS, prática comum em processos de reespecificação de modelos. Estes índices estimam a redução da estatística  $\chi^2$  do modelo, se um parâmetro fixo ou uma restrição de igualdade entre parâmetros for libertado, ou se erros de medida forem correlacionados, ou se novas trajetórias estruturais forem adicionadas, depois de considerada

a reestimação do modelo e a variação dos graus de liberdade associada (Marôco, 2021a). Contudo, importa salientar, conforme defendido por Marôco (2021a), que tais alterações apenas devem ser realizadas quando sustentadas por fundamentos teóricos robustos. Assim, após uma avaliação criteriosa da viabilidade teórica, procedeu-se à reespecificação do modelo, correlacionando erros de alguns itens, conforme ilustrado na Figura 18.

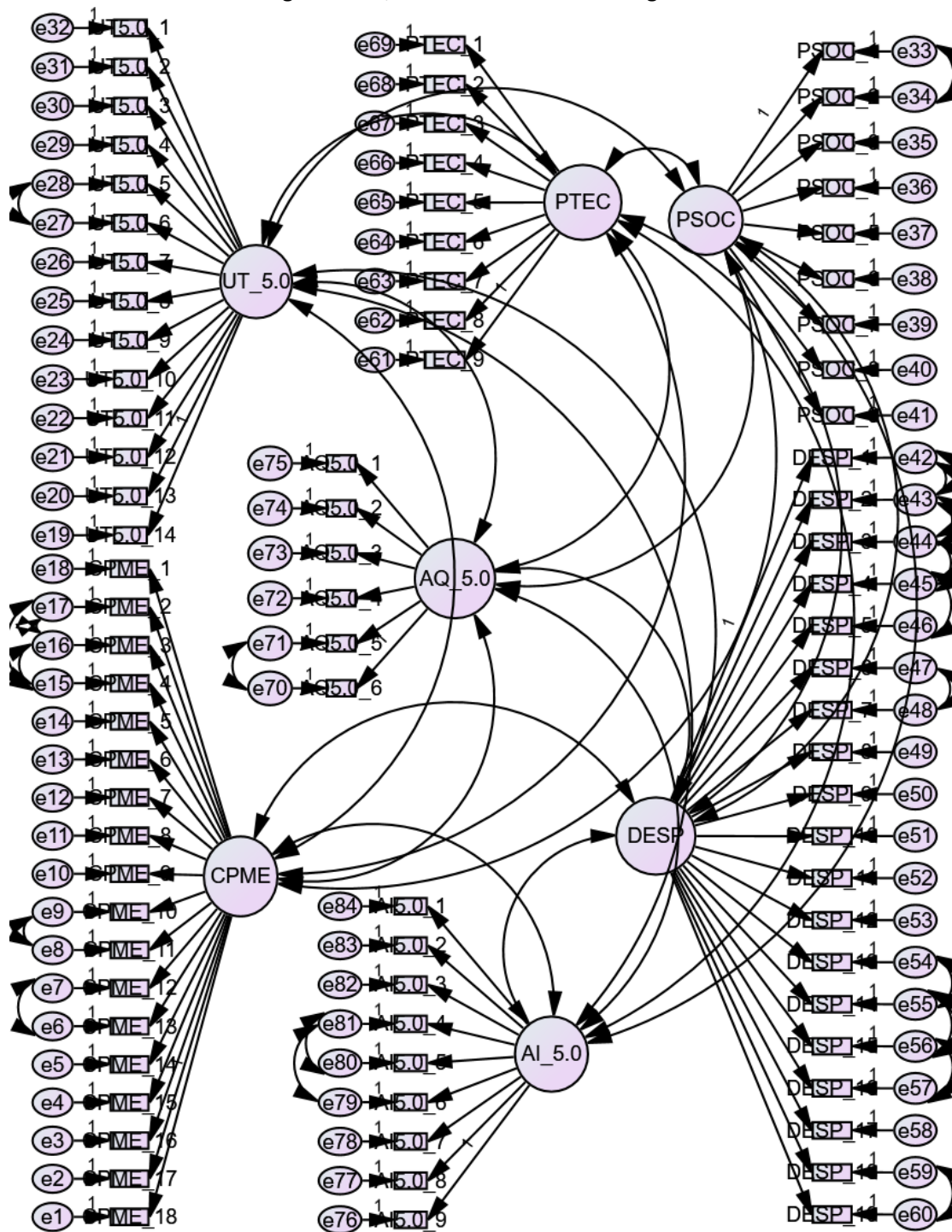


Figura 18 – Reespecificação do modelo de medida

A Tabela 15 apresenta os índices de ajustamento do modelo reespecificado. O valor de  $\chi^2 = 7624,514$  e p-value de 0,000 continua a indicar a rejeição da hipótese que o modelo se ajusta perfeitamente à população, mas, como referido anteriormente, esta estatística é fortemente influenciada pela dimensão da amostra e é extremamente sensível a violação da normalidade. Contudo, os restantes indicadores evidenciam melhorias relevantes. O rácio  $\chi^2/\text{gl}$  (2,271) diminuiu, aproximando-se mais dos valores de referência, e o RMSEA (0,054) continuou a refletir um ajustamento aceitável. Os restantes índices também registaram avanços (CFI = 0,877; TLI = 0,872; NFI = 0,800) que embora ainda abaixo do limiar ideal, situam-se agora em níveis considerados razoáveis. Além disso, os valores (PGFI = 0,642; PCFI = 0,844) reforçam a perceção de um modelo mais parcimonioso e com um melhor ajustamento.

Tabela 15 – Qualidade global de ajustamento após a reespecificação do modelo de medida

| Estatística/Abreviação | Valores do Modelo de medida | Qualidade do modelo   |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| $\chi^2$ ; p-value     | 7624,514; 0,000             |                       |
| $\chi^2 / \text{gl}$   | 2,271                       | Ajustamento aceitável |
| CFI                    | 0,877                       | Ajustamento sofrível  |
| GFI                    | 0,683                       | Ajustamento mau       |
| TLI                    | 0,872                       | Ajustamento sofrível  |
| NFI                    | 0,800                       | Ajustamento sofrível  |
| PGFI                   | 0,642                       | Ajustamento bom       |
| PCFI                   | 0,844                       | Ajustamento muito bom |
| RMSEA                  | 0,054                       | Ajustamento aceitável |

Para confirmar estatisticamente se o modelo reespecificado apresenta, de facto, uma melhoria significativa relativamente ao modelo original, foi conduzido o teste da diferença de qui-quadrado ( $\chi^2_{diff}$ ), segundo as recomendações de Schermelleh-Engel et al. (2003). De acordo com Marôco (2010), as hipóteses a testar são:

$H_0: X_A^2 = X_B^2$  (O modelo reespecificado e o modelo original apresentam a mesma qualidade de ajustamento)

$H_1: X_A^2 \neq X_B^2$  (A qualidade de ajustamento difere entre os dois modelos)

A estatística do teste é obtida pela seguinte equação (Schermelleh-Engel et al., 2003):

$$X_{diff}^2(df_{diff}) = X_A^2(df_A) - X_B^2(df_B)$$

A representa o modelo mais restrito (menos parâmetros, mais graus de liberdade) e o B a versão menos restrita (mais parâmetros, menos graus de liberdade). Calculando a diferença de qui-quadrado, obtém-se:

$$X_{diff}^2 = X_A^2 - X_B^2 = 10389,528 - 7624,514 = 2765,014$$

A diferença dos graus de liberdade entre os modelos é:

$$df_{diff} = df_A - df_B = 3381 - 3357 = 24$$

Para avaliar esta diferença, compara-se o valor da diferença obtido com o valor crítico de  $\chi^2$  para 24 graus de liberdade ao nível de confiança de 95%, que é 36,415. Como a diferença observada (2765,014) excede largamente o valor crítico (36,415), rejeita-se a hipótese nula, confirmando que o modelo reespecificado apresenta um ajustamento significativamente superior ao modelo original, o que evidencia que o modelo reespecificado descreve melhor a estrutura de correlações observada entre os itens da amostra (Marôco, 2010).

Para a reespecificação do modelo de medida, também se avaliou a fiabilidade e a validade convergente dos construtos. A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos para os valores de *Standardized Regression Weights* (SRW),  $R^2$ , *Construct Reliability* (CR) e *Average Variance Extracted* (AVE).

Tabela 16 – Fiabilidade das variáveis observadas e latentes – reespecificação do modelo de medida

| Variáveis |      |        | SRW   | R <sup>2</sup> | CR    | AVE   |
|-----------|------|--------|-------|----------------|-------|-------|
| AI5.0_1   | <--- | AI_5.0 | 0,653 | 0,427          |       |       |
| AI5.0_2   | <--- | AI_5.0 | 0,698 | 0,488          |       |       |
| AI5.0_3   | <--- | AI_5.0 | 0,779 | 0,607          |       |       |
| AI5.0_4   | <--- | AI_5.0 | 0,778 | 0,606          |       |       |
| AI5.0_5   | <--- | AI_5.0 | 0,696 | 0,485          | 0,913 | 0,538 |
| AI5.0_6   | <--- | AI_5.0 | 0,747 | 0,558          |       |       |
| AI5.0_7   | <--- | AI_5.0 | 0,722 | 0,521          |       |       |
| AI5.0_8   | <--- | AI_5.0 | 0,758 | 0,575          |       |       |
| AI5.0_9   | <--- | AI_5.0 | 0,762 | 0,581          |       |       |
| UT5.0_1   | <--- | UT_5.0 | 0,713 | 0,597          |       |       |
| UT5.0_2   | <--- | UT_5.0 | 0,602 | 0,636          |       |       |
| UT5.0_3   | <--- | UT_5.0 | 0,778 | 0,536          |       |       |
| UT5.0_4   | <--- | UT_5.0 | 0,622 | 0,635          |       |       |
| UT5.0_5   | <--- | UT_5.0 | 0,744 | 0,337          |       |       |
| UT5.0_6   | <--- | UT_5.0 | 0,797 | 0,238          |       |       |
| UT5.0_7   | <--- | UT_5.0 | 0,723 | 0,620          | 0,942 | 0,539 |
| UT5.0_8   | <--- | UT_5.0 | 0,644 | 0,652          |       |       |
| UT5.0_9   | <--- | UT_5.0 | 0,807 | 0,753          |       |       |
| UT5.0_10  | <--- | UT_5.0 | 0,834 | 0,664          |       |       |
| UT5.0_11  | <--- | UT_5.0 | 0,825 | 0,720          |       |       |
| UT5.0_12  | <--- | UT_5.0 | 0,783 | 0,586          |       |       |
| UT5.0_13  | <--- | UT_5.0 | 0,784 | 0,717          |       |       |
| UT5.0_14  | <--- | UT_5.0 | 0,547 | 0,547          |       |       |
| AQ5.0_1   | <--- | AQ_5.0 | 0,773 | 0,757          |       |       |
| AQ5.0_2   | <--- | AQ_5.0 | 0,797 | 0,577          |       |       |
| AQ5.0_3   | <--- | AQ_5.0 | 0,732 | 0,629          | 0,852 | 0,497 |
| AQ5.0_4   | <--- | AQ_5.0 | 0,797 | 0,509          |       |       |
| AQ5.0_5   | <--- | AQ_5.0 | 0,581 | 0,589          |       |       |
| AQ5.0_6   | <--- | AQ_5.0 | 0,488 | 0,536          |       |       |

| Variáveis |      |      | SRW   | R <sup>2</sup> | CR    | AVE   |
|-----------|------|------|-------|----------------|-------|-------|
| PTEC_1    | <--- | PTEC | 0,787 | 0,486          |       |       |
| PTEC_2    | <--- | PTEC | 0,808 | 0,362          |       |       |
| PTEC_3    | <--- | PTEC | 0,867 | 0,621          |       |       |
| PTEC_4    | <--- | PTEC | 0,815 | 0,642          |       |       |
| PTEC_5    | <--- | PTEC | 0,849 | 0,692          | 0,948 | 0,669 |
| PTEC_6    | <--- | PTEC | 0,766 | 0,724          |       |       |
| PTEC_7    | <--- | PTEC | 0,847 | 0,676          |       |       |
| PTEC_8    | <--- | PTEC | 0,740 | 0,711          |       |       |
| PTEC_9    | <--- | PTEC | 0,870 | 0,601          |       |       |
| PSOC_1    | <--- | PSOC | 0,696 | 0,529          |       |       |
| PSOC_2    | <--- | PSOC | 0,743 | 0,616          |       |       |
| PSOC_3    | <--- | PSOC | 0,541 | 0,517          |       |       |
| PSOC_4    | <--- | PSOC | 0,762 | 0,520          |       |       |
| PSOC_5    | <--- | PSOC | 0,841 | 0,495          | 0,922 | 0,572 |
| PSOC_6    | <--- | PSOC | 0,840 | 0,516          |       |       |
| PSOC_7    | <--- | PSOC | 0,837 | 0,605          |       |       |
| PSOC_8    | <--- | PSOC | 0,778 | 0,701          |       |       |
| PSOC_9    | <--- | PSOC | 0,719 | 0,705          |       |       |
| CPME_1    | <--- | CPME | 0,773 | 0,707          |       |       |
| CPME_2    | <--- | CPME | 0,846 | 0,580          |       |       |
| CPME_3    | <--- | CPME | 0,847 | 0,293          |       |       |
| CPME_4    | <--- | CPME | 0,856 | 0,552          |       |       |
| CPME_5    | <--- | CPME | 0,771 | 0,484          |       |       |
| CPME_6    | <--- | CPME | 0,836 | 0,509          |       |       |
| CPME_7    | <--- | CPME | 0,874 | 0,362          |       |       |
| CPME_8    | <--- | CPME | 0,766 | 0,605          |       |       |
| CPME_9    | <--- | CPME | 0,877 | 0,387          |       |       |
| CPME_10   | <--- | CPME | 0,830 | 0,553          | 0,974 | 0,680 |
| CPME_11   | <--- | CPME | 0,838 | 0,635          |       |       |
| CPME_12   | <--- | CPME | 0,749 | 0,522          |       |       |
| CPME_13   | <--- | CPME | 0,865 | 0,415          |       |       |
| CPME_14   | <--- | CPME | 0,899 | 0,651          |       |       |
| CPME_15   | <--- | CPME | 0,861 | 0,695          |       |       |
| CPME_16   | <--- | CPME | 0,871 | 0,680          |       |       |
| CPME_17   | <--- | CPME | 0,746 | 0,614          |       |       |
| CPME_18   | <--- | CPME | 0,708 | 0,615          |       |       |
| DESP_1    | <--- | DESP | 0,703 | 0,299          |       |       |
| DESP_2    | <--- | DESP | 0,721 | 0,598          |       |       |
| DESP_3    | <--- | DESP | 0,719 | 0,716          | 0,963 | 0,580 |
| DESP_4    | <--- | DESP | 0,785 | 0,718          |       |       |
| DESP_5    | <--- | DESP | 0,727 | 0,734          |       |       |

| Variáveis |      |      | SRW   | R <sup>2</sup> | CR | AVE |
|-----------|------|------|-------|----------------|----|-----|
| DESP_6    | <--- | DESP | 0,775 | 0,594          |    |     |
| DESP_7    | <--- | DESP | 0,843 | 0,699          |    |     |
| DESP_8    | <--- | DESP | 0,822 | 0,764          |    |     |
| DESP_9    | <--- | DESP | 0,851 | 0,603          |    |     |
| DESP_10   | <--- | DESP | 0,832 | 0,770          |    |     |
| DESP_11   | <--- | DESP | 0,801 | 0,689          |    |     |
| DESP_12   | <--- | DESP | 0,788 | 0,703          |    |     |
| DESP_13   | <--- | DESP | 0,601 | 0,560          |    |     |
| DESP_14   | <--- | DESP | 0,697 | 0,748          |    |     |
| DESP_15   | <--- | DESP | 0,732 | 0,808          |    |     |
| DESP_16   | <--- | DESP | 0,768 | 0,742          |    |     |
| DESP_17   | <--- | DESP | 0,713 | 0,759          |    |     |
| DESP_18   | <--- | DESP | 0,793 | 0,557          |    |     |
| DESP_19   | <--- | DESP | 0,759 | 0,502          |    |     |

De acordo com os critérios de referência ( $CR \geq 0,70$ ;  $AVE \geq 0,50$ ), constata-se que todos os construtos apresentam CR bastante elevado, revelando consistência interna robusta. Os valores de AVE encontram-se, na sua maioria, iguais ou superiores ao limiar de 0,50, o que indica que as variáveis observadas partilham uma proporção suficiente de variância explicada pelos respetivos construtos latentes. Sendo assim, apesar de algumas fragilidades pontuais, o modelo reespecificado apresenta valores satisfatórios de fiabilidade.

Analisou-se também a validade discriminante, de acordo com o critério de *Fornell e Larcker*, apresentada na Tabela 17. Os resultados mostram que, em todos os casos, os valores diagonais, correspondentes à raiz quadrada da AVE, são consistentemente mais elevados do que as correlações com os outros construtos. Este facto confirma que cada construto do modelo é empiricamente distinto dos restantes, evidenciando validade discriminante adequada.

Tabela 17 – Validade discriminante – reespecificação do modelo de medida

|        | AI_5.0       | UT_5.0       | AQ_5.0       | PTEC         | PSOC         | CPME         | DESP         |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AI_5.0 | <b>0,734</b> |              |              |              |              |              |              |
| UT_5.0 | 0,332        | <b>0,734</b> |              |              |              |              |              |
| AQ_5.0 | 0,634        | 0,169        | <b>0,705</b> |              |              |              |              |
| PTEC   | 0,372        | 0,667        | 0,270        | <b>0,818</b> |              |              |              |
| PSOC   | 0,671        | 0,426        | 0,589        | 0,686        | <b>0,756</b> |              |              |
| CPME   | 0,510        | 0,666        | 0,371        | 0,766        | 0,651        | <b>0,825</b> |              |
| DESP   | 0,618        | 0,304        | 0,466        | 0,431        | 0,605        | 0,566        | <b>0,762</b> |

Em síntese, esta versão reespecificada do modelo apresenta um ajustamento geral satisfatório, permitindo prosseguir com a análise do modelo estrutural.

## 6.2 Modelo Estrutural

Concluída a avaliação do modelo de medida, tornou-se necessário avançar para a análise do modelo estrutural, etapa essencial do SEM. Tal como referido anteriormente, esta abordagem divide-se em duas componentes principais: a análise fatorial confirmatória, que permite avaliar a validade e a fiabilidade dos construtos, e o modelo estrutural, que tem como objetivo testar as relações das hipóteses formuladas entre as variáveis (Hair et al., 2018).

A Figura 19 apresenta o modelo estrutural proposto, evidenciando as variáveis endógenas e exógenas, bem como as hipóteses formuladas relativamente às relações entre elas. Esta fase tem como objetivo avaliar, de forma empírica, os caminhos causais delineados no enquadramento teórico, verificando se os dados suportam as hipóteses de investigação previamente estabelecidas.

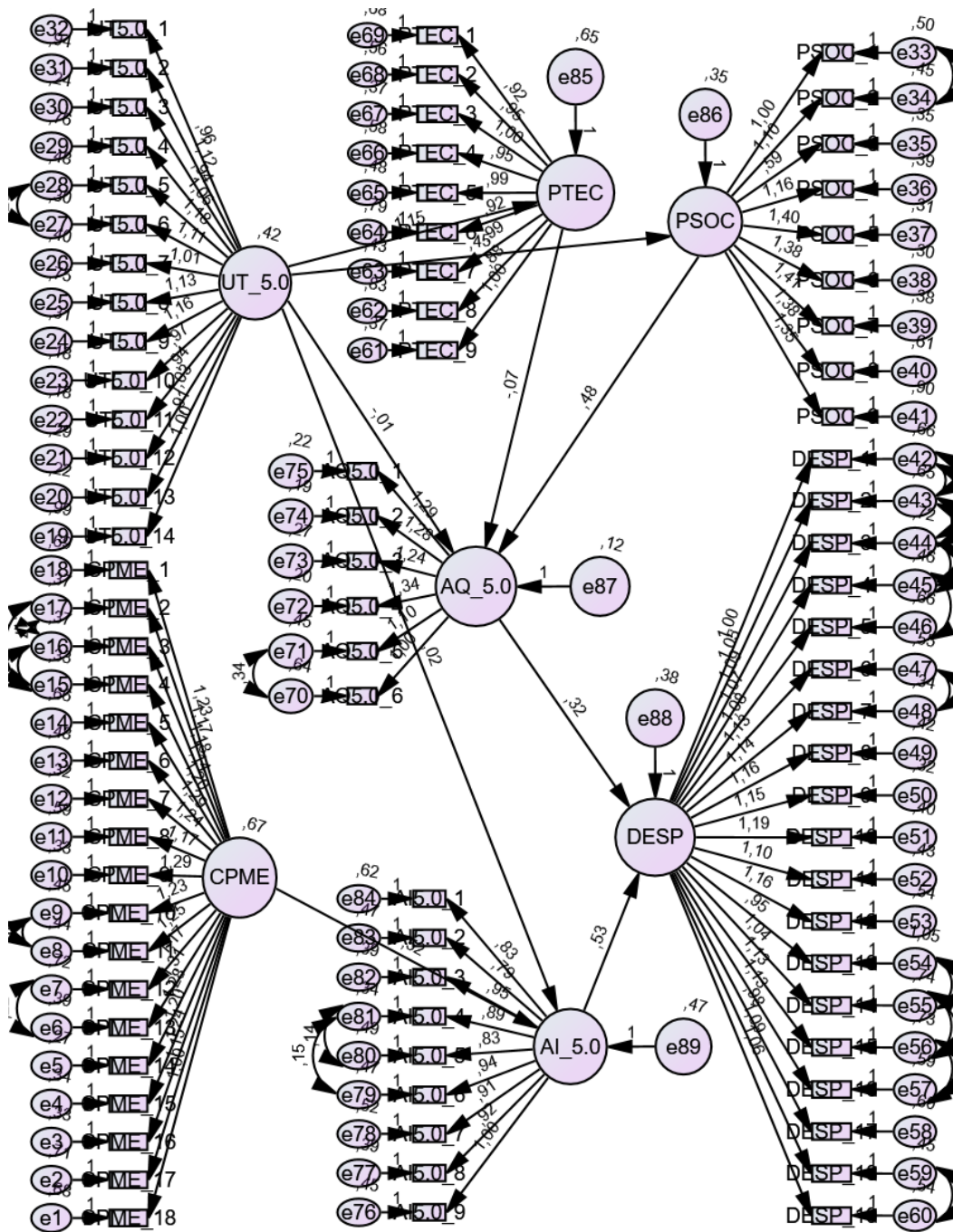


Figura 19 – Modelo estrutural

A Tabela 18 sumariza os valores obtidos na avaliação da qualidade global de ajustamento do modelo estrutural. O qui-quadrado apresenta um valor de 8450,369 e um p-value de 0,000, o que sugere a rejeição da hipótese que o modelo se ajusta perfeitamente à população. O rácio  $\chi^2/g.l = 2,508$  encontra-se abaixo do limite de 3, sugerindo um ajustamento aceitável. O CFI (0,853) e o TLI (0,848) apresentam valores próximos de 0,90, refletindo um ajustamento satisfatório, embora ainda aquém do ideal. O GFI (0,667) e o NFI (0,778) revelam valores inferiores ao recomendado, apontando para algumas limitações no ajustamento. Por outro lado, os índices de parcimónia (PGFI = 0,629; PCFI = 0,825) encontram-se em níveis aceitáveis,

enquanto o RMSEA (0,059) sugere um ajustamento adequado do modelo estrutural. Em síntese, o modelo demonstra um ajustamento global aceitável, permitindo avançar para a análise das hipóteses de investigação.

Tabela 18 – Qualidade global de ajustamento do modelo estrutural

| Estadística/Abreviação | Valores do Modelo estrutural |
|------------------------|------------------------------|
| $\chi^2$ ; p-value     | 8450,369; 0,000              |
| $\chi^2 / gl$          | 2,508                        |
| CFI                    | 0,853                        |
| GFI                    | 0,667                        |
| TLI                    | 0,848                        |
| NFI                    | 0,778                        |
| PGFI                   | 0,629                        |
| PCFI                   | 0,825                        |
| RMSEA                  | 0,059                        |

A Tabela 19 apresenta as estimativas, erros-padrão, rácios críticos e valores de significância para cada hipótese formulada e a Tabela 20 os resultados.

Tabela 19 – Estimativas do modelo estrutural

| Hipóteses | Estimativa | S.E.  | C.R.   | P-value |
|-----------|------------|-------|--------|---------|
| H1        | 0,016      | 0,056 | 0,292  | 0,771   |
| H2        | -0,008     | 0,046 | -0,163 | 0,870   |
| H3        | 0,480      | 0,059 | 8,105  | ***     |
| H4        | -0,070     | 0,026 | -2,674 | 0,008   |
| H5        | 0,450      | 0,062 | 7,228  | ***     |
| H6        | 1,150      | 0,111 | 10,326 | ***     |
| H7        | -0,517     | 0,054 | -9,584 | ***     |
| H8        | 0,528      | 0,053 | 9,928  | ***     |
| H9        | 0,320      | 0,079 | 4,04   | ***     |

Nota: \*\*\* significa que p-value < 0,001

Tabela 20 – Resultados do teste de hipóteses

| Hipóteses  | Status        |
|--|---------------|
| H1 Uso de tecnologias da Indústria 5.0 -> Adoção da Indústria 5.0                    | Não suportada |
| H2 Uso de tecnologias da Indústria 5.0 -> Adoção da Qualidade 5.0                    | Não suportado |
| H3 Práticas Sociais da Qualidade -> Adoção da Qualidade 5.0                          | Suportada     |
| H4 Práticas Técnicas da Qualidade -> Adoção da Qualidade 5.0                         | Não suportada |
| H5 Uso de tecnologias da Indústria 5.0 -> Práticas Sociais                           | Suportada     |
| H6 Uso de tecnologias da Indústria 5.0 -> Práticas Técnicas                          | Suportada     |
| H7 Características das PMEs -> Adoção da Indústria 5.0                               | Suportada     |
| H8 Adoção da Indústria 5.0 -> Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental | Suportada     |
| H9 Adoção da Qualidade 5.0 -> Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental | Suportada     |



## 7 Discussão de Resultados

O presente capítulo discute os resultados obtidos na análise descritiva dos dados e na análise de equações estruturais, relacionando-os com a fundamentação teórica apresentada nos capítulos anteriores. A análise foi conduzida com recurso ao modelo de equações estruturais (SEM), permitindo avaliar as relações entre os construtos definidos no modelo concetual.

Os resultados do teste de hipóteses evidenciam tendências relevantes para compreender a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas PMEs portuguesas.

Em primeiro lugar, os resultados mostraram que a adoção da Indústria 5.0 não depende apenas do uso de tecnologias emergentes, mas sobretudo da forma como estas são integradas em práticas organizacionais que priorizam a abordagem centrada no ser humano, a sustentabilidade e a resiliência (Breque et al., 2021; Jahromi & Ghazinoory, 2024; Xu et al., 2021; Zizic et al., 2022). A hipótese H1, que propunha uma relação direta entre o uso de tecnologias da Indústria 5.0 e a adoção da própria Indústria 5.0, não foi suportada. Este resultado sugere que a mera utilização de tecnologias avançadas não garante a adoção plena da Indústria 5.0, o que vai ao encontro da literatura, que aponta a falta de maturidade digital e a implementação fragmentada como entraves à adoção (Laddha & Agrawal, 2024; Latino, 2025; Mukherjee et al., 2023). Em muitas PMEs, as tecnologias são aplicadas de forma isolada e sem enquadramento estratégico, o que limita o seu potencial transformador. Além disso, tal como se verificou nas análises descritivas, uma parte considerável dos colaboradores ainda apresenta baixo nível de familiaridade com tecnologias emergentes, o que poderá explicar a ausência de suporte à H1. Assim, conclui-se que, na amostra em estudo, a utilização de tecnologias da Indústria 5.0, por si só, não é suficiente para impulsionar a adoção efetiva da Indústria 5.0.

De forma semelhante, a hipótese H2, que defendia que o uso de tecnologias da Indústria 5.0 impulsiona a adoção da Qualidade 5.0, também não foi suportada. Este resultado reforça a ideia de que a Qualidade 5.0 depende mais de práticas organizacionais, valores e fatores humanos do que apenas da dimensão tecnológica (Ali & Johl, 2024; Dias et al., 2022). Tal conclusão confirma que a transição para a Qualidade 5.0 exige um reposicionamento cultural centrado no

humano e na sustentabilidade (Ali & Johl, 2024; Frick & Grudowski, 2023; Stefanovic et al., 2024; Zizic et al., 2022), em linha com os princípios da Indústria 5.0, mas não assegurado automaticamente pelo simples uso de ferramentas digitais. Para além disso, como mencionado anteriormente, muitas tecnologias emergentes ainda são desconhecidas por uma parte significativa da população portuguesa, o que limita o seu aproveitamento no apoio a práticas de qualidade. Contudo, importa salientar que a literatura evidencia contributos relevantes das tecnologias da Indústria 5.0 para a Qualidade 5.0, conforme sintetizado na Tabela 3. Estas tecnologias auxiliam, por exemplo, na monitorização em tempo real, na prevenção de falhas, na rastreabilidade e na consistência dos processos de qualidade (ver por exemplo, Bajic et al., 2023; Cohen et al., 2021; Grieves, 2023; Puttero et al., 2025). Assim, a ausência de suporte à H2 pode refletir não apenas a lacuna cultural, mas também a falta de maturidade tecnológica necessária para integrar plenamente estas ferramentas no âmbito da Qualidade 5.0.

Por outro lado, os resultados confirmaram a importância das práticas sociais da qualidade na adoção da Qualidade 5.0, suportando a hipótese H3. Este resultado evidencia que práticas relacionadas com o comprometimento da gestão, o foco no cliente e a formação dos colaboradores (Ali & Johl, 2024; Ali & Waheed, 2024), sustentabilidade, ética e valorização do fator humano (Ali & Johl, 2024; Fundin et al., 2020; Maljugić et al., 2024; Stefanovic et al., 2024), são determinantes para a adoção da Qualidade 5.0, reforçando a perspetiva de autores que defendem que o pilar social é o elemento diferenciador deste novo paradigma (Ali & Johl, 2024; Antony et al., 2023; Sony et al., 2021). Em contrapartida, a hipótese H4, que testava o impacto das práticas técnicas de qualidade na adoção da Qualidade 5.0, embora seja significativamente significativa, não foi suportada. Este resultado pode ser explicado pelo facto de muitas PMEs portuguesas ainda não utilizarem de forma generalizada tecnologias digitais avançadas. Consequentemente, práticas técnicas como a análise preditiva, a automatização de processos, a gestão de dados em tempo real ou a simulação digital para otimização de processos internos não estão plenamente implementadas, o que limita a sua influência na adoção da Qualidade 5.0. Ou seja, para a amostra em estudo, a transição para a Qualidade 5.0 parece depender mais da incorporação de dimensões sociais e humanas do que de práticas técnicas já estabelecidas.

Apesar de não influenciarem diretamente a adoção da Indústria 5.0 ou da Qualidade 5.0, as tecnologias emergentes mostraram impacto positivo no desenvolvimento de práticas sociais e técnicas da qualidade, como demonstrado pelas hipóteses H5 e H6, ambas suportadas. Este resultado confirma a ideia já referida anteriormente de que a tecnologia, por si só, não garante a transição, mas pode facilitar o uso de práticas que reforçam a centralidade do ser humano e a eficiência organizacional. Assim, as tecnologias atuam como catalisadores de práticas que tornam essa adoção possível.

No que respeita às barreiras à adoção, a hipótese H7, que previa que as características das PMES influenciavam negativamente a adoção da Indústria 5.0, foi suportada. Em linha com a literatura, fatores como limitações de recursos financeiros, falta de competências e resistência cultural revelaram-se barreiras críticas (Adel, 2022; Laddha & Agrawal, 2024; Moeuf et al., 2018; Takawira & Poee, 2024), confirmando o papel destas limitações no atraso da transição digital. Os resultados sugerem que, em Portugal, as características intrínsecas das PMEs constituem de

facto um entrave relevante à adoção da Indústria 5.0, reforçando a importância de políticas de apoio, estratégias de capacitação e iniciativas de liderança para mitigar esses constrangimentos (Cagno et al., 2024; Dwivedi et al., 2023; Maddikunta et al., 2022; Mukherjee et al., 2023). Os resultados do questionário mostraram que a maioria das organizações se identificou com as barreiras propostas, reforçando a ideia de que estes fatores têm o impacto negativo esperado na adoção da Indústria 5.0.

Já no que se refere ao desempenho, as hipóteses H8 e H9 foram suportadas, confirmando que tanto a adoção da Indústria 5.0 como da Qualidade 5.0 contribuem de forma significativa para o desempenho operacional, financeiro, social e ambiental das PMEs portuguesas. Estes resultados estão em linha com estudos que associam a Indústria 5.0 ao aumento da resiliência, da sustentabilidade e da competitividade das organizações (Frick & Grudowski, 2023; Stefanovic et al., 2024; Xu et al., 2021; Zizic et al., 2022), bem como com evidências sobre os impactos positivos da Qualidade 5.0 (ver por exemplo, Ali & Johl, 2024; Frick & Grudowski, 2023; Khoshsepehr et al., 2025). Assim, confirma-se que, quando efetivamente adotadas, estas abordagens geram benefícios tangíveis para as organizações.

Em síntese, os resultados obtidos permitem afirmar que a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 de forma sobretudo indireta, reforçando práticas sociais e técnicas que possibilitam a sua implementação (ver por exemplo, Ali & Johl, 2024; Frick & Grudowski, 2023; Khoshsepehr et al., 2025). As práticas sociais da qualidade assumem um papel determinante na transição para a Qualidade 5.0, evidenciando que fatores como sustentabilidade, ética, liderança e valorização das pessoas são elementos-chave neste processo. Finalmente, ficou comprovado que a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 contribui para a melhoria do desempenho das PMEs portuguesas, confirmando a pertinência da questão de investigação e validando os objetivos definidos.

Em comparação com a literatura existente, estes resultados permitem colmatar algumas das lacunas previamente identificadas. Em particular, este estudo fornece evidência empírica sobre a forma como a Indústria 5.0 influencia a Qualidade 5.0 no contexto das PMEs, um campo até agora pouco explorado. Clarifica ainda a articulação entre práticas sociais, práticas técnicas e desempenho organizacional, demonstrando o papel determinante das dimensões humanas e sustentáveis na transição para estes paradigmas. Desta forma, o presente trabalho constitui uma mais-valia para a comunidade científica e académica, ao mesmo tempo que disponibiliza orientações para organizações que pretendam adotar de forma eficaz a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0.



## 8 Conclusão

Este capítulo apresenta as conclusões finais obtidas na elaboração desta dissertação, bem como as principais contribuições, limitações e sugestões de pesquisa futura.

### 8.1 Conclusões Finais

O objetivo central desta tese foi analisar de que forma a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribuem para o desempenho organizacional das PMEs em Portugal. Para tal, foi desenvolvido um modelo concetual com base nos principais construtos identificados na literatura e recorreu-se ao Modelo de Equações estruturais (SEM) como técnica de análise multivariada para testar as hipóteses formuladas. Os dados foram recolhidos através de um questionário enviado a organizações portuguesas de diferentes setores industriais, tendo sido obtidas 439 respostas válidas.

Embora não tenha sido possível realizar uma análise comparativa entre Portugal e a Polónia, como inicialmente previsto, este estudo centrou-se exclusivamente no contexto português, permitindo obter resultados relevantes sobre a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas PMEs.

A revisão de literatura permitiu concluir que tanto a Indústria 5.0 como a Qualidade 5.0 representam uma evolução face a paradigmas anteriores, colocando a tecnologia ao serviço das pessoas e da sustentabilidade, sem descuidar a eficiência e a competitividade organizacional.

Por sua vez, os resultados empíricos permitiram validar um conjunto relevante de hipóteses e rejeitar outras, revelando uma realidade heterogénea no tecido empresarial português. A análise confirmou a existência de uma forte relação entre determinados construtos. Contudo, as hipóteses que associavam a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 ao uso direto de tecnologias não foram suportadas. Este resultado, longe de fragilizar o estudo, constitui uma evidência importante que salienta que apesar de a Qualidade 5.0 assentar na integração das

tecnologias com práticas de qualidade, muitas empresas ainda não conseguem estabelecer essa ligação de forma sistemática. Tal sugere que, em Portugal, a plena articulação entre inovação tecnológica e gestão da qualidade ainda se encontra numa fase inicial, carecendo de maior maturidade organizacional e estratégica.

De forma global, pode concluir-se que as organizações portuguesas reconhecem a relevância dos princípios da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0, mas ainda enfrentam desafios na sua aplicação prática. O estudo reforça a ideia de que o futuro da competitividade empresarial dependerá não apenas da incorporação de tecnologias avançadas, mas sobretudo da capacidade de alinhá-las com modelos de gestão orientados para a sustentabilidade, a resiliência e a valorização do ser humano.

## 8.2 Contributos do Estudo

Esta dissertação contribuiu para a compreensão de como a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0 podem inspirar e orientar as organizações, em particular as PME's portuguesas, na promoção de práticas mais sustentáveis, resilientes e centradas no ser humano. Ao longo da investigação foi possível responder à questão inicialmente formulada: *Como é que a Indústria 5.0 influencia a adoção de práticas da Qualidade 5.0 e, em conjunto, contribui para o desempenho das PME's em Portugal?*

O trabalho propõe e valida um modelo concetual testado através do SEM, que pode ser replicado em outros contextos geográficos ou setoriais. Este modelo permite compreender os fatores críticos que influenciam a adoção da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0, destacando a interação entre práticas sociais, práticas técnicas e desempenho organizacional. Além disso, evidencia como os princípios da Indústria 5.0 podem ser operacionalizados de forma prática, integrando tecnologia, cultura organizacional e competências humanas para gerar resultados sustentáveis.

Em síntese, o contributo principal desta investigação reside na consolidação de conhecimento sobre a Indústria 5.0 e a Qualidade 5.0 em PME's portuguesas, expandindo uma literatura ainda incipiente e oferecendo novas perspetivas para futuras investigações académicas.

## 8.3 Limitações e Sugestões de Pesquisa Futura

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas. Uma primeira limitação relaciona-se com a revisão de literatura, em particular com a base de dados utilizada, *Web of Science*, a inacessibilidade de alguns artigos e a escassez de publicações sobre a implementação da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 nas PME's.

Uma segunda limitação relaciona-se com a natureza exploratória do modelo concetual proposto. Uma vez que, embora os resultados tenham permitido validar algumas hipóteses,

outras não foram suportadas, exigindo uma análise mais aprofundada que poderá ser realizada em futuros estudos. Adicionalmente, a dificuldade em obter respostas suficientes por parte das empresas inquiridas, impossibilitou a concretização de uma análise comparativa entre dois países (Portugal e Polónia), conforme inicialmente delineado.

Assim, para pesquisas futuras sugere-se o aprofundamento de áreas ainda pouco exploradas, como a implementação prática da Indústria 5.0 e da Qualidade 5.0 em PMEs, a análise da sua articulação e contributo conjunto para o desempenho organizacional e o desenvolvimento de estudos empíricos que validem os impactos reais destas abordagens. Adicionalmente, seria também relevante testar o modelo concetual em diferentes contextos geográficos ou setores de atividade. Por fim, os leitores são incentivados a estudar o modelo concetual proposto e testado, de modo a aprimorar o mesmo.



# Referências

- Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>
- AEP. (2020). *Programa Estratégico para a Valorização da Indústria Portuguesa*.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. In *Engineering Science and Technology, an International Journal* (Vol. 22, Issue 3, pp. 899–919). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Alhloul, A. (2020). Patnaik, S. (ed.): New Paradigm of Industry 4.0: Internet of Things, big Data & Cyber Physical Systems. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(2), 209–212. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.2.8>
- Ali, K., & Johl, S. K. (2024). Driving sustainability in industry 5.0 through sociotechnical approach of quality management. *Total Quality Management & Business Excellence*, 35(13–14), 1567–1592. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2375303>
- Ali, K., Johl, S. K., Muneer, A., Alwadain, A., & Ali, R. F. (2022). Soft and Hard Total Quality Management Practices Promote Industry 4.0 Readiness: A SEM-Neural Network Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141911917>
- Ali, K., & Waheed, A. (2024). Synergistic role of TQM 4.0 toward industry 4.0 readiness: a sociotechnical perspective of selected industries. *The TQM Journal*, 37(3), 853–876. <https://doi.org/10.1108/TQM-08-2023-0249>
- Almeida, J. (2024). Grandes empresas pesam apenas 0,2% no tecido empresarial europeu. *Jornal de Negócios*. <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/grandes-empresas-pesam-02-no-tecido-empresarial-europeu>
- Alsharif, M. H., Jahid, A., Kannadasan, R., & Kim, M. K. (2024). Unleashing the potential of sixth generation (6G) wireless networks in smart energy grid management: A comprehensive review. *Energy Reports*, 11, 1376–1398. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2024.01.011>
- Anh, T. D., Binh, T. D., Long, N. D. B., Ai, T. Van, Tan, K. S., & Van, N. T. Le. (2022). Strategic Vision for the Implementation of the Industrial Revolution 4.0 in the Vietnamese Context. *International Journal of Technology*, 13(5), 958–968. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i5.5838>

- Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2022). Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study. *The TQM Journal*, *34*(5), 1169–1188. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2021-0215>
- Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R., & Flynn, D. (2023). An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *40*(2), 582–606. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0357>
- Antunes, M., Texeira Quirós, J., & Justino, M. D. R. (2017). The relationship between innovation and total quality management and the innovation effects on organizational performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *34*, 0. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2016-0025>
- Asif, M. (2020). Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*, *258*, 120820. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120820>
- Aslam, F., Aimin, W., Li, M., & Ur Rehman, K. (2020). Innovation in the Era of IoT and Industry 5.0: Absolute Innovation Management (AIM) Framework. *Information*, *11*(2), 124. <https://doi.org/10.3390/info11020124>
- Bajaj, S., Garg, R., & Sethi, M. (2017). Total Quality Management: a critical literature review using pareto analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *67*, 0. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2016-0146>
- Bajic, B., Suzic, N., Moraca, S., Stefanović, M., Jovicic, M., & Rikalovic, A. (2023). Edge Computing Data Optimization for Smart Quality Management: Industry 5.0 Perspective. *Sustainability*, *15*(7), 6032. <https://doi.org/10.3390/su15076032>
- Baur, C., & Wee, D. (2015, June 1). Manufacturing's next act. *McKinsey & Company*, 1–5. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/manufacturings-next-act#/>
- Ben-Daya, M., Elkafi, H., & Bahroun, Z. (2017). Internet of things and supply chain management: a literature review. *International Journal of Production Research*, *57*(15–16), 4719–4742. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140>
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, *107*(2), 238–246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>
- Bollen, K. A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118619179>
- Bosma, B., & Witteloostuijn, A. van. (2021). *Missing values in exploratory factor analysis: A 'best of all possible worlds' approach to imputation for incomplete survey data*. <https://doi.org/10.31124/advance.13570598.v2>

- Bourdin, M., Paviot, T., Pellerin, R., & Lamouri, S. (2024). NLP in SMEs for industry 4.0: Opportunities and challenges. *Procedia Computer Science*, 239, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.186>
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Browne, M. W. (1984). Asymptotically distribution-free methods for the analysis of covariance structures. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 37(1), 62–83. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1984.tb00789.x>
- Byrne, B. M. (2013). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming* (2<sup>a</sup> ed). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203805534>
- Cagno, E., Accordini, D., Neri, A., Negri, E., & Macchi, M. (2024). Digital solutions for workplace safety: An empirical study on their adoption in Italian metalworking SMEs. *Safety Science*, 177, 106598. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2024.106598>
- Caldas, J. C. (2012). *O impacto das medidas “anti-crise” e a situação social e de emprego PORTUGAL*.
- Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing Industry 4.0 principles. In *Computers and Industrial Engineering* (Vol. 158). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379>
- Carvalho, A. V., Enrique, D. V., Chouchene, A., & Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: An Overview. *Procedia Computer Science*, 181, 341–346. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.01.176>
- Charantimath, P. M. (2016). *Total Quality Management* (Third Edition, pp. 1–15). Pearson India Education Services.
- Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188. <https://doi.org/10.2307/41703503>
- Cho, Y. S., Jung, J. Y., & Linderman, K. (2017). The QM evolution: Behavioral quality management as a firm’s strategic resource. *International Journal of Production Economics*, 191, 233–249. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2017.05.002>
- Chong, L., Ramakrishna, S., & Singh, S. (2018). A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5–8), 2281–2300. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3>
- Chyung, S. Y. Y., Roberts, K., Swanson, I., & Hankinson, A. (2017). Evidence-Based Survey Design: The Use of a Midpoint on the Likert Scale. *Performance Improvement*, 56(10), 15–23. <https://doi.org/10.1002/pfi.21727>

- Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017). *Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms*. 50(1), 14958–14963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2550>
- Cohen, Y., Shraga, S., Maurizio, F., & Minto, R. (2021). Deploying cobots in collaborative systems: major considerations and productivity analysis. *International Journal of Production Research*, 60(6), 1815–1831. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1870758>
- Costello, A. B., & Osborne, J. (2005). *Best Practices in Exploratory Factor Analysis: four recommendations for getting the most from your analysis* (Vol. 10). Practical Assessment, Research, and Evaluation. <https://doi.org/https://doi.org/10.7275/jyj1-4868>
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Da Silva, C. W. B., Nascimento, J. S., Ferraz, M. A., Roberto, J. C. A., & Soares, M. C. (2023). Qualidade 4.0: tecnologias emergentes e suas aplicações. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 14(7), 12116–12132. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i7.2525>
- Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barros, A. C., & Soares, A. L. (2019). Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. *The Journal of High Technology Management Research*, 30(2), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2019.100355>
- Damásio, B. F. (2012). Uso da análise fatorial exploratória em psicologia. *Avaliação Psicológica*, 11(2), 213–228.
- Dannreuther, C. (2007). A Zeal for a Zeal? SME Policy and the Political Economy of the EU. *Comparative European Politics*, 5(4), 377–399. <https://doi.org/10.1057/palgrave.cep.6110112>
- Dautaj, M., & Rossi, M. (2022). Towards a New Society: Solving the Dilemma Between Society 5.0 and Industry 5.0. In O. Canciglieri Junior, F. Noël, L. Rivest, & A. Bouras (Eds.), *Product Lifecycle Management. Green and Blue Technologies to Support Smart and Sustainable Organizations* (pp. 523–536). Springer International Publishing.
- Davis, N., Companiwala, A., Muschard, B., & Petrusch, N. (2020). 4th Industrial Revolution Design Through Lean Foundation. *Procedia CIRP*, 91, 306–311. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.102>
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.09.104>
- Dias, A. M., Carvalho, A. M., & Sampaio, P. (2022). Quality 4.0: literature review analysis, definition and impacts of the digital transformation process on quality. *International*

- Journal of Quality and Reliability Management*, 39(6), 1312–1335.  
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0247>
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 23, pp. 1–22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su12239927>
- Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., & Mathiyazhagan, K. (2023). Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108927. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2022.108927>
- Echegaray, N., Hassoun, A., Jagtap, S., Tetteh-Caesar, M., Kumar, M., Tomasevic, I., Goksen, G., & Lorenzo, J. M. (2022). Meat 4.0: Principles and Applications of Industry 4.0 Technologies in the Meat Industry. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12146986>
- Escobar, C. A., Cantoral-Ceballos, J. A., & Morales-Menendez, R. (2024). Quality 4.0: Learning quality control, the evolution of SQC/SPC. *Quality Engineering*, 37(1), 92–117. <https://doi.org/10.1080/08982112.2024.2356519>
- Escrig-Tena, A. B., Segarra-Ciprés, M., García-Juan, B., & Beltrán-Martín, I. (2018). The impact of hard and soft quality management and proactive behaviour in determining innovation performance. *International Journal of Production Economics*, 200, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.03.011>
- Estensoro, M., Larrea, M., Müller, J. M., & Sisti, E. (2022). A resource-based view on SMEs regarding the transition to more sophisticated stages of industry 4.0. *European Management Journal*, 40(5), 778–792. <https://doi.org/10.1016/J.EMJ.2021.10.001>
- European Commission. (2003). *COMISSÃO RECOMENDAÇÃO DA COMISSÃO*.
- European Commission. (2024). *Digital Decade Country Report 2024: Portugal*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news-redirect/833351>.
- European Union. (2022, February 22). *Pequenas e médias empresas*. European Union. <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/glossary/small-and-medium-sized-enterprises.html>
- Fadilasari, D. P., Roy Ghatak, R., Garza-Reyes, J. A., Joshi, R., & Kandasamy, J. (2024). Adopting quality management practices in the industry 4.0 era: an investigation into the challenges. *Total Quality Management and Business Excellence*, 35(9–10), 1098–1123. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2354840>
- Fan, Y., Chen, J., Shirkey, G., John, R., Wu, S. R., Park, H., & Shao, C. (2016). Applications of structural equation modeling (SEM) in ecological studies: an updated review. *Ecological Processes*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0063-3>

- Farrell, A. M., & Rudd, J. M. (2009). Factor analysis and discriminant validity: a brief review of some practical issues. In D. Tojib (Ed.), *ANZMAC 2009 conference proceedings*. ANZMAC.
- Ferreira, L., Putnik, G. D., Lopes, N., Garcia, W., Cruz-Cunha, M. M., Castro, H., Varela, M. L. R., Moura, J. M., Shah, V., Alves, C., & Putnik, Z. (2018). Disruptive data visualization towards zero-defects diagnostics. *Procedia CIRP*, *67*, 374–379. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2017.12.270>
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (Sage, Ed.; 4th Edition).
- Finstad, K. (2010). Response Interpolation and Scale Sensitivity: Evidence Against 5-Point Scales. *Journal of Usability Studies*, *5*(3), 104–110.
- Fonseca, L., Amaral, A., & Oliveira, J. (2021). Quality 4.0: The efqm 2020 model and industry 4.0 relationships and implications. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(6). <https://doi.org/10.3390/su13063107>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, *18*(1), 39. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Freixo, M. J. V. (2013). *Metodologia Científica Fundamentos, métodos e técnicas (4ª Edição)* (Instituto Piaget, Ed.; 4th ed.). Instituto Piaget.
- Frick, J., & Grudowski, P. (2023). Quality 5.0: A Paradigm Shift Towards Proactive Quality Control in Industry 5.0. *International Journal of Business Administration*, *14*(2), 51. <https://doi.org/10.5430/ijba.v14n2p51>
- Fundin, A., Lilja, J., Lagrosen, Y., & Bergquist, B. (2020). Quality 2030: quality management for the future. *Total Quality Management & Business Excellence*, *36*(3–4), 264–280. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1863778>
- Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2022). Influence of Industry 4.0 Projects on Business Operations: Literature and Empirical Pilot Studies Based on Case Studies in Poland. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *8*(1), 44. <https://doi.org/10.3390/JOITMC8010044>
- Garvin, D. A. (1984). What Does “Product Quality” Really Mean? *MIT Sloan Management Review - Harvard University*, 25–43.
- Garvin, D. A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge* (Free Press, Ed.; First Edition, pp. 3–21). Simon and Schuster.
- Gaziero, C., & Ceconello, I. (2019). Simulação Computacional do Fluxo de Valor: uma proposta de Integração da Indústria 4.0 e Lean Production. *Scientia Cum Industria*, *7*(2), 52–67. <https://doi.org/10.18226/23185279.v7iss2p52>
- GEE. (2025, September 9). *Nut II - Portugal*. Gabinete de Estratégia e Estudos.

- Geng, Y., & Doberstein, B. (2008). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving “leapfrog development.” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), 231–239. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.3:6>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, M. F., Mubarik, M., Rejeb, A., & Nilashi, M. (2022). Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development: A strategy roadmap for delivering sustainability values. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 716–737. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.08.003>
- Gimenez-Aguilar, M., de Fuentes, J. M., Gonzalez-Manzano, L., & Arroyo, D. (2021). Achieving cybersecurity in blockchain-based systems: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 124, 91–118. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURE.2021.05.007>
- Goetsch, D. L., & Davis, Stanley. (2014). *Quality management for organizational excellence : introduction to total quality*. Pearson Group.
- Golzar, J., & Tajik, O. (2022). Convenience Sampling. *International Journal of Eduaction and Language Studies*, 2, 72–77.
- Gorodetsky, V., Larukchin, V., & Skobelev, P. (2020). Conceptual Model of Digital Platform for Enterprises of Industry 5.0. In I. Kotenko, C. Badica, V. Desnitsky, D. El Baz, & M. Ivanovic (Eds.), *Intelligent Distributed Computing XIII* (pp. 35–40). Springer International Publishing. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-32258-8\\_4](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-32258-8_4)
- Gregor, S. (2002). A Theory of Theories in Information Systems. In *Information Systems Foundations: Building the Theoretical Base* (pp. 1–20). Australian National University.
- Grieves, M. (2023). Digital Twin Certified: Employing Virtual Testing of Digital Twins in Manufacturing to Ensure Quality Products. *MACHINES*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/machines11080808>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2018). *Multivariate Data Analysis* (8th Edition). Cengage Learning EMEA.
- Hattinger, M., & Styliadis, K. (2023). Transforming Quality 4.0 towards Resilient Operator 5.0 needs. *Procedia CIRP*, 120, 1600–1605. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.12.002>
- Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor Retention Decisions in Exploratory Factor Analysis: a Tutorial on Parallel Analysis. *Organizational Research Methods*, 7(2), 191–205. <https://doi.org/10.1177/1094428104263675>
- Hermann, M., Otto, B., & Pentek, T. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Technische Universität Dortmund*, 1. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>
- Hermann, M., Otto, B., & Pentek, T. \*. (2016). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>

- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hietschold, N., Ronny, R., & Gurtner, S. (2014). Measuring critical success factors of TQM implementation successfully – a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 52(21), 6254–6272. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.918288>
- Hines, P., Tortorella, G. L., Antony, J., Romero, D., Walsh, A., Taylor, D., Alves, A. C., Bertolini, M., Caiado, R., Demeterj, K., Dinis-Carvalho, J., Ferreira, L. P., Fettermann, D., Godinho Filho, M., Gaiardelli, P., Howe, G., Inan, G. G., Kumar, M., Le, C. H., ... Zak, H. (2025). A global industrial perspective on lean industry 4.0: a qualitative wide-angle lens approach. *Production Planning & Control*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/09537287.2025.2509143>
- Howard, M. C. (2016). A Review of Exploratory Factor Analysis Decisions and Overview of Current Practices: What We Are Doing and How Can We Improve? *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(1), 51–62. <https://doi.org/10.1080/10447318.2015.1087664>
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424–428. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2022.07.010>
- Huang, Z., Shahzadi, A., & Khan, Y. D. (2022). Unfolding the Impact of Quality 4.0 Practices on Industry 4.0 and Circular Economy Practices: A Hybrid SEM-ANN Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142315495>
- Ibidapo, T. A. (2022). *From Industry 4.0 to Quality 4.0* (pp. 135–137). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04192-1>
- INE. (2007). *Classificação Portuguesa das Actividades Económicas Rev.3*. Instituto Nacional de Estatística.
- Ingaldi, M., & Ulewicz, R. (2020). Problems with the implementation of industry 4.0 in enterprises from the SME sector. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/SU12010217>
- Iqbal, T., Huq, F., & Bhutta, M. K. S. (2018). Agile manufacturing relationship building with TQM, JIT, and firm performance: An exploratory study in apparel export industry of Pakistan. *International Journal of Production Economics*, 203, 24–37. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2018.05.033>

- Jackson, D. L., Gillaspay, J. A., & Purc-Stephenson, R. (2009). Reporting practices in confirmatory factor analysis: An overview and some recommendations. *Psychological Methods, 14*(1), 6–23. <https://doi.org/10.1037/a0014694>
- Jacob, D. (2017). *Quality 4.0 impact and strategy handbook: getting digitally connected to transform quality management*.
- Jahromi, G. S., & Ghazinoory, S. (2024). Clothing industry in transition from Industry 4.0 to Industry 5.0. *The Journal of The Textile Institute, 116*(3), 365–379. <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2336438>
- Je Lab, & Santander Empresas. (2025, May 12). A indústria 5.0 já é uma realidade na sua empresa? *O Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/a-industria-5-0-ja-e-uma-realidade-na-sua-empresa/>
- Jones, T., Baxter, M., & Khanduja, V. (2013). A quick guide to survey research. *The Annals of The Royal College of Surgeons of England, 95*(1), 5–7. <https://doi.org/10.1308/003588413X13511609956372>
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. *INGENIEUR*. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/produktion/industrie-40-mit-internet-dinge-weg-4-industriellen-revolution/>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbing, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group*.
- Kahle, L. R., & Malhotra, N. K. (1994). Marketing Research: An Applied Orientation. *Journal of Marketing Research, 31*(1), 137. <https://doi.org/10.2307/3151953>
- Kaiser, H. F. (1974). An Index of Factorial Simplicity. *Psychometrika, 39*(1), 31–36. <https://doi.org/DOI: 10.1007/BF02291575>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research, 58*(5), 1319–1337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 237). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805>
- Khoshsepehr, Z., Alinejad, S., & Salari, L. (2025). Enhancing organizational quality management in Industry 5.0 through smart technologies and decomposed fuzzy methods. *International Journal of Quality & Reliability Management*. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2024-0365>

- Kim, H., Lin, Y., & Tseng, T.-L. B. (2018). A review on quality control in additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3), 645–669. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2017-0048>
- Kline, R. B. (1998). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. The Guildford Press.
- Kline, R. B. (2016). Data preparation and psychometrics review. In *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (4th ed., pp. 64–96). The Guilford Press.
- Krosnick, J. A. (1999). Survey research. *Annual Review of Psychology*, 50(1), 537–567. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.50.1.537>
- Kumar, A. (2018). Methods and Materials for Smart Manufacturing: Additive Manufacturing, Internet of Things, Flexible Sensors and Soft Robotics. *Manufacturing Letters*, 15, 122–125. <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2017.12.014>
- Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- Laddha, S., & Agrawal, A. (2024). Unveiling barriers to Industry 5.0 adoption in supply chains: a DEMATEL approach. *RAUSP Management Journal*, 59(2), 123–137. <https://doi.org/10.1108/RAUSP-08-2023-0146>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Latino, M. E. (2025). A maturity model for assessing the implementation of Industry 5.0 in manufacturing SMEs: learning from theory and practice. *Technological Forecasting and Social Change*, 214, 124045. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2025.124045>
- Lazzaris, J., Carvalho, A. M., & Carvalho, M. S. (2022). Supply Chain Quality Management and Industry 5.0 - A Literature Review and Analysis. *2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 0285–0289. <https://doi.org/10.1109/IEEM55944.2022.9989770>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lee, R. (2021). The Effect of Supply Chain Management Strategy on Operational and Financial Performance. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095138>
- Leng, J., Ye, S., Zhou, M., Zhao, J. L., Liu, Q., Guo, W., Cao, W., & Fu, L. (2021). Blockchain-Secured Smart Manufacturing in Industry 4.0: A Survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51(1), 237–252. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2020.3040789>

- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. In *International Journal of Production Research* (Vol. 55, Issue 12, pp. 3609–3629). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Linder, C. (2019). Customer orientation and operations: The role of manufacturing capabilities in small- and medium-sized enterprises. *International Journal of Production Economics*, *216*, 105–117. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.04.030>
- Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-Oriented and Ethical Technology Engineering in Industry 5.0: A Human-Centric Perspective for the Design of the Factory of the Future. *Applied Sciences*, *10*(12), 4182. <https://doi.org/10.3390/app10124182>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, *6*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2017.04.005>
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, *117*, 168–179. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2018.04.018>
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, *26*, 100257. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100257>
- Maganga, D. P., & Taifa, I. W. R. (2023). Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. *The TQM Journal*, *35*(2), 389–413. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2021-0328>
- Maljugić, B., Čočkalo, D., Bakator, M., & Stanisavljev, S. (2024). The Role of the Quality Management Process within Society 5.0. *Societies*, *14*(7), 111. <https://doi.org/10.3390/soc14070111>
- Marino, E., Barbieri, L., Colacino, B., Fleri, A. K., & Bruno, F. (2021). An Augmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments. *Computers in Industry*, *127*, 103412. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2021.103412>
- Marôco, J. (2010). *Análise de equações estruturais: fundamentos teóricos, software & aplicações: Vol. IX*. Report Number.
- Marôco, J. (2021a). *Análise de Equações Estruturais: Fundamentos teóricos, software & aplicações: Vol. XII* (ReportNumber, Ed.; 3ª ed). Pero Pinheiro: ReportNumber, 2021.
- Marôco, J. (2021b). *Análise Estatística com o SPSS Statistics* (ReportNumber, Ed.; 8ª Edição).

- Marsh, H. W., Balla, J. R., & McDonald, R. P. (1988). Goodness-of-fit indexes in confirmatory factor analysis: The effect of sample size. *Psychological Bulletin*, *103*(3), 391–410. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.103.3.391>
- Martins, A., & Santos, M. (2012). A resiliência económico-financeira das empresas portuguesas face a choques exógenos: a pandemia covid-19 e a invasão da Ucrânia. *Banco de Portugal*. [www.gee.gov.pt](http://www.gee.gov.pt)
- Marvão, S. (2025, February 18). Indústria 5.0: Portugal acelera, mas ainda enfrenta barreiras. *Jornal de Negócios*. <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/premio-nacional-de-inovacao/detalhe/industria-50-portugal-acelera-mas-ainda-enfrenta-barreiras>
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, *121*, 103261. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2020.103261>
- Masoomi, B., Sahebi, I. G., Ghobakhloo, M., & Mosayebi, A. (2023). Do industry 5.0 advantages address the sustainable development challenges of the renewable energy supply chain? *Sustainable Production and Consumption*, *43*, 94–112. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2023.10.018>
- McDonald, R. P., & Ho, M.-H. R. (2002). Principles and practice in reporting structural equation analyses. *Psychological Methods*, *7*(1), 64–82. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.7.1.64>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 49, pp. 194–214). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Mokhtar, M., Samiati, W., Wmd, A., & Rahim, R. A. (2022). Art throughout the Industrial Revolution and Art Framework for the Industrial Revolution 4.0. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, *7*(SI7), 149–154. <https://doi.org/10.21834/ebpj.v7iSI7.3776>
- Moniz, A. (2023). “Indústria 5.0” como conceito de um novo tipo de interação humano-máquina? In C. Machado & J. P. Davim (Eds.), *Indústria 5.0: pessoas, tecnologia e sustentabilidade* (pp. 15–34). Almedina.
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, *15*(17). <https://doi.org/10.3390/EN15176276>

- Mukherjee, A. A., Raj, A., & Aggarwal, S. (2023). Identification of barriers and their mitigation strategies for industry 5.0 implementation in emerging economies. *International Journal of Production Economics*, 257, 108770. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2023.108770>
- Mulaik, S. A., James, L. R., Van Alstine, J., Bennett, N., Lind, S., & Stilwell, C. D. (1989). Evaluation of goodness-of-fit indices for structural equation models. *Psychological Bulletin*, 105(3), 430–445. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.105.3.430>
- Müller, J. (2020). *Enabling Technologies for Industry 5.0: Results of a workshop with Europe's technology leaders*. [Publications Office of the European Union]. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en>
- Muller, J. M., Islam, N., Kazantsev, N., Romanello, R., Olivera, G., Das, D., & Hamzeh, R. (2024). Barriers and Enablers for Industry 4.0 in SMEs: A Combined Integration Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3365771>
- Mulongo, N. Y. (2024). Industry 5.0 a Novel Technological Concept. *2024 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SmartNets61466.2024.10577684>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-a human-centric solution. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/SU11164371>
- Napolitano, F., Girolami, A., Faraone, D., Chaudry, M. M. A., & Braghieri, A. (2020). Appearance, consumer liking and preferences of Lucanian 'Soppressata' salami. *Meat Science*, 167, 108159. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2020.108159>
- Naseer, M., Ashfaq, M., Hassan, S., Abbas, A., Razzaq, A., Mehdi, M., Ariyawardana, A., & Anwar, M. (2019). Critical Issues at the Upstream Level in Sustainable Supply Chain Management of Agri-Food Industries: Evidence from Pakistan's Citrus Industry. *Sustainability*, 11(5), 1326. <https://doi.org/10.3390/su11051326>
- Nguyen, T. A. Van, Tucek, D., & Pham, N. T. (2023). Indicators for TQM 4.0 model: Delphi Method and Analytic Hierarchy Process (AHP) analysis. *Total Quality Management and Business Excellence*, 34(1–2), 220–234. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2039062>
- Nguyen, T. A. Van, Tucek, D., Pham, N. T., & Nguyen, K. H. (2024). Quality 4.0 practices toward sustainable excellence in the manufacturing sector. *Total Quality Management & Business Excellence*, 35(13–14), 1593–1610. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2383616>
- Nienke, S., Frölian, H., Zeller, V., & Schuh, G. (2017). Energy-Management 4.0: Roadmap towards the Self-Optimising Production of the Future. *Proceedings of the 6th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications*, 6–10. <https://doi.org/10.1145/3070617.3070621>
- Norušis, M. J. (2008). *SPSS 16.0 Statistical Procedures Companion* (Prentice Hall, Ed.; 2<sup>a</sup> Edition).

- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric* (2nd Edition). McGraw-Hill.
- Orzes, G., Rauch, E., Bednar, S., & Poklemba, R. (2018). Industry 4.0 Implementation Barriers in Small and Medium Sized Enterprises: A Focus Group Study. *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1348–1352. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607477>
- Özdemir, V., & Hekim, N. (2018). Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence, “The Internet of Things” and Next-Generation Technology Policy. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, 22(1), 65–76. <https://doi.org/10.1089/omi.2017.0194>
- Paelke, V. (2014). Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0 environment. *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005252>
- Paschek, D., Luminosu, C.-T., & Ocakci, E. (2022). Industry 5.0 Challenges and Perspectives for Manufacturing Systems in the Society 5.0. In A. Draghici & L. Ivascu (Eds.), *Sustainability and Innovation in Manufacturing Enterprises: Indicators, Models and Assessment for Industry 5.0* (pp. 17–63). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7365-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7365-8_2)
- Pedersen, M. R., Nalpantidis, L., Andersen, R. S., Schou, C., Bøgh, S., Krüger, V., & Madsen, O. (2016). Robot skills for manufacturing: From concept to industrial deployment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, 282–291. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2015.04.002>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Phan, A. C., Abdallah, A. B., & Matsui, Y. (2011). Quality management practices and competitive performance: Empirical evidence from Japanese manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 518–529. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2011.01.024>
- Pinheiro, V. C. (2016, November 29). *Indústria 4.0 a Quarta Revolução industrial*. Compete2020. [https://www.compete2020.gov.pt/detalhe/detalhe/Industria\\_4ponto0](https://www.compete2020.gov.pt/detalhe/detalhe/Industria_4ponto0)
- Poll, J. A. van der. (2022). Problematizing the Adoption of Formal Methods in the 4IR–5IR Transition. *Applied System Innovation*, 5(6), 127. <https://doi.org/10.3390/asi5060127>
- Ponto, J. (2015). Understanding and Evaluating Survey Research. *Journal of the Advanced Practitioner in Oncology*, 6(2). <https://doi.org/10.6004/jadpro.2015.6.2.9>
- PORDATA. (2023a, December 18). *Pequenas e médias empresas: total e por setor de atividade económica*. PORDATA. <https://www.pordata.pt/sites/default/files/2024->

06/Portugal\_Pequenas\_e\_medias\_empresas\_\_total\_e\_por\_setor\_de\_atividade\_economica.xlsx

PORDATA. (2023b, December 18). *Volume de negócios das pequenas e médias empresas: total e por dimensão*. PORDATA. [https://www.pordata.pt/sites/default/files/2024-06/Portugal\\_Volume\\_de\\_negocios\\_das\\_pequenas\\_e\\_medias\\_empresas\\_\\_total\\_e\\_por\\_dimensao.xlsx](https://www.pordata.pt/sites/default/files/2024-06/Portugal_Volume_de_negocios_das_pequenas_e_medias_empresas__total_e_por_dimensao.xlsx)

PORDATA. (2024, December 11). *Caracterização e Demografia: Empresas por Dimensão*. PORDATA. <https://www.pordata.pt/pt/estatisticas/empresas/caracterizacao-e-demografia/empresas-por-dimensao>

Prause, G., & Atari, S. (2017). On sustainable production networks for Industry 4.0. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 4(4), 421–431. [https://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.4\(2\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2017.4.4(2))

Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. de. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico* (Feevale, Ed.; 2ª ed).

Puttero, S., Verna, E., Genta, G., & Galetto, M. (2025). Collaborative robots for quality control: an overview of recent studies and emerging trends. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-025-02600-w>

Qin, X., Hui, E. C. M., & Shen, J. (2024). The emergence of Industry 4.0 technologies across Chinese cities: The roles of technological relatedness/cross-relatedness and industrial policy. *Applied Geography*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2024.103455>

Ramdani, B., Raja, S., & Kayumova, M. (2021). Digital innovation in SMEs: a systematic review, synthesis and research agenda. *Information Technology for Development*, 28(1), 56–80. <https://doi.org/10.1080/02681102.2021.1893148>

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.

Rios, A. J., Nogal, M., Plevris, V., Ramirez, R., & Petrou, M. L. (2024). Towards Enhanced Built Cultural Heritage Conservation Practices: Perceptions on Industry 5.0 Principles and Enabling Technologies. *Historic Environment-Policy & Practice*, 15(4), 466–492. <https://doi.org/10.1080/17567505.2024.2429167>

Robinson, J. P., Shaver, P. R., & Wrightsman, L. S. (1991). Criteria for Scale Selection and Evaluation. In *Measures of Personality and Social Psychological Attitudes* (pp. 1–15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-590241-0.50005-8>

Rodrigues, L. F., Jesus, R. A., & Schützer, K. (2016). Industrie 4.0 – Uma Revisão da Literatura. *Revista de Ciência & Tecnologia*, 19(38), 33–45. <https://doi.org/10.15600/2238-1252/rct.v19n38p33-45>

- Ruso, J., Milosevic, I., Stojanovic, A., Glogovac, M., Rakic, A., & Arsic, S. (2024). Regional variations in digital transformation: the impact of industry 5.0 on business quality performance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 35(15–16), 1879–1899. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2416171>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*.
- Sá, J. C., Vaz, S., Carvalho, O., Lima, V., Morgado, L., Fonseca, L., Doiro, M., & Santos, G. (2020). A model of integration ISO 9001 with Lean six sigma and main benefits achieved. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(1–2), 218–242. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1829969>
- Sader, S., Husti, I., & Daroczi, M. (2022). A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management and Business Excellence*, 33(9–10), 1164–1182. <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>
- Saha, P., Talapatra, S., Sá, J. C., & Santos, G. (2023). Impact of TQM and Industry 4.0 on Sustainable Performance: An Empirical Study on the Bangladeshi Garment Industry. In J. C. de Oliveira Matias, C. M. Oliveira Pimentel, J. C. Gonçalves dos Reis, J. M. Costa Martins das Dores, & G. Santos (Eds.), *Quality Innovation and Sustainability* (pp. 131–143). Springer International Publishing. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-12914-8\\_11](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-12914-8_11)
- Saleh, R. A., Sweis, R. J., & Mahmoud Saleh, F. I. (2018). Investigating the impact of hard total quality management practices on operational performance in manufacturing organizations. *Benchmarking: An International Journal*, 25(7), 2040–2064. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2016-0074>
- Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0. In *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 3–23). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1)
- Santos, G., Sá, J. C., Félix, M. J., Barreto, L., Carvalho, F., Doiro, M., Zgodavová, K., & Stefanović, M. (2021). New needed quality management skills for quality managers 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13116149>
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., & Müller, H. (2003). Evaluating the Fit of Structural Equation Models: Tests of Significance and Descriptive Goodness-of-Fit Measures. *Methods of Psychological Research*, 8(2), 23–74. <https://doi.org/10.23668/psycharchives.12784>
- Schreiber, J. B. (2008). Core reporting practices in structural equation modeling. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 4(2), 83–97. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2007.04.003>

- Schumaker, R. E., & Lomax, R. G. (2022). *A beginner's Guide to Structural Equation Modeling* (3<sup>a</sup> ed). Taylor & Francis Group.
- Schwab, K. (2016, January 14). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/stories/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>
- Sciarelli, M., Gheith, M. H., & Tani, M. (2020). The relationship between soft and hard quality management practices, innovation and organizational performance in higher education. *The TQM Journal*, 32(6), 1349–1372. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2020-0014>
- Seeliger, A., Cheng, L., & Netland, T. (2023). Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors. *Computers in Industry*, 151, 103985. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2023.103985>
- Shashi, Centobelli, P., Cerchione, R., & Singh, R. (2019). The impact of leanness and innovativeness on environmental and financial performance: Insights from Indian SMEs. *International Journal of Production Economics*, 212, 111–124. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.02.011>
- Skare, M., de las Mercedes de Obesso, M., & Ribeiro-Navarrete, S. (2023). Digital transformation and European small and medium enterprises (SMEs): A comparative study using digital economy and society index data. *International Journal of Information Management*, 68, 102594. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2022.102594>
- Sony, M., Antony, J., & Douglas, J. A. (2020). Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. *TQM Journal*, 32(4), 779–793. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2019-0275>
- Sony, M., Antony, J., Douglas, J. A., & McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. *TQM Journal*, 33(6), 1502–1515. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2020-0272>
- Sony, M., & Naik, S. (2020). Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in Society*, 61, 101248. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2020.101248>
- Souza, F. F. de, Corsi, A., Pagani, R. N., Balbinotti, G., & Kovaleski, J. L. (2022). Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. *The TQM Journal*, 34(4), 749–769. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2020-0238>
- Stefanovic, M., Wawak, S., Popkova, E., Eric, M., Mitrovic, S., Djordjevic, A., & Zahar Djordjevic, M. (2024). FROM QUALITY 4.0 TO QUALITY 5.0 - THE TRANSITION ROADMAP. *International Journal for Quality Research*, 18(4), 1199–1210. <https://doi.org/10.24874/IJQR18.04-18>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistics* (5th ed.). Allyn & Bacon/Pearson Education.

- Taherdoost, H. (2019). What Is the Best Response Scale for Survey and Questionnaire Design; Review of Different Lengths of Rating Scale/Attitude Scale/Likert Scale. *International Journal of Academic Research in Management*, 8, 1–10.
- Takawira, B., & Poee, D. (2024). *Industry 5.0 Integration in Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) for Supply Chain Strategic Fit: A Systematic Literature Review*.
- Tarka, P. (2018). An overview of structural equation modeling: its beginnings, historical development, usefulness and controversies in the social sciences. *Quality & Quantity*, 52(1), 313–354. <https://doi.org/10.1007/s11135-017-0469-8>
- Teixeira, P., Coelho, A., Fontoura, P., Sá, J. C., Silva, F. J. G., Santos, G., & Ferreira, L. P. (2022). Combining lean and green practices to achieve a superior performance: The contribution for a sustainable development and competitiveness—An empirical study on the Portuguese context. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(4), 887–903. <https://doi.org/10.1002/csr.2242>
- Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/pr7030153>
- Turner, C., Moreno, M., Mondini, L., Salonitis, K., Charnley, F., Tiwari, A., & Hutabarat, W. (2019). Sustainable production in a circular economy: A business model for re-distributed manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164291>
- Vieira, D., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Sousa, V. F. C., Ferreira, L. P., Sá, J. C., & Brito, M. (2022). Automating Equipment towards Industry 4.0: A New Concept for a Transfer System of Lengthy and Low-Stiffness Products for Automobiles. *Journal of Testing and Evaluation*, 50(5), 2310–2325. <https://doi.org/10.1520/JTE20210721>
- Wagner, J., Lacey, K., Chyun, D., & Abbott, G. (2005). Development of a questionnaire to measure heart disease risk knowledge in people with diabetes: the Heart Disease Fact Questionnaire. *Patient Education and Counseling*, 58(1), 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2004.07.004>
- Wan, P. K., & Leirimo, T. L. (2023). Human-centric zero-defect manufacturing: State-of-the-art review, perspectives, and challenges. *Computers in Industry*, 144, 103792. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2022.103792>
- Wilkinson, A. (1992). The other side of quality: 'soft' issues and the human resource dimension. *Total Quality Management*, 3(3), 323–330. <https://doi.org/10.1080/09544129200000038>
- Worthington, R. L., & Whittaker, T. A. (2006). Scale Development Research: A Content Analysis and Recommendations for Best Practices. *The Counseling Psychologist*, 34(6), 806–838. <https://doi.org/10.1177/0011000006288127>

- Xia, Y., & Yang, Y. (2019). RMSEA, CFI, and TLI in structural equation modeling with ordered categorical data: The story they tell depends on the estimation methods. *Behavior Research Methods*, *51*(1), 409–428. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1055-2>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 530–535. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.10.006>
- Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects, Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(11). <https://doi.org/10.3390/su15118553>
- Zahrin, S. N. A., Sawai, R. P., Sawai, J. P., & Harun, C. S. C. (2022). Muslim Psychologists in Facing Challenges of the 4.0 Industrial Revolution. *Islamiyyat*, *44*(1), 145–156. <https://doi.org/10.17576/islamiyyat-2022-4401-13>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, *3*(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Živanić, D., Zelić, A., Miklós, G., Ilanković, N., Guban, M., & Szabo, L. (2019, November). Basic principles of Industry 4.0 as the foundation for smart factories and digital supply networks. *International Conference Sustainable Logistics 4.0*. <https://www.researchgate.net/publication/337032679>
- Zizic, M. C., Mladineo, M., Gjeldum, N., & Celent, L. (2022). From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology. *Energies*, *15*(14), 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>
- Zonnenshain, A., & Kenett, R. S. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality Engineering*, *32*(4), 614–626. <https://doi.org/10.1080/08982112.2019.1706744>

# Apêndice I – Questionário

## Implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 em Pequenas e Médias Empresas (PMEs)

No âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), intitulada “Implementação da Indústria 5.0 e Qualidade 5.0 em Pequenas e Médias Empresas (PMEs): Um estudo comparativo em Portugal e Polónia”, o presente questionário tem como objetivo recolher informações que permitam diagnosticar e caracterizar o estado atual das PMEs Industriais destes países.

A participação neste estudo é **voluntária e confidencial**, garantindo o anonimato das respostas. Os dados recolhidos serão utilizados exclusivamente para fins académicos. O questionário demora aproximadamente 15 minutos a ser preenchido.

Para qualquer dúvida sobre o preenchimento do questionário, contacte, por favor: [1230220@isep.ipp.pt](mailto:1230220@isep.ipp.pt)

**Agradecemos antecipadamente o seu tempo e colaboração!**

Assinale com um “X” a opção que considerar mais adequada à situação da Empresa.

### 1. Declaração de Conhecimento \*

- Declaro ter tomado conhecimento do tratamento dos dados da organização que represento, contidos neste questionário, com a finalidade exclusiva de recolha e integração numa base de dados para posterior tratamento estatístico, e apenas pelo período de tempo necessário, no âmbito da realização da Dissertação de Mestrado de Catarina Magalhães, que pode ser contactada através de [1230220@isep.ipp.pt](mailto:1230220@isep.ipp.pt). As respostas serão confidenciais e a análise resultante do tratamento dos dados será global, não sendo possível identificar nenhuma resposta individualmente.

### DADOS RELATIVOS AO RESPONDENTE

#### 2. Identifique a sua posição na organização \*

- Gestão de Topo (Diretor Geral / CEO / Administrador)  
 Gestão Intermédia (Diretor de área / Responsável de setor)  
 Técnico Especializado (produção, qualidade, manutenção, etc.)  
 Operacional (colaborador de linha / chão de fábrica)  
 Outro

Se respondeu «Outro» na pergunta anterior:

Por favor, indique a sua posição na organização. \_\_\_\_\_

**3. Indique há quanto tempo trabalha para a organização \***

- Até 1 ano
- 1 a 3 anos
- 4 a 5 anos
- 6 a 10
- Mais de 10 anos

**4. Quais são as suas qualificações académicas? \***

- Ensino Secundário
- Licenciatura
- Mestrado
- Doutoramento
- Outro

**DADOS ORGANIZACIONAIS**

**5. Principal setor de atividade da sua organização \***

- Indústria extrativa
- Indústria alimentar
- Indústria das bebidas
- Fabricação de têxteis
- Indústria do vestuário
- Indústria do couro e dos produtos do couro
- Indústria do calçado
- Indústrias da madeira e cortiça (exceto mobiliário)
- Fabricação de mobiliário
- Fabricação de pasta, de papel, cartão e seus artigos
- Indústria química/farmacêutica
- Indústria de plásticos/borracha
- Fabricação de outros produtos minerais não metálicos
- Indústria metalúrgica e produtos metálicos
- Fabricação de componentes eletrónicos e elétricos
- Fabricação de máquinas e de equipamentos
- Fabricação de veículos automóveis e seus componentes
- Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos
- Outro

Se respondeu «Outro» na pergunta anterior:

Por favor, indique o principal setor de atividade da sua organização. \_\_\_\_\_

**6. País onde opera \***

- Portugal
- Polónia

Se selecionou “Portugal” na questão 6:

**7. Indique a localização geográfica da sua organização \***

- Norte
- Algarve
- Centro
- Oeste e Vale do Tejo
- Grande Lisboa
- Península de Setúbal
- Alentejo
- Região Autónoma dos Açores
- Região Autónoma da Madeira

Se selecionou “Polónia” na questão 6:

**8. Indique a localização geográfica da sua organização \***

- Makroregion południowy
- Makroregion północno-zachodni
- Makroregion południowo-zachodni
- Makroregion północny
- Makroregion centralny
- Makroregion wschodni
- Makroregion województwo mazowieckie

**9. Idade da sua organização \***

- 1 a 2 anos
- 3 a 5 anos
- 6 a 10 anos
- 11 a 20 anos
- mais de 20 anos

*Selecione a dimensão da sua organização com base no número de colaboradores e no volume de negócios anual, de acordo com os critérios da União Europeia (referência: dezembro de 2024).*

**10. Qual é a dimensão da sua organização, de acordo com a definição da União Europeia?**

- Microempresa (< 10 colaboradores e ≤ 2 M€)
- Pequena empresa (< 50 colaboradores e ≤ 10 M€)
- Média empresa (< 250 colaboradores e ≤ 50 M€)
- Grande empresa (≥ 250 colaboradores ou > 50 M€)

## INDÚSTRIA 5.0

Selecione o seu grau de familiaridade numa escala de 1 a 5, onde 1 “Nada familiar” e 5 “Extremamente familiar”.

### 11. Qual é o seu grau de familiaridade com os princípios da Indústria 5.0?

|                                  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Abordagem centrada no ser humano | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sustentabilidade                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Resiliência                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Assinale de 1 a 5, dependendo se a sua organização “Não se identifica” ou “identifica-se totalmente” com cada afirmação.

### 12. Na minha organização...

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ... os colaboradores são colocados no centro das decisões tecnológicas e organizacionais.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... a organização promove um ambiente de trabalho seguro, inclusivo e que respeita a diversidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... a tecnologia é utilizada para melhorar o bem-estar físico e mental dos colaboradores, respeitando a sua autonomia e privacidade.        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... são adotadas práticas de produção e gestão que minimizam o impacto ambiental e promovem a sustentabilidade ao longo da cadeia de valor. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... existe um esforço contínuo para reduzir resíduos e otimizar o uso de recursos naturais (reutilização, reaproveitamento, reciclagem).    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... a sustentabilidade é considerada um fator estratégico nas decisões da organização.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... os processos de produção são flexíveis e capazes de se adaptar rapidamente a mudanças e/ou imprevistos.                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... existem mecanismos eficazes para manter a continuidade das operações em situações de crise.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... investe-se em tecnologias e práticas que fortalecem a capacidade de resposta a desafios externos.                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Selecione o seu grau de familiaridade com cada uma das tecnologias da Indústria 5.0, numa escala de 1 a 5, onde 1 significa “Nada familiar” e 5 significa “Extremamente familiar”.

**13. Qual é o seu grau de familiaridade com as seguintes tecnologias emergentes da Indústria 5.0?**

|  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Edge Computing   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cloud Computing  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Digital Twins (ou Gémeos Digitais)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Inteligência Artificial  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Internet of Things (IoT)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Internet of Everything (IoE)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cobots (ou Robôs Colaborativos)  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3D Printing  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Big Data Analytics   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Blockchain   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Realidade Aumentada  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Treino Virtual   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tecnologias bioinspiradas e materiais inteligentes                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tecnologias para eficiência energética, energias renováveis, armazenamento e autonomia | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Indique, numa escala de 1 a 5, em que medida cada uma das tecnologias emergentes da Indústria 5.0 está implementada na sua empresa, onde 1 significa “De forma alguma” e 5 “Em muito grande medida”.

**14. Em que medida estas tecnologias estão atualmente incorporadas no seu ambiente de trabalho?**

|  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Edge Computing   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cloud Computing  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Digital Twins (ou Gémeos Digitais)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Inteligência Artificial  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Internet of Things (IoT)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Internet of Everything (IoE)   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Cobots (ou Robôs Colaborativos)  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3D Printing  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Big Data Analytics   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Blockchain   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Realidade Aumentada  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Treino Virtual   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tecnologias bioinspiradas e materiais inteligentes                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Tecnologias para eficiência energética, energias renováveis, armazenamento e autonomia | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## QUALIDADE 5.0

*Dependendo da sua organização, assinale de 1 a 5, onde 1 representa “Discordo totalmente” e 5 “Concordo totalmente”.*

### 15. Em que medida concorda com as seguintes afirmações sobre a abordagem da sua organização à Qualidade 5.0? \*

|  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| A qualidade é vista como uma responsabilidade partilhada entre equipas, e não apenas de um único departamento.                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Os objetivos de qualidade consideram o bem-estar dos colaboradores.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Os objetivos de qualidade têm em conta a sustentabilidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| A organização valoriza a personalização, a inovação e a adaptação contínua como parte da qualidade.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Existe uma visão clara de como evoluir dos métodos tradicionais de qualidade para uma abordagem mais digital, colaborativa e centrada no ser humano. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| A organização procura integrar tecnologias inteligentes na gestão da qualidade.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*Dependendo da sua organização, assinale de 1 a 5, onde 1 representa “Nunca” e 5 “Muito frequente”, cada afirmação. Se a afirmação não tiver enquadramento na sua organização, assinale “Não Aplicável”.*

### 16. Identifique o nível de utilização/implementação, no último ano, das seguintes práticas de qualidade \*

|  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | N.A                      |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Demonstrou um forte compromisso da gestão de topo com as iniciativas de qualidade.             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Promoveu uma cultura organizacional centrada na qualidade e na inovação.                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Manteve o foco contínuo na satisfação do cliente e nas suas necessidades.                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Incentivou a aprendizagem contínua e a formação dos colaboradores.                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Promoveu a participação ativa dos colaboradores em grupos de melhoria da qualidade.            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Reforçou a colaboração e a partilha de conhecimento entre equipas e áreas.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Integrou competências humanas, digitais e de liderança nas estratégias de qualidade.           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Implementou práticas de gestão de capital intelectual (ex.: retenção de conhecimento crítico). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Estabeleceu estruturas organizacionais ágeis e Lean para suporte à qualidade.                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | N.A                      |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Aplicou técnicas de benchmarking e planeamento estratégico para otimizar os processos e alinhar as metas de qualidade com os objetivos organizacionais. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Utilizou tecnologias digitais avançadas (IA, IoT, Big Data) para suporte à gestão da qualidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Integrou sistemas ciberfísicos e/ou ferramentas inteligentes em processos de controlo de qualidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aplicou técnicas de análise preditiva para antecipar falhas de qualidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Atualizou os seus processos de gestão da qualidade com base em modelos digitais ou simulações.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Fez uso de análise e gestão de dados para apoiar decisões relacionadas à qualidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aplicou técnicas de automatização e controlo inteligente da qualidade (ex.: sensores, algoritmos, IA).  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Otimizou os processos internos com base em dados em tempo real e indicadores de desempenho.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Desenvolveu previsões de qualidade a partir de análise avançada de dados (ex.: machine learning).   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## CARACTERÍSTICAS DA ORGANIZAÇÃO

Assinale de 1 a 5, dependendo se a sua organização “Não se identifica” ou “Identifica-se totalmente” com cada afirmação. Se a afirmação não tiver enquadramento na sua organização, assinale “Não Aplicável”.

| 17. No último ano, a minha organização...   |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|   | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | N.A                      |
| ... contou com o apoio da gestão de topo como promotora da transformação digital.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... apresentou uma visão estratégica e um plano claro para adoção da Indústria 5.0.                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... compreendeu bem o valor e os benefícios associados à adoção da Indústria 5.0.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... demonstrou domínio dos conceitos e aplicações práticas da Indústria 5.0.                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... colaborou ativamente com <i>stakeholders</i> (clientes, fornecedores, centros de inovação, etc.). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... contou com colaboradores qualificados para lidar com tecnologias avançadas.                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... promoveu formação contínua alinhada com as exigências da Indústria 5.0.                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... investiu em formação, mesmo com restrições de tempo, orçamento e/ou recursos disponíveis.         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... desenvolveu competências humanas adequadas para a interação com tecnologias inteligentes.         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... demonstrou preparação digital e abertura à mudança.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... operou com infraestruturas tecnológicas adequadas e atualizadas.                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... implementou medidas eficazes de cibersegurança e proteção de dados.                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... garantiu integração de sistemas através da normalização e interoperabilidade.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... utilizou diretrizes, normas e modelos de maturidade para orientar a transformação digital.        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... geriu bem os custos associados à implementação da Indústria 5.0.                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... teve clareza sobre o retorno do investimento em tecnologias emergentes.                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... apresentou estabilidade financeira suficiente para investir em novas tecnologias e práticas.      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... beneficiou de incentivos governamentais e/ou políticas públicas de apoio à transição digital.     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## DESEMPENHO OPERACIONAL, FINANCEIRO, SOCIAL E AMBIENTAL

Assinale de 1 a 5, dependendo se a sua organização “Não se identifica” ou “Identifica-se totalmente” com cada afirmação. Se a afirmação não tiver enquadramento na sua organização, assinale “Não Aplicável”.

### 18. No último ano, a minha organização ...

|  | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | N.A                      |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ... reduziu e/ou evitou as emissões de poluentes atmosféricos e/ou efluentes líquidos.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu a quantidade de resíduos sólidos produzidos.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu o uso de materiais perigosos e/ou tóxicos.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... observou uma melhoria geral no desempenho ambiental.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu a frequência de acidentes e/ou quase acidentes ambientais.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu as despesas operacionais e os custos de fabrico por unidade.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... teve uma melhoria na eficiência da gestão de recursos.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu o uso de materiais e/ou consumíveis nas atividades da organização.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... melhorou a capacidade de entrega de valor aos clientes internos e externos (i.e., cumprimento de prazos, requisitos de negócio, etc.). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... aumentou a qualidade dos produtos e/ou serviços, satisfazendo melhor as expetativas dos stakeholders.                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu a taxa de defeitos dos produtos.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu o lead time e o ciclo de desenvolvimento de novos produtos.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... aumentou as vendas.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... aumentou a taxa de lucro operacional.  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... aumentou o retorno sobre o investimento (ROI).   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... reduziu os custos de produção e logística.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... seguiu os procedimentos de segurança aplicáveis às atividades.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... melhorou as condições de trabalho dos colaboradores.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ... registou uma melhoria no desempenho em saúde e segurança ocupacional no local de trabalho.   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## Apêndice II – Tabela de Metodologia

| Objetivos de Investigação   | Construtos   | Secções do Questionário                                       | Questões do Questionário   | Referências/ Artigos do Questionário  |
|---|--|---|--|---|
| - Explorar, através de uma revisão de literatura, os fundamentos teóricos da Indústria 5.0, Qualidade 5.0, e o seu impacto nas PMEs;                                      | Adoção da Indústria 5.0  | <b>Indústria 5.0</b>  | 11. Qual é o seu grau de familiaridade com os princípios da Indústria 5.0?                                   | (Rios et al., 2024)   |
|   | Uso de tecnologias da Indústria 5.0  |   | 12. Na minha organização ...   | (Breque et al., 2021; Jahromi & Ghazinoory, 2024; Xu et al., 2021; Zizic et al., 2022)  |
|   | 13. Qual é o seu grau de familiaridade com as seguintes tecnologias emergentes da Indústria 5.0? |   | (Maddikunta et al., 2022; Rios et al., 2024; Ruso et al., 2024)  |   |
|   | 14. Em que medida estas tecnologias estão atualmente incorporadas no seu ambiente de trabalho?   |   | (Maddikunta et al., 2022; Rios et al., 2024)   |   |
| - Analisar de que forma os princípios e as tecnologias da Indústria 5.0 influenciam a adoção de práticas associadas à Qualidade 5.0;                                      | Adoção da Qualidade 5.0  | <b>Qualidade 5.0</b>  | 15. Em que medida concorda com as seguintes afirmações sobre a abordagem da sua organização à Qualidade 5.0? | (Frick & Grudowski, 2023; Stefanovic et al., 2024)  |
|   | Práticas Sociais   |   |  |   |
|   | Práticas Técnicas  |   | 16. Identifique o nível de utilização/implementação, no último ano, das seguintes práticas de qualidade.     | (Ali et al., 2022; Ali & Juhl, 2024; Asif, 2020; Cho et al., 2017; Huang et al., 2022; Nguyen et al., 2024; Phan et al., 2011)  |
| - Identificar as relações entre os princípios e tecnologias emergentes da Indústria 5.0, as práticas da Qualidade 5.0 e os fatores que influenciam a sua adoção nas PMEs; | Características das PMEs   | <b>Características da Organização</b>                         | 17. No último ano, a minha organização...  | (Adel, 2022; Ali & Juhl, 2024; Ali & Waheed, 2024; Aslam et al., 2020; Bajic et al., 2023; Cagno et al., 2024; Estensoro et al., 2022; Ghobakhloo et al., 2022; Huang et al., 2022; Kumar et al., 2020; Laddha & Agrawal, 2024; Liao et al., 2017; Longo et al., 2020; Maddikunta et al., 2022; Moeuf et al., 2018; Mukherjee et al., 2023; Müller, 2020; Nahavandi, 2013; Orzes et al., 2018; Pereira & Romero, 2017; Shashi et al., 2013; Sony et al., 2021; Takawira & Poore, 2024; Xu et al., 2021) |
|   | Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental   | <b>Desempenho Operacional, Financeiro, Social e Ambiental</b> | 18. No último ano, a minha organização ...   | (Lee, 2021; Teixeira et al., 2022)  |

## Apêndice III - Avaliação da Normalidade (Kurtosis e Skewness)

| Variável | min | máx | skew   | c.r.    | kurtosis | c.r.   |
|----------|-----|-----|--------|---------|----------|--------|
| AI5.0_1  | 1   | 5   | 0,071  | 0,608   | -0,495   | -2,116 |
| AI5.0_2  | 1   | 5   | -0,474 | -4,054  | -0,038   | -0,161 |
| AI5.0_3  | 1   | 5   | -0,184 | -1,57   | -0,364   | -1,553 |
| AI5.0_4  | 1   | 5   | -0,306 | -2,616  | -0,155   | -0,66  |
| AI5.0_5  | 1   | 5   | -0,514 | -4,388  | -0,131   | -0,56  |
| AI5.0_6  | 1   | 5   | -0,313 | -2,671  | -0,316   | -1,348 |
| AI5.0_7  | 1   | 5   | -0,386 | -3,296  | -0,283   | -1,209 |
| AI5.0_8  | 1   | 5   | -0,18  | -1,534  | -0,326   | -1,394 |
| AI5.0_9  | 1   | 5   | -0,182 | -1,556  | -0,463   | -1,976 |
| UT5.0_1  | 1   | 5   | 2,04   | 17,429  | 3,78     | 16,149 |
| UT5.0_2  | 1   | 5   | 1,025  | 8,76    | 0,008    | 0,033  |
| UT5.0_3  | 1   | 5   | 2,459  | 21,013  | 6,354    | 27,144 |
| UT5.0_4  | 1   | 5   | 0,893  | 7,631   | -0,034   | -0,147 |
| UT5.0_5  | 1   | 5   | 1,496  | 12,782  | 1,617    | 6,908  |
| UT5.0_6  | 1   | 5   | 1,607  | 13,728  | 1,94     | 8,287  |
| UT5.0_7  | 1   | 5   | 2,014  | 17,205  | 3,312    | 14,149 |
| UT5.0_8  | 1   | 5   | 1,485  | 12,691  | 1,139    | 4,866  |
| UT5.0_9  | 1   | 5   | 1,85   | 15,802  | 2,819    | 12,044 |
| UT5.0_10 | 1   | 5   | 2,598  | 22,195  | 6,478    | 27,675 |
| UT5.0_11 | 1   | 5   | 2,488  | 21,26   | 5,846    | 24,972 |
| UT5.0_12 | 1   | 5   | 2,184  | 18,661  | 4,075    | 17,407 |
| UT5.0_13 | 1   | 5   | 2,071  | 17,691  | 3,685    | 15,742 |
| UT5.0_14 | 1   | 5   | 0,785  | 6,711   | -0,374   | -1,599 |
| AQ5.0_1  | 1   | 5   | -1,141 | -9,748  | 2,203    | 9,411  |
| AQ5.0_2  | 2   | 5   | -0,565 | -4,824  | 0,156    | 0,668  |
| AQ5.0_3  | 1   | 5   | -0,746 | -6,37   | 1,034    | 4,417  |
| AQ5.0_4  | 1   | 5   | -0,673 | -5,748  | 0,848    | 3,622  |
| AQ5.0_5  | 1   | 5   | -0,572 | -4,885  | 0,426    | 1,822  |
| AQ5.0_6  | 1   | 5   | -0,616 | -5,264  | 0,406    | 1,733  |
| PSOC_1   | 1   | 5   | -0,58  | -4,959  | -0,1     | -0,426 |
| PSOC_2   | 1   | 5   | -0,586 | -5,011  | -0,228   | -0,975 |
| PSOC_3   | 1   | 5   | -1,758 | -15,023 | 4,085    | 17,451 |
| PSOC_4   | 1   | 5   | -0,841 | -7,185  | 0,242    | 1,034  |
| PSOC_5   | 1   | 5   | -0,467 | -3,993  | -0,408   | -1,744 |
| PSOC_6   | 1   | 5   | -0,636 | -5,434  | -0,274   | -1,172 |
| PSOC_7   | 1   | 5   | -0,385 | -3,288  | -0,697   | -2,978 |
| PSOC_8   | 1   | 5   | -0,194 | -1,653  | -0,785   | -3,353 |

| Variável | min | máx | skew   | c.r.   | kurtosis | c.r.   |
|----------|-----|-----|--------|--------|----------|--------|
| PSOC_9   | 1   | 5   | -0,049 | -0,414 | -1,111   | -4,747 |
| PTEC_1   | 1   | 5   | 0,166  | 1,42   | -1,135   | -4,848 |
| PTEC_2   | 1   | 5   | 0,57   | 4,869  | -0,838   | -3,58  |
| PTEC_3   | 1   | 5   | 0,776  | 6,629  | -0,604   | -2,582 |
| PTEC_4   | 1   | 5   | 0,359  | 3,067  | -1,049   | -4,482 |
| PTEC_5   | 1   | 5   | 0,551  | 4,706  | -0,862   | -3,683 |
| PTEC_6   | 1   | 5   | 0,011  | 0,096  | -1,221   | -5,216 |
| PTEC_7   | 1   | 5   | 0,66   | 5,643  | -0,765   | -3,269 |
| PTEC_8   | 1   | 5   | 0,143  | 1,226  | -1,163   | -4,967 |
| PTEC_9   | 1   | 5   | 0,852  | 7,278  | -0,412   | -1,762 |
| CPME_1   | 1   | 5   | 0,4    | 3,414  | -0,932   | -3,984 |
| CPME_2   | 1   | 5   | 0,851  | 7,272  | -0,094   | -0,4   |
| CPME_3   | 1   | 5   | 0,603  | 5,15   | -0,443   | -1,892 |
| CPME_4   | 1   | 5   | 0,805  | 6,876  | -0,086   | -0,369 |
| CPME_5   | 1   | 5   | 0,504  | 4,309  | -0,711   | -3,036 |
| CPME_6   | 1   | 5   | 0,499  | 4,265  | -0,781   | -3,334 |
| CPME_7   | 1   | 5   | 0,831  | 7,101  | -0,219   | -0,936 |
| CPME_8   | 1   | 5   | 0,349  | 2,985  | -0,751   | -3,208 |
| CPME_9   | 1   | 5   | 0,49   | 4,186  | -0,706   | -3,015 |
| CPME_10  | 1   | 5   | 0,232  | 1,979  | -0,795   | -3,398 |
| CPME_11  | 1   | 5   | 0,358  | 3,055  | -0,793   | -3,386 |
| CPME_12  | 1   | 5   | 0,239  | 2,038  | -0,993   | -4,243 |
| CPME_13  | 1   | 5   | 0,612  | 5,225  | -0,676   | -2,889 |
| CPME_14  | 1   | 5   | 0,685  | 5,85   | -0,475   | -2,031 |
| CPME_15  | 1   | 5   | 0,852  | 7,284  | -0,098   | -0,42  |
| CPME_16  | 1   | 5   | 0,67   | 5,724  | -0,441   | -1,885 |
| CPME_17  | 1   | 5   | 0,462  | 3,951  | -0,808   | -3,451 |
| CPME_18  | 1   | 5   | 1,241  | 10,601 | 0,421    | 1,799  |
| DESP_1   | 1   | 5   | -0,343 | -2,934 | -0,553   | -2,363 |
| DESP_2   | 1   | 5   | -0,283 | -2,414 | -0,654   | -2,792 |
| DESP_3   | 1   | 5   | -0,385 | -3,288 | -0,707   | -3,02  |
| DESP_4   | 1   | 5   | -0,304 | -2,598 | -0,483   | -2,065 |
| DESP_5   | 1   | 5   | -0,525 | -4,489 | -0,526   | -2,249 |
| DESP_6   | 1   | 5   | -0,118 | -1,005 | -0,723   | -3,089 |
| DESP_7   | 1   | 5   | -0,113 | -0,965 | -0,561   | -2,396 |
| DESP_8   | 1   | 5   | -0,15  | -1,28  | -0,672   | -2,87  |
| DESP_9   | 1   | 5   | -0,383 | -3,269 | -0,429   | -1,831 |
| DESP_10  | 1   | 5   | -0,496 | -4,238 | -0,42    | -1,793 |
| DESP_11  | 1   | 5   | -0,364 | -3,108 | -0,481   | -2,055 |
| DESP_12  | 1   | 5   | -0,15  | -1,286 | -0,841   | -3,594 |
| DESP_13  | 1   | 5   | -0,22  | -1,879 | -0,939   | -4,011 |
| DESP_14  | 1   | 5   | -0,077 | -0,658 | -0,889   | -3,799 |
| DESP_15  | 1   | 5   | 0,091  | 0,779  | -0,997   | -4,26  |

| Variável            | min | máx | skew   | c.r.   | kurtosis | c.r.   |
|---------------------|-----|-----|--------|--------|----------|--------|
| DESP_16             | 1   | 5   | 0,06   | 0,514  | -0,804   | -3,433 |
| DESP_17             | 1   | 5   | -0,372 | -3,18  | -0,502   | -2,142 |
| DESP_18             | 1   | 5   | -0,423 | -3,611 | -0,41    | -1,751 |
| DESP_19             | 1   | 5   | -0,375 | -3,2   | -0,527   | -2,252 |
| <b>Multivariate</b> |     |     |        |        | 1053,314 | 91,698 |